

PIEZOSERAMİK MALZEMELERLE ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİLMESİ VE DEPOLANMASI

EyyüpAslan¹ M. Zeki BİLGİN¹ Tarık ERFİDAN¹

¹Kocaeli Üniversitesi, Elektrik Müh.Bölümü,41090, Kocaeli, TÜRKİYE
bilgin@kocaeli.edu.tr

Özet- Mekanik basınç yada titreşim uygulanması sonucu elektrik enerjisi üretme veya üzerlerine elektrik enerjisi uygulanması ile titreşim üretmesi yeteneklerine sahip olan seramikler 'piezo seramik' olarak bilinirler. Piezo seramiklerin elektrik enerjisi üretebilmesi için, seramiğe bir baskı, titreşim ya da esneme kuvveti uygulanması şarttır. Bu kuvvetlerden biri uygulanınca, seramiğin yapısındaki pozitif yükler bir tarafta, negatif yükler bir tarafta toplanır. Bu kutuplaşma sayesinde seramiğin iki kutbu arasında potansiyel fark oluşur. Böylece elektrik enerjisi üretilmiş olur. Yapılan çalışmada piezoelektrik etki ile enerjinin üretilmesi ve uygun güç dönüştürücüleri kullanılarak bir enerji depolama elemanına depolanması için prototip bir sistem tasarlanmıştır. Prototip sistem yayaların üzerine basması sonucu uygulanan basınç sayesinde elektrik üretebilen bir sistemdir ve herhangi bir X-ray cihazının önüne veya arkasına konulabilecek boyutlarda geliştirilmiştir. Prototip sistem, piezo seramikten elektrik enerjisinin üretilmesi, bu enerjinin, güç dönüştürücüleri ile doğrultulup ayarlanması ve kapasite, süper kapasite veya akülere depolanması olarak üç ana işlemden oluşmaktadır. Bu çalışmada bütün sistem modellenip analiz edilmiş ve sistem pratik olarak gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler- Piezoseramik malzemeler, yenilenebilir enerji kaynakları, enerji depolama, hibrid enerji sistemleri.

ELECTRICITY GENERATION AND STORAGE WITH PIEZO CERAMIC MATERIAL

Abstract- Piezoelectric is capability of some ceramics which produce electrical energy when it applies mechanical pressure or vibrations to the surface. The inverse of this phenomenon causes vibrations on the surface of the ceramics. The ceramics which has this capability names as 'piezo ceramic'. Producing electricity from Piezo ceramics demands an application of pressure, vibration or elasticity force on the surface. In case of application of one of these forces on the surface, the positive charges collect on one pole while negative charges collect on other pole. This polarization causes a potential difference between these poles on the ceramics, this difference produces electricity. In this study, It has been shown that how to produce electricity from piezoelectric effect and how to save this energy into a battery with a suitable converters. The result of stepping on a prototype system pedestrian is capable of generating electricity through applied pressure system was developed in size can be placed in the front or rear of any X-ray prototype system. The produced electrical energy from the piezo ceramic is converted to suitable voltage level for storage device and storing the super capacitor or battery. The proposed prototype system is modelled and analyzed using experimental results.

Key Words- Piezo-ceramic materials, renewable energy sources, energy storage, hybrid energy systems

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Sanayileşmenin artması, teknolojinin gelişmesi ve dünya nüfusunun artmasıyla birlikte elektrik enerjisi ihtiyacı da artmıştır. Enerji açığını kapatabilmek için türlü yöntemlere başvurulmaktadır. Bu yöntemlerden birisi de dünya çapında araştırma-geliştirme çalışmalarına konu olan 'piezoelektrik' yöntemidir.

Piezoelektrik kelimesi, Yunancadaki 'piezein' kelimesinden türetilmiştir. 'Piezein' kelimesi Türkçeye 'baskı, sıkmak, sıkıştırmak' olarak çevirilmektedir. Doğrudan piezoelektrik etkinin ilk ispatı Pierre Curie ve Jacques Curie kardeşler tarafından 1880 yılında yapılmıştır. Piezoelektrik etki tourmaline, quartz, topaz, canesugar, Rochelle salt (Potassium sodium tartrate tetrahydrate) kristalleri kullanılarak ispatlanmıştır. Piezoelektrik enerjiyi kullanılan ilk cihaz I. Dünya Savaşı sırasında kullanılan "sonar"lardır. 1917'de Fransa'da Paul Langevin ve beraberinde çalışanlar "ultrasonic submarine dedektör" ürettiler.[6] Piezoelektrik özellikli ultrasonik cihazlar, diş hekimliği alanında 1953 yılında yüksek frekanslı ses dalgalarının diş sert dokuları üzerindeki kesme etkisinin bulunmasının ardından temel olarak periodontoloji ve endodonti alanlarında kendilerine yer bulmuşlardır. Bu teknik ilk olarak 1975 senesinde Horton ve arkadaşları tarafından tanımlanmış[8], 2000 senesinde ise Vercelloti ve arkadaşları tarafından yenilenip kullanıma sunulmuştur.[9]

Technion Üniversitesi ve İsrail Demiryolları, piezoelektrik teknolojisinin etkilerine dikkat çekmek amacıyla, piezoelektrik etki ile enerji üreten sistemin prototipini 2009 yılında uygulamaya almıştır. Proje ile, raylar üzerinden geçen 10-20 kompartımanlı bir tren ile 120kwh enerji üretilebilmiş ve bu sayede demiryollarındaki aydınlatma, işaret ve işaretçilere enerji sağlanmıştır. Artan enerji ise şebekeye aktarılmıştır.[7]

