

Piezoelektrik Malzemelerle Asfalt Yollarda Elektrik Enerjisi Üretimi

Hakan Aslan

Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Abstract

The energy crisis that the entire world faces has reached a substantially serious level. The solutions produced to solve this problem seem to be complicated being harmonious with the nature of the problem requirements. This study proposes the usage of the piezoelectric materials for the pavements of the highways to produce the electricity to be used for the different purposes at the operations of the highways. Therefore, piezo-ceramic materials integrated with the asphalt were used and tested to obtain the electricity generated through the experimental studies under different loads.

Key words: Piezoelectric materials, Asphalt, Electricity

1. Giriş

Piezoelektrik özellik, bazı malzemelere uygulanan mekanik basınç sonucunda, malzemenin elektrik alan yada elektrik potansiyel değiştirme yeteneğidir. Bu etki, malzemenin içindeki polarizasyon yoğunluğundaki değişimle doğrudan alakalıdır. Eğer malzeme kısa devre değilse, uygulanan yükleme ve gerilme, malzemede bir voltaj meydana getirir. Piezo kelimesi, Yunanca'dan türetilmiştir; "sıkıştırmak, basınç uygulamak" anlamlarına gelmektedir. Piezoelektrik malzemeler terslenebilir; yani *direk piezo-elektrik etki* sergileyen (gerilme uygulandığında potansiyel elektrik üreten) malzemeler, *ters piezoelektrik etki* (uygulanan elektrik alan sonucunda gerilme - deformasyon üretimi) de gösterirler. Örneğin, kurşun zirkonat titanat kristalleri, orijinal boyutundan % 0,1 oranına kadar şekil değiştirebilirler. Bu etkinin; " sesin oluşturulması ve algılanması ", " yüksek voltajlar oluşturulması ", " elektronik frekans yaratılması ", " mikrobalsan ", ve " optik çevrimcilerin aşırı ince odaklanması " gibi kullanışlı uygulamaları vardır. Aynı zamanda atomik çözünme bilimsel birçok tekniğin (taramalı prop mikroskoplar olan STM, AFM, MTA, SNOM gibi) temelini oluşturmakla birlikte, günlük kullanımda ateşleyici olarak çakmıklarda ve barbekülerde kullanılmaktadır.

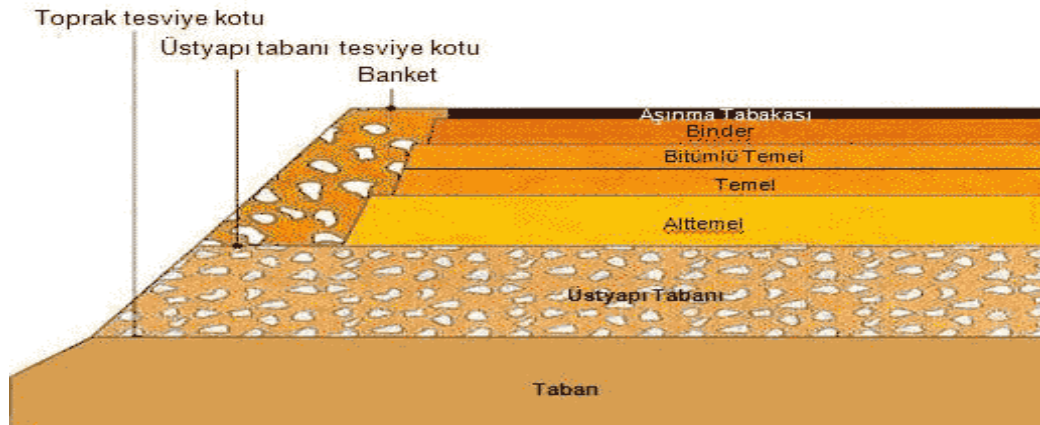
Piezo-elektrik malzemelerin çoğunlukla kullanılan tipi, kurşun-zirkonyum-titanyum (PZT) piezoseramiklerdir. Piezoseramik malzemeler elektriksel etkiyi mekanik büyüklüğe, mekanik etkiyi elektriksel büyüklüğe dönüştüren simetri merkezi olmayan kristallerdir. Yaygın olarak kullanılan piezoseramik malzemeler ise; Kuartz (SiO_2), $BaTiO_3$, $PbZrO_3$ - $PbTiO_3$ alaşımı (PZT), $(Pb,La)(Ti,Zr)O_3$ alaşımı (PLZT) dir.