Bu çalışmada piezoelektrik etki ile enerjinin üretilmesi ve uygun güç dönüştürücüleri kullanılarak bir depolama kaynağına depolanması için prototip bir sistem tasarlanmıştır. Prototip sistem herhangi bir X-ray cihazının önüne veya arkasına konulabilecek boyutlarda geliştirilmiştir. X-ray cihazından geçen insanların ağırlıklarından dolayı seramiklere uygulanan basınç sayesinde, seramiklerden enerji üretilmesi hedeflenmiştir. Üretilen enerjinin istenilen değerde olması için çok sayıda piezoseramik seri ve paralel bağlanmıştır. Çalışmada ilk olarak piezoelektrik malzemelerin karakteristikleri belirlenmiş ve seçilen malzemenin matematiksel modeli oluşturulmuştur. Prototip için uygun bir güç dönüştürücüsü tasarlanmıştır. Böylece çıkışa bağlanacak kapasitör, süper kapasite ve pil için uygun şarj gerilimi üretilmiştir. USB gerilim seviyesi olduğu için 5V seçilmiştir. Birçok mobil cihaz için giriş gerilimi seviyesi olduğu için farklı cihazlarda kullanımı da mümkün kılınmıştır.

2. PİEZOSERAMİK MALZEMELER (PIEZOCERAMIC MATERIALS)

Piezoelektrik etki iki türde incelenir: doğrudan etki ve ters etki. Doğrudan etki; piezoelektrik malzemelere mekanik baskı uygulanmasıyla, malzeme yapısındaki elektrik yüklerinde kutuplaşma olması durumudur(generator çalışma). Ters etki ise; piezoelektrik malzemelere elektrik enerjisi verilerek titreşim oluşturulması durumudur(motor çalışma). Piezoelektrik yöntemi ile elektrik enerjisi üretimi, doğrudan etki ile mümkün olmaktadır. Piezoelektrik malzemelerin özellikleri genellikle k_p , k_{33} , d_{33} , d_{31} ve g_{33} faktörleriyle karakterize edilir.

K faktörleri, seramiklerin güç dönüştürme yetenekleri ve elektromekanik etkileri gibi özelliklerini karşılaştırmak için öncelikli olarak kullanılan faktörlerdir. Bir seramik karakteristikleri incelenirken önce k faktörlerine bakılır. d katsayıları, piezoelektrik seramiklerin özellikleri hakkında bilgi veren katsayılarıdır.[12]

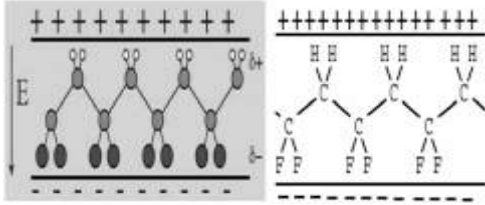
2.1. Piezo Seramik Çeşitleri (Piezo ceramic Types)

Piezo seramiklerde yaygın olarak kullanılan bileşimler; Kuartz (SiO_2), BaTiO_3 , PbZrO_3 - PbTiO_3 alaşımı (PZT), $(\text{Pb},\text{La})(\text{Ti},\text{Zr})\text{O}_3$ alaşımı (PZT) Çoğunlukla kullanılan piezo seramik tipi kurşun-zirkonyum-titanyum (PZT) piezo seramiklerdir.[1]

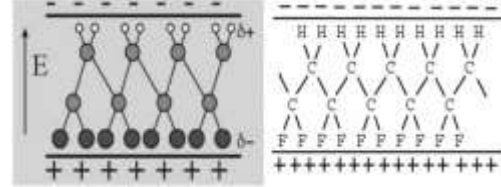
a- PZT Seramikler: PZT seramikler literatürde iki gruba ayrılır: yumuşak PZT ve sert PZT. Yumuşak PZT ve sert PZT seramiklerin esneme miktarları farklıdır, dolayısıyla kutuplaşan yük miktarları da farklı olur. Yumuşak PZT sert PZT 'ye göre daha kolay esner ve daha kolay kutuplaşır. Bunun sebebi; yumuşak PZT seramiklerin yüksek değerli piezoelektrik şarj katsayısına(d), orta değerli bağıl dielektrik sabitine(K_{e0}) ve yüksek değerli bağlanma katsayısına(k) sahip olmalarıdır. Yumuşak PZT seramikler büyük basınçlarda ve gerilimlerde kullanılamaz. Büyük basınçlarda ve gerilimlerde sert PZT seramikler kullanmak daha işlevseldir.[12] Çünkü sert PZT seramikler, bağlanma faktörü açısından geniş bir aralığa sahiptirler ve büyük güçlerde oldukça kararlı çalışırlar. Bu iki tip PZT seramiğin diğer özellikleri birbirine benzerdir.

b- Pzt Film Seramikler: PZT film seramikler, mikro elektromekanik sistemlerde kullanılırlar. İnce ve kalın PZT film olarak iki gruba ayrılırlar. $1\mu\text{m}$ 'den ince olanlar, ince PZT film seramik grubuna girerler. $1\mu\text{m}$ 'den kalın olanlar, kalın PZT film seramik grubuna girerler. Elektriksel özellikleri, PZT seramiklerle aynıdır

c- PvdF Seramikler : Vinilflorür (CH_2CF_2) bileşiğinin polimerleşme tepkimesi sonucu meydana gelen polimerdir(PVDF, polivinildifolorür). Bileşiğin yapısındaki hidrojen atomları pozitif yükleri temsil eder, flor atomları negatif yükleri temsil eder. Kutuplaşma sonucu oluşan potansiyel fark ile enerji üretilir. Baskı anındaki elektrik alan yönü(Şekil 1) ile gevşeme anındaki elektrik alan yönü(Şekil 2) birbirine zıttır. [12]

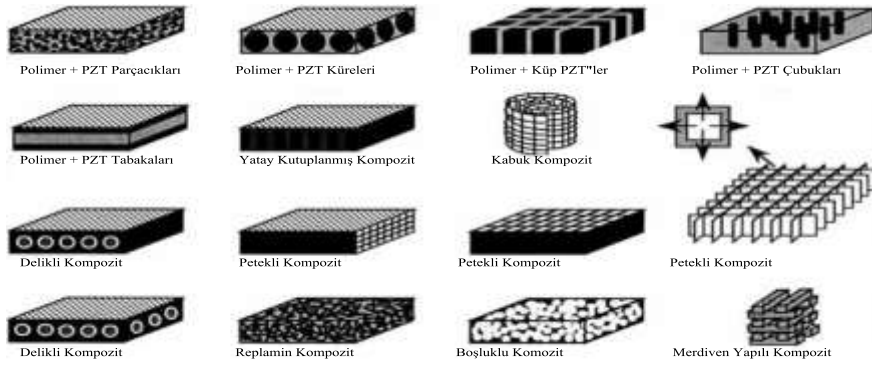


Şekil 1. PVDF seramiklerin baskı anındaki elektrik alan yönü ve kutuplaşma



Şekil 2. PVDF seramiklerin gevşeme anındaki elektrik alan yönü ve kutuplaşma

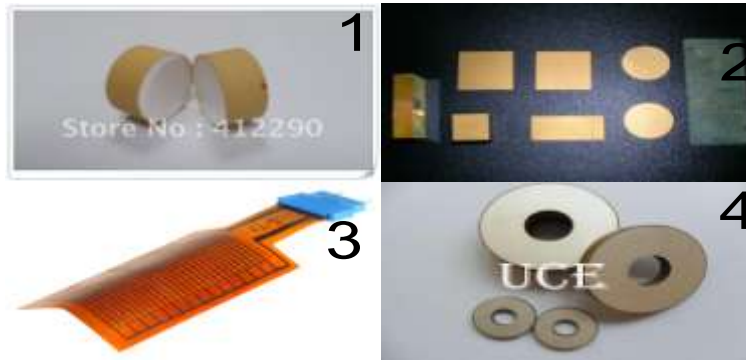
d- PiezoKompozit Seramikler: Yukarıda sıralanan piezo seramik türleri sert oldukları için, esnek ve karmaşık uygulamalarda yeni seramik arayışları başlamıştır. Bu problemi çözebilmek için piezokompozit seramikler üretilmiştir. Piezokompozit seramikler, PZT ve PVDF seramiklerin farklı oranlarda birleştirilmesiyle meydana gelmişlerdir. PZT ve PVDF seramiklerin birleşme oranına bağlı olarak, oluşan malzemenin sertliği ve esnekliği değişiklik gösterir. Şekil 3'te bazı kompozit seramik örnekleri verilmiştir.



Şekil 3. Piezokompozit seramikler

2.2. Piezo Seramiklerin Karakteristikleri (Characteristics of Piezo Ceramic)

Piezo seramikler, yapılarındaki bileşenlere göre farklı özellikler gösterirler. PZT, SingleCrystal, Qp10N, PZT-4, PZT-5A, Pmn-Pt, PZT-8 seramikleri başlıca piezo seramiklerdendir. Şekil 4'te bazı piezoelektrik seramik yapıları gösterilmiştir.



Şekil 4. Seramik çeşitleri, 1- PZT5A-5H, 2- Pmn-Pt, 3- Qp10N, 4- PZT4-PZT8

Piezoelektrik malzemelerin belli bir basınç dayanımı vardır. Tablo 1 ve Tablo 2'de bazı seramiklerin basınç dayanımları verilmiştir.[2]

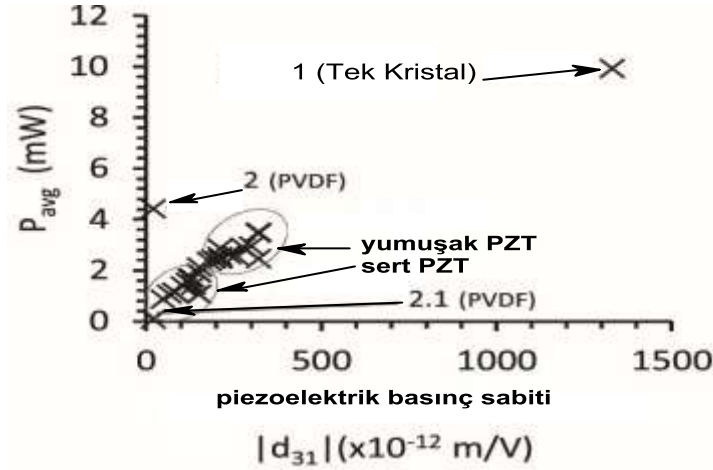
Tablo 1. Sert ve yumuşak PZT seramiklerin dayanıklılık karakteristikleri