Gautschi the piezo-elektrik etkiyi, ters simetriye sahip olmayan kristal malzemelerde mekanik ve elektriksel durum arasında bir lineer elektromekanik etkileşim olarak tanımlamıştır [1]. Xiong et. all., piezo-elektrik enerjinin sürekli, istikrarlı ve uzun soluklu temiz enerji sağladığını ifade ederek bu enerji türü ile ulaşım altyapısının ihtiyaç duyacağı elektronik ekipmanların elektrik ihtiyaçlarının sağlanabileceğini önermektedir [2]. Kumar, gelecek

dünyamızın, kendi kendine yeterliliği olan bir çevre ve yaşam alanı oluşturabilme yeteneğimize bağlı olduğunu vurgulayarak, enerji üreten yol dizaynlarının bu geleceğin oluşturulmasında önemli bir başlangıç sağlayabileceğini vurgulamaktadır [3]. Rodriguez et. all., enerji hatlarının olmadığı lokasyonlarda yeterli mekanik amplifikasyona sahip piezo-elektrik ekipmanların kullanılması koşulu ile, yol uygulamalarında kullanılmak üzere kendiliğinden güç üretebilecek sensör şebekesinin uygulanabilir duruma getirilebileceğini göstermiştir [4]. Aqsa, kaplama altına yerleştirilen piezo-elektrik malzemelerin araçların hareketleri boyunca araç süspansiyonundan etkilenecek büyük miktarlarda elektrik üretilebileceğini ifade etmektedir [5]. Gupta et.all., yavaş hareket eden araçların hızlı araçlara göre azda olsa daha fazla enerji üretebildiklerini göstermişlerdir [6]. Hill et all., piezo-elektrik sistemi ile üretilen elektriğin maliyetinin kilowatt saat biriminde bugünkü net değeri olarak 0.08 dolar ile 0.18 dolar değerini rapor etmektedir. Trafik koşulları ve araç karakteristiklerine çok yakından bağlı olan bu üretim maliyeti olarak en yüksek değer 0.20 dolar olarak belirtilmektedir[7].

2. Yol Üst Yapı Sistemleri

Trafik yükünü taşımak üzere reglaj işleminden sonra yapılan yol yapı sistemi olarak en genel anlamda tanımlanabilecek yol üst yapısı; taban üst yapısı üzerine serilip sıkıştırılan 40cm kalınlığa sahip *Alt Temel Tabakası*, bitümlü sıcak karışım tabakası ile alt temel tabakası arasında sıkışmış kalınlık değeri 20cm olan *Plent-Mix Temel Tabakası*, bu tabakanın üzerinde uygulanan 12cm kalınlığa sahip *Bitümlü Temel Tabakası*, 8cm'lik uygulama kalınlığı olan *Binder Tabakası* ve 5cm asfalt betonu olarak uygulanan en üst tabaka *Aşınma Tabakası* katmanlarından oluşmaktadır. Rijit, yarı rijit ve esnek üst yapı sistemleri olarak sınıflandırılacak üst yapı tipleri arasından, bu çalışma için esnek üst yapı sistemleri seçilmiş ve deneysel uygulamalar bu tip üst yapı modeli üzerinden yapılmıştır. Şekil 1, esnek üst yapı enkesitsel görünümünü sunmaktadır.



Şekil 1. Esnek yol üst yapısı katmanları

3. Deneysel Sistemi

Elektrik enerjisine olan ihtiyacın global ölçekte her geçen gün artması, elektrik enerjisi üretiminde farklı arayışlara girilmesine sebep olmuştur. Asfalt tabakasının altına serilecek piezoelektrik özellikli malzemelerle oluşturulacak deney düzeneği sayesinde, araçların yola uyguladığı mekanik basıncı, elektrik enerjisine çevirmek bu makalenin temeldeki amacıdır.