		Sert PZT	Yumuşak PZT
4 Noktadan Bükülme	Nihai eğilme mukavemeti	75 MPa	50 MPa
	Esneme kalıcı gerginliği	%0,004	%0,024
	Basma kalıcı gerginliği	%-0,004	%-0,022
Öz Gerginlik [$MPa.m^{1/2}$]	Başlangıç sertliği K_{R0}	0,78	0,70
	Kararlı durum sertliği K_{RSS}	0,88	1,36
	$\Delta K_R = K_{R0} - K_{RSS}$	0,10	0,66

Tablo 2. Piezo seramiklerin dayanıklılık karakteristikleri

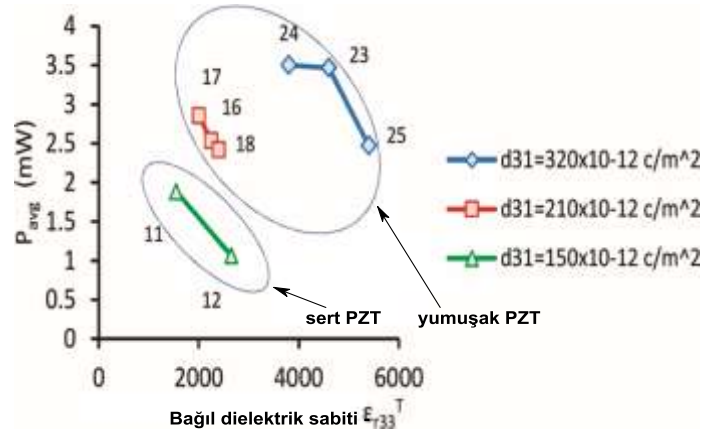
Malzeme	PZT-5A	PZT-5H	PZT-4	PZT-8	PMN-PT	QP10N	PMN-PZT
Karakteristik basınç (MPa)	140,4	114,8	123,2	127,5	60,6	206,4	44,9
Modül (m)	14,6	16,6	20,6	16,3	12,1	6,8	3,9

PZT seramiklerin basınç sabiti ile ortalama güç değişimi Şekil 5'te verilmiştir. Şekil incelendiğinde tek kristal (single crystal) PZN-PT tipi seramik diğer seramiklere göre en fazla güç üreten seramik olduğu görülmektedir. Bunun yanında yumuşak(esnek) malzemeden üretilen seramikleri(SOFT PZTs) sert malzemeden üretilen seramiklere(HARD PZTs) göre daha fazla güç ürettiği görülmektedir. Mekanik stres sabiti yükseldikçe (d_{31}) malzemenin güç üretme kapasitesi artmaktadır.[4]



Şekil 5. PZT seramiklerin basınç sabiti ile ortalama güç değişimi

Şekil 6'da, farklı malzemeler için bağıl dielektrik sabiti ile ortalama çıkış gücü verilmiştir. Burada mekanik stres sabitleri aynı olup bağıl dielektrik sabitleri farklı olan seramikler ele alınmıştır. Örneğin; 11 numaralı malzemenin bağıl dielektrik sabitinin 12 numaralı malzemenin daha düşük olmasına karşın, 11 numaralı malzemenin çıkış gücü daha yüksektir.[4]



Şekil 6. Ortalama çıkış gücünün bağıl dielektrik sabitine göre değişimi

3.YÖNTEM (METHOD)

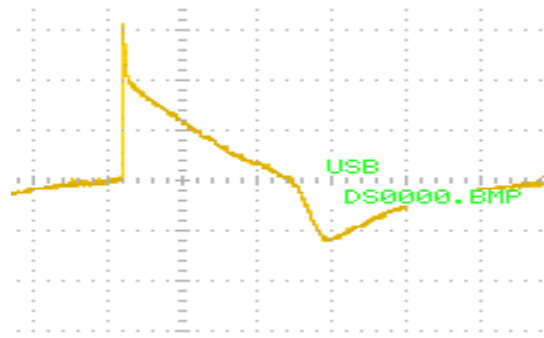
3.1.Piezo Seramiklerle Elektrik Enerjisi Üretme Teknikleri (Electric Power Generating Techniques with Piezo Ceramics)

Piezo seramiklerin karakteristik özellikleri farklı olduğu gibi, seramiklerden enerji üretme teknikleri de farklıdır. Bu açıdan seramikler iki grupta incelenebilir. Esnek seramikler ve esnek olmayan seramikler.

Esnek seramiklerden elektrik enerjisi üretebilmek için, seramiği doğal yollarla esnetebilecek kuvvetlerden yararlanılmalıdır. Su ve rüzgar kuvveti buna en güzel örnektir. Rüzgar

kuvvetinden faydalanmak için uzun-ince sıırıklardan ve ya uzun-ince bitki saplarından faydalanılabilir. Uzunluk arttıkça esneme miktarı da artacaktır. Esnek seramiklerden enerji elde etmenin diğeri yolu, su kuvvetlerinden faydalanmaktır. Burada kullanılacak su kuvveti, tek yönlü kuvvet değildir. Gelgit veya dalga hareketi gibi iki yönlü hareketle olmalıdır. Çünkü tek yönlü harekette, seramik bir kere esner ve o yönde sabit halde kalır. Seramik sürekli hareket etmelidir. Örneğin boru şeklinde bir yapının içerisine, boruya dik şekilde seramikler yerleştirilirse, su boruya girip çıktığında seramiği iki yöne de hareket ettirir.

Esnek olmayan seramiklerden enerji üretmek için, seramiğe etki eden baskı kuvvetinden yararlanır. Seramiğin enerji üretme kapasitesine göre ve uygulanan baskı kuvvetine göre üretilen enerji değişecektir. Seramiğin enerji üretme kapasitesi sınırına kadar, üretilen enerji uygulanan baskıyla doğru orantılıdır. Seramik doyuma ulaştıktan sonra uygulanan fazla kuvvet, seramiğe sadece zarar verir. Şekil 5'te piezo seramiklere basınç uygulandığında oluşan gerilim sinyalinin şekli verilmiştir. Bu sinyal piezo seramiğe etki eden bir anlık etki sonucu oluşmuştur.



Şekil 7. Piezo seramiklere basınç uygulandığında oluşan gerilim dalga şekli

Farklı bileşimlerin kullanılmasıyla üretililecek seramikler ve bileşenlerin farklı miktarlarda kullanılmasının üretilen gerilim üzerindeki etkisi Tablo 3 ile verilmiştir.[10] Tablodan da görüldüğü gibi bileşiklerin yapısındaki bileşenlerin miktarı, türü, üretilen gerilim seviyesi üzerinde oldukça etkilidir.

Tablo 3. Farklı bileşik örnekleri yapısındaki malzemelerin miktarları

BİLEŞİK	1.ÖRNEK	2.ÖRNEK	3.ÖRNEK
MMA (monomer)	1ml	1ml	1ml
PBLG	200mg (*DP=100)	300mg (*DP=100)	100mg (*DP=500)
ACBN (başlatıcı)	40mg	40mg	40mg
Ölçülen en büyük gerilim (V)	0,375	2,5	0,6

*polipropilen yoğunluğu

3.2. Sistemin Matematiksel Modeli (Mathematical Model of the System)

Genel olarak sistemin çalışma prensibi, seramiğe bir kuvvetin etkimesi ve seramikte yük kutuplaşmasından dolayı elektrik enerjisinin üretimidir. Bu sistem durgun bir generatör olarak tanımlanabilir. Sistemin Matematiksel analizini yapmak için öncelikle modeli elde edilmelidir.

K sertliğine sahip yay üzerinde m kütleli bir cisim için, oluşan kayıplar c_k , enerji dönüştürme mekanizması (piezoelektrik) ile üretilen elektrik enerjisini c_e , sönüm katsayısı c_T , ile temsil edilir. Sistem, $Y(t) = Y \sin(\omega t)$ sinüzoidal titreşim ile uyarılıyor. Sistem rezonans frekansında, net bir harekete sahiptir. $z(t)$ fonksiyonu da m kütlesi çevresinde değerler alır. Titreşim kaynağının kütlesi, m kütesinden çok büyük ise, m kütlesi ihmal edilebilir. Uyarma kaynağının hareketi harmonik ise, hareketin diferansiyel denklemi Eş. 1 ile verilir.

$$m\ddot{z}(t) + c\dot{z}(t) + kz(t) = -m\ddot{y}(t) \quad (1)$$

Kütle değişimi için çözüm Eş. 1'in çözümünden $z(t)$ Eş.2 'deki gibi bulunur.

$$z(t) = \frac{\omega^2}{\sqrt{\left(\frac{k}{m} - \omega^2\right)^2 + \left(\frac{c_T \omega}{m}\right)^2}} y \sin(\omega t - \varphi) \quad (2)$$

Burada faz açısı φ aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\varphi = \tan^{-1} \left(\frac{c_T \omega}{k - \omega^2 m} \right) \quad (3)$$

Uyarma frekansı, sistemin doğal frekansına ω_n eşit olursa maksimum düzeyde enerji dönüşümü yapılabilir. Doğal frekans denklemi Eş. 4' te verilmiştir.

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (4)$$

Sistemin sönümlenme katsayısının denklemi ise Eş. 5 'teki gibidir.

$$c_e = \frac{2m\omega_n^2 k^2}{2\sqrt{\omega_n^2 + \left(\frac{1}{R_{yük} C_{yük}}\right)^2}} \quad (5)$$

Piezoelektrik kompozit malzemeler için kullanılan, etkin birleşme faktörü (k_{eff}) Eş. 6, Piezoelektrik gerilim katsayısı ise Eş. 7 ile hesaplanabilir.

$$k_{eff} = \sqrt{1 - \left(\frac{f_r}{f_a}\right)^2} \quad (6)$$

$$g = \frac{d}{\epsilon_T} \quad (7)$$

Burada f_r , rezonans frekansı ve f_a ise uyarma frekansıdır. Mekanik kalite faktörü (Q_M) ise ,

$$Q_M = 2\pi \frac{\text{bir çevrimde depolanan enerji}}{\text{bir çevrimde kayıp enerji}} \quad (8)$$

Denklemi ile hesaplanabilir. Bir piezoelektrik malzemedeki depolanan enerjinin (E_C) hesabı Eş.9 ile verilmiştir.