Yapılan portatif deney düzeneği boyutları, 35*40*15cm olarak tasarlanmış olup, düzeneğin en alt kısmını, 5 cm kalınlığında Plent-miks Temel (PMT) denilen ince agregalı tabaka oluşturmuştur. PMT tabakası, piezo-elektrik seramikler ile direk temas halinde bulunması halinde topraklama, yani nötrleme etkisi yaratacağından, bu tabaka üzerine 2,5 mm kalınlığında bir kontrplak levha yerleştirilmiştir. Bu tabaka üzerine, piezo-elektrik seramiklerden oluşan elektrik aksamı gelmektedir. Asfalt tabakası ile elektrik devresi arasında, piezo-seramiklerin zarar görmemesi için 3 mm kalınlığında karton levha yerleştirilmiştir. En üst tabakaya ise yaklaşık 2,3 ve 4 cm kalınlıklarında bitümlü karışımlar yerleştirilmiştir. Çeşitli kalınlıklarda ki bu tabakalara, farklı değerlerde ki basınçlar uygulanarak, voltaj okumaları yapılmış, oluşan elektrik akımları kondansatör de toplanarak, sistemde bulunan led-ampuller aktive edilmiştir.

Piezo-elektrik seramiklerin bir yüzü pozitif bir yüzü negatif kutup olarak çalışmaktadır. Bir seramiğin pozitif kutbuna lehimlenmiş kablo, diğer seramiğin negatif kutbuna lehimlenerek, kendi aralarında seri bağlanmıştır. Ayrıca her birinde 10'ar seramik bulunan toplam 4 grup birbirine paralel bağlanarak, Breadboard yardımıyla kondansatör ve ledler de devreye bağlanarak çalışma düzeneği elde edilmiştir.

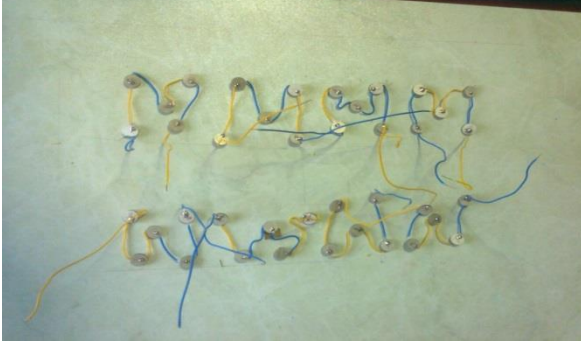
3.1 Kullanılacak Malzemeler

Yukarıda açıklandığı şekliyle kurgulanan deney düzeneği için kullanılan malzeme ve ekipmanlar şu şekilde sıralanabilir.

- 1 cm çapında, 2 mm kalınlığında, 40 adet piezoelektrik seramik
- 1 mm çapında 5 metre uzunluğunda kablo
- 1 adet kalem havya
- Havya teli
- 3 adet 100 mf'lık kondansatör
- 5 adet led ampül
- 1 adet breadboard
- 2,3,4 cm yüksekliklerinde 35-40 cm boyutlarında ahşap kalıplar
- PMT
- Bitümlü karışım
- 1 adet voltmetre

3.2 Deneyin yapılışı

Bir piezoseramiğin pozitif kutbuna lehimlenen kablo, diğer seramiğin de negatif kutbuna lehimlenerek akımın oluşumu elde edilmeye çalışıldıktan sonra (Şekil 2), kendi aralarında seri bağlanmış, her birinin de 10'ar seramik bulunan toplam dört grup birbirine paralel bağlanarak devre tamamlanmıştır (Şekil 3).



Şekil 2. Beşli gruplar halinde birbirine lehimlenen seramikler



Şekil 3. Piezoelektrik devrenin son hali

35-40 cm boyutlarında içine sırasıyla 2,3 ve 4 cm yüksekliğinde bitümlü karışımın geleceği ahşap kalıplar hazırlanarak, farklı kalınlıklarda deney malzemesi için çalışma spektrumu genişletirilmiştir.

Hazırlanan bu kalıplara asfalt plentinden alınan bitümlü karışımlar dökülmüş, kalıplarda ki bitümlü karışımlar ısısını kaybetmeden, press makinesi yardımıyla manuel sıkıştırma işlemleri gerçekleştirilerek; 2 cm kalınlıkta ki asfaltta 0,25 cm, 3 cm'lik asfaltta 0,5 cm, 4 cm'lik asfaltta 0,9 cm sıkışma değerleri elde edilmiştir. Şekil 4 de görüleceği üzere, sıkıştırma işlemi sonunda karışımlar soğutma işlemi için bekletilmiştir.