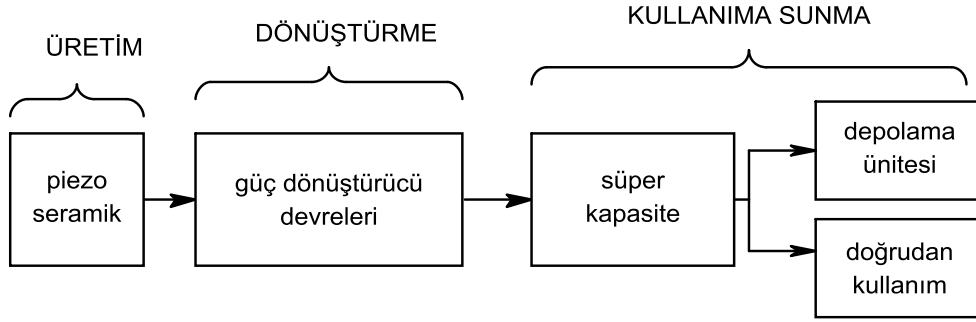
$$E_C = \frac{1}{2} CV^2 \quad (9)$$

Burada, C piezo seramiğin kapasitansı, V seramiğin ürettiği gerilimdir. Piezoseramiklerin verimi ise Eş.10 ile hesaplanabilir.

$$\eta = \frac{\frac{1}{2} \left(\frac{k^2}{1-k^2} \right)}{\frac{1}{Q_M} + \frac{1}{2} \left(\frac{k^2}{1-k^2} \right)} \quad (10)$$

3.3. Üretilen Elektrik Enerjisinin Depolanması (Storage of the Generated Electrical Energy)

Piezo seramiklerden üretilen enerji depolanmadan kullanılabileceği gibi depolandıktan sonra kullanılması mümkündür. Üretilen enerjinin, yükün ve depolama biriminin özelliklerine göre, Şekil 8. 'de görüldüğü gibi, dönüştürülmesi gerekir. Çünkü Şekil 9'dan da anlaşılacağı gibi üretilen enerjinin dalga şekli doğrudan kullanıma uygun değildir. Enerjinin depolanması için bir güç dönüştürücüsü ve kontrol işlemine ihtiyaç vardır. Sistemin prensip şeması Şekil 10'da gösterildiği gibidir.

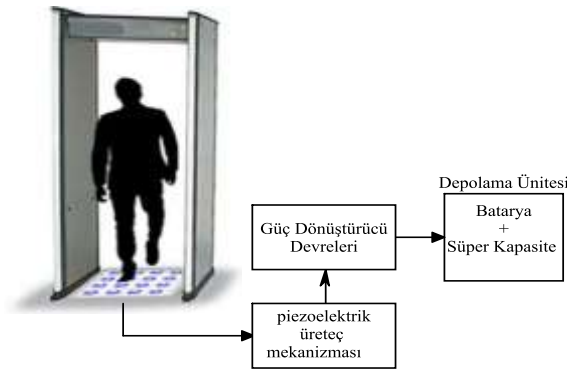


Şekil 8. Önerilen sistemin ana yapısı

Sistem 3 ana aşamadan oluşmaktadır. Enerji Piezoseramikten üretilmektedir. Güç dönüştürücüsü devresinde öncelikle üretilen gerilim doğrultulur ve uygun gerilim değeri ile depolama elamanına veya yüke gönderilir. Bu çalışmada depolama birimi olarak, superkapasitor ve Li-Pol Akü kullanılmıştır.

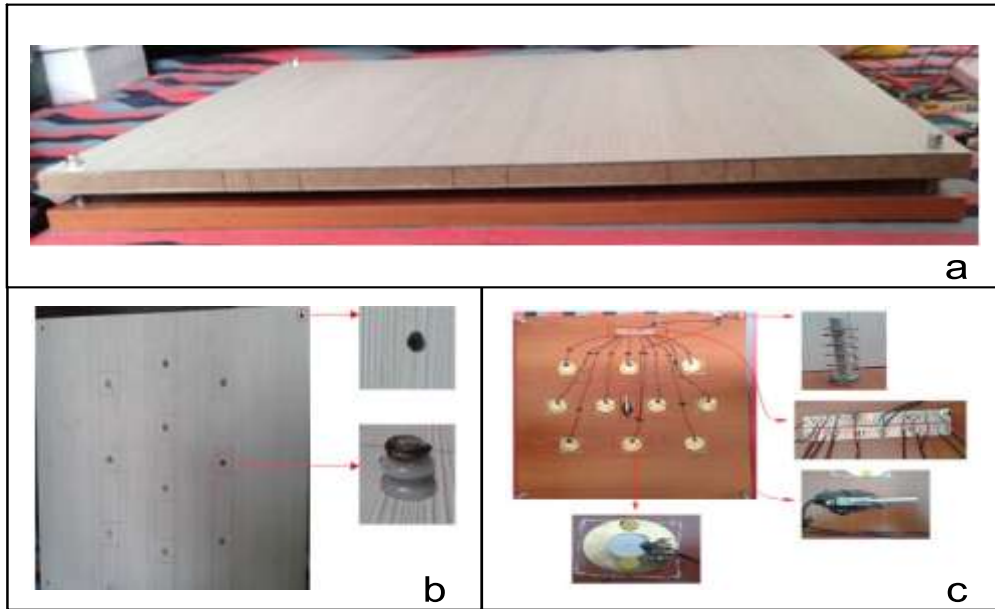
4. PROTOTİP ÇALIŞMASI VE DENEYSEL SONUÇLAR (PROTOTYPING and EXPERIMENTAL RESULTS)

Piezo seramiklerin hangi şartlarda ne kadar enerji ürettiğinin pratik olarak anlaşılması için, bir prototip tasarlanmıştır. Xray cihazının zeminine yerleştirilen prototipte birbirine seri ve paralel bağlı piezoseramikler bulunmaktadır. Xray cihazından geçen insanların ağırlıklarından dolayı seramiklere uygulanan basınç sayesinde, seramiklerden enerji üretilmektedir. Üretilen enerji doğrultucu devresinde doğrultulup, DC forma dönüştürülerek bir batarya düzeneğinde depolanmaktadır. Bir basınç sensörü ve elektronik devre yardımıyla, üretilen enerjiye katkıda bulunan kişi sayısı da belirlenmektedir. Prototip prensip şeması Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9. Prototip prensip şeması

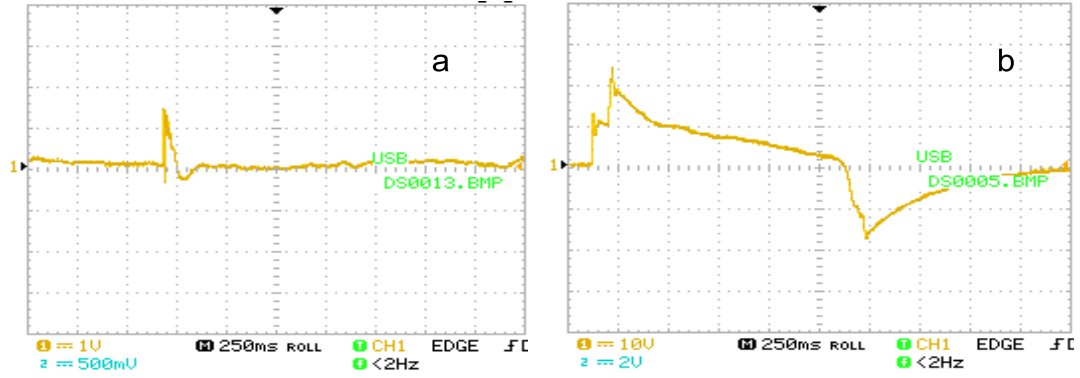
Prensip şemasında sözü edilen prototipin gerçek görüntüsü şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 9. Prototip çalışması (platform)

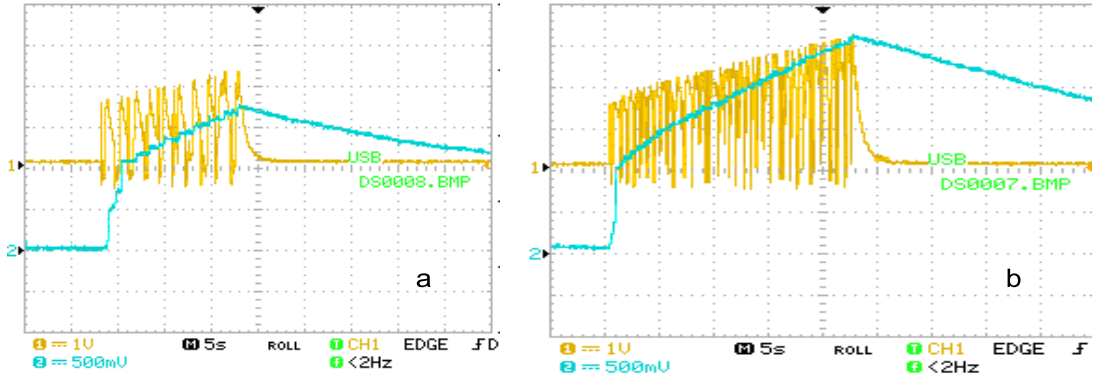
Şekil 10-(a) platformun bütün halini, (b) platformun üst tabakasını, (c) ise platformun alt tabakasını göstermektedir. Platformun alt tabakasında 10 adet piezo seramik, kablolar, sayıcı anahtarı ve üst tabakayı havada tutan vida-yay düzeneği bulunmaktadır. Sisteme kaç kişinin platform üzerinden geçtiğini göstermek amacı ile bir dijital sayıcı ilave edilmiştir.

Prototip çalışmasında 10 adet seramik kullanılmıştır. Bir seramikten üretilen enerji ile 10 seramikten üretilen enerji farklı olmaktadır. Bu farkı gözlemlemek için farklı deneyler yapılarak ölçüm sonuçları alınmıştır. Şekil 11-a'da 1 adet seramiğe bir defa basılması sonucunda oluşan dalga şekli görülmektedir. Şekil 11-b'de paralel bağlı 10 adet seramiğe bir defa basılması sonucu oluşan dalga şekli görülmektedir. Dalga şekillerinden de anlaşılacağı gibi 10 adet seramikten üretilen gerilim değeri 1 adet seramikten üretilen gerilim değerinin 10-15 katı kadar daha fazladır.



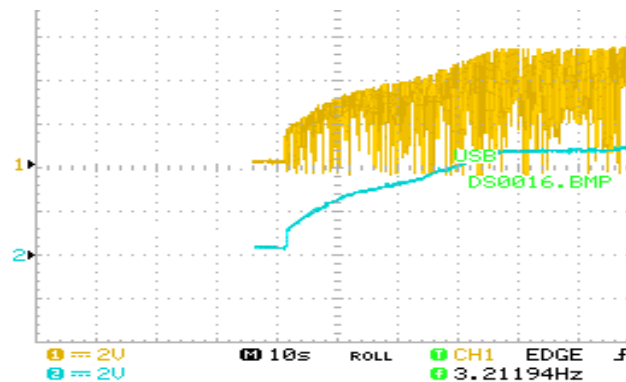
Şekil 10. a-Tek seramik, b- Platform çıkışından üretilen gerilim sinyali

Şekil 12.a'da 1 adet seramiğe 10 defa basılması sonucu doğrultucu devresi çıkışında oluşan gerilimin, Şekil 12.b'de paralel bağlı 10 adet seramiğe 10 defa basılması sonucu doğrultucu çıkışında oluşan gerilimlerin dalga şekilleri verilmiştir.



Şekil 11. On defa basılması sonucu oluşan doğrultucu ve batarya gerilim değişimi, a-tek seramik, b- platform

10 adet seramiğin bulunduğu platforma sürekli ard arda basılması durumunda doğrultucu çıkışındaki ve batarya uçlarındaki gerilim değişimi Şekil 13 'te verildiği gibidir. Şekilden batarya uçlarına sabit 5V değeri uygulandığı görülmektedir.



Şekil 12. Uzun süreli işlem sonucu doğrultucu çıkışı ve batarya uçlarındaki gerilim.

5. SONUÇ VE TARTIŞMA (CONCLUSION AND DISCUSSION)

Sonuç olarak 1 adet seramikten üretilen enerji az iken birden fazla seramiğin bir arada kullanılmasıyla üretilen enerji artmaktadır. Prototip çalışmasında yapılan deneyler bu durumu destekler niteliktedir.

Platform üzerinden 240 kere geçildi. Doğrultucu devresi çıkışına 2.2mF kapasiteli bir kondansatör bağlıyken, kondansatörde 2.4V değerinde bir gerilim ölçüldü. Bu değerler şunu gösteriyor:

- $Q=V \times C$, $Q=2.4 \times 2.2=5,28$ mA.saniye'lik yük depolanmıştır
- $W=(1/2) \times C \times V^2$, $W=(1/2) \times 2.2 \times 2.4^2=6,336$ mJ değerinde enerji elde edilmiştir.

Piezo seramiklerden elektrik enerjisi üretilbildiği deneysel olarak ispatlanmıştır. Sonuçtan da anlaşılacağı gibi üretilen enerji azdır. Bunun sebeplerinden biri platformda 10 adet seramik kullanılmasıdır.

Oysaki platform 50 adet seramik yerleştirilebilecek kapasitededir. Bu kapasite tam olarak kullanılırsa gerilim değeri ortalama 5 kat artacaktır. Gerilim değerinin 5 kat artması enerji değerini 25 kat arttırır. Yani;

$25 \times 6.336=158,4$ mJ enerji üretilir.

Üretilen enerjinin az olmasının başka sebebi de seramik verimlerinin düşük olmasıdır. Daha verimli seramikler ve daha profesyonel sistemlerle üretilen enerji arttırılabilir.

6. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1].<http://www.elektrikport.com>
- [2].Faith Dogan, Prashant N. Kumta John Wiley & Sons ' Advances in Electronic and Electrochemical Ceramics ' Proceedings of the 107th Annual Meeting of The American Ceramic Society, Baltimore, Maryland, USA 2005
- [3].Steven R. Anton, 'Multifunctional Piezoelectric Energy Harvesting Concepts' April 25, 2011 Blacksburg, Virginia
- [4].Daniels, A. Dept. of Manuf. & Mater., Cranfield Univ., Cranfield, UK Meiling Zhu ; Tiwari, A. 'Evaluation of piezoelectric material properties for a higher power output from energy harvesters with insight into material selection using a coupled piezoelectric-circuit-finite element method' Dec. 2013
- [5].Marco S. W. Chan, K. T. Chau, and C. C. Chan 'Effective Charging Method for Ultracapacitors' Dec. 2005
- [6].Holler, F. James; Skoog, Douglas A; Crouch, Stanley R (2007). "Chapter 1". Principles of Instrumental Analysis (6th bas.). Cengage Learning. ss. 9
- [7].<http://www.limitsizenerji.com/>
- [8].Horton JE, Tarpley Jr., Wood LD. The healing of surgical defects in alveolar bone products with ultrasonic instrumentation, chisel, and rotary bur. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1975, 39, 536-546
- [9].Morgan TA, Fridrich KL. Effects of the multiple-piece maxillary osteotomy on the periodontium. Int J Adult Orthodon Orthognath Surg 2001, 255-265
- [10].D. Farrar, M. Yu, J. E. West, I. Busch-Vishniac Johns Hopkins University Baltimore, MD 21218 USA P. Biermann, J. I. Arvelo Jr. The Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory Laurel, MD 20723 USA 'New Materials with Piezoelectric Properties '
- [11].J. G. Rocha, L. M. Goncalves, P. F. Rocha, M. P. Silva, S. Lanceros-Mendez 'Energy Harvesting From Piezoelectric Materials Fully Integrated in Footwear '
- [12].L. B. Kong et al., Waste Energy Harvesting, Lecture Notes in Energy 24, DOI: 10.1007/978-3-642-54634-1_2, _ Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014