Şekil 4. Sıkıştırılma işlemleri sonrası soğumaya bırakılan karışımlar

Deneylerde kullanılacak bu bitümlü sıcak karışımlar için pilent-miks tabakasının oluşturulması gerekmektedir. Bu amaç doğrultusunda ilgili ekleme işlemi sonucunda elde

edilen 5cm kalınlığında ki PMT tabakası, ıslatma işlemi sonucunda press makinası ile sıkıştırılmış ve 1.5 cm lik sıkıştırma gerçekleştirilmiştir.

Gerek bitümlü sıcak karışımların tamamen soğuması, gerekse de PMT'nın kuruyup sertleşme işleminin tamamlanması için 24 saat beklenilmiştir. Bu bekleme süresini müteakip, bitümlü karışımlar kalıplarından ayrılmıştır.

15*30*40cm lik ana kalıp içine yerleştirilen PMT tabakasının üzerine 0.25cm lik koruyucu kontrplak tabakası yerleştirilerek, pieze-elektrik devre bu tabakanın üzerine konumlandırılmıştır.

Piezo-elektrik malzemelerin olduğu tabaka ile asfalt tabakası arasına devrenin zarar görmemesi için direk temas olmaması adına karton levha yerleştirilmiş ve 2cm lik bitümlü sıcak karışım kalıbı bu levhanın üzerine konularak deney başlanmıştır.

Hazırlanan düzenekte problem olup olmadığının kontrolü amacıyla tokmakla vurmak suretiyle oluşturulan basınç neticesinde, mikro düzeylerde elektrik üretimi gerçekleşimi test edilmiştir. Üretilen elektrik, darbenin şiddetine bağlı olarak değişirken, maksimum değer 0.02 volt olarak ölçülmüştür.

Deney için en önemli parametrelerden biri olan basıncın şiddetinin ölçümü için laboratuvar da bulunan press makinesi kullanılmıştır. Kullanılan press makinası Şekil 5. de gösterilmiştir.



Şekil 5. Presleme işlemi için kullanılan donanım

Mevcut presleme ekipmanının basınç uygulayan kısmınının 5 cm çapında bir daire şeklinde olması sebebiyle, basıncın deney düzeneği üzerine tam olarak yayılması için asfaltın hemen üstüne 25*25 cm boyutlarında tahta bir levha yerleştirilmiştir.

Hazırlanan numunelerinin en incisi olan 2 cm'lik bitümlü karışım kullanılarak, 20 barlık basınç uygulaması ile ilk deney gerçekleştirilmiştir.

1 bar = 100 kN/m²

Basınç uygulayan makine ağzı alanı; $A = \pi 0.025^2$ $A = 0.00196$ m²

Dolayısı ile, uygulanan kuvvet değeri, $20 \times 100 \times 0.00196 = 3.92$ kN.

3.92 kN'luk kuvvet karşılığında Voltmetre ile 1.03 V gerilim ölçülmüştür.

2 cm'lik karışım numunesine ikinci aşamada 40 barlık yani 7.84 kN'luk kuvvet uygulanmış ve karşılığında 1.64 voltluk bir gerilim değeri elde edilmiştir.

3 cm'lik numuneye de sırası ile 20 bar (3.92 kN) ve 40 bar (7.84 kN) basınç kuvvetleri uygulanarak, sırası ile 0.88V ve 1.51V'luk gerilim değerleri elde edilmiştir.

4 cm kalınlıkta hazırlanan bitümlü karışım numunesine uygulanan 20 bar'lık basınç 0.71 V gerilim okuması ile sonuçlanırken, 40 barlık basınç değerinde 1.32 V luk bir gerilim değeri elde edilmiştir.

Araç ağırlık değerleri için daha gerçekçi olması adına benzer deneyler 100bar'lık basınç değerleri için de yapılmış ve üç farklı numunelerde elde edilen değerler aşağıdaki tablolarda sunulmuştur.

Tablo 1. 2cm lik bitümlü karışım numunesi basınç-gerilim değerleri

Basınç (bar)	Kuvvet (kN)	Gerilim (V)
20	3.92	1.03
40	7.84	1.64
100	19.6	0.43 (doldurma)
100	19.6	3.16 (boşaltma)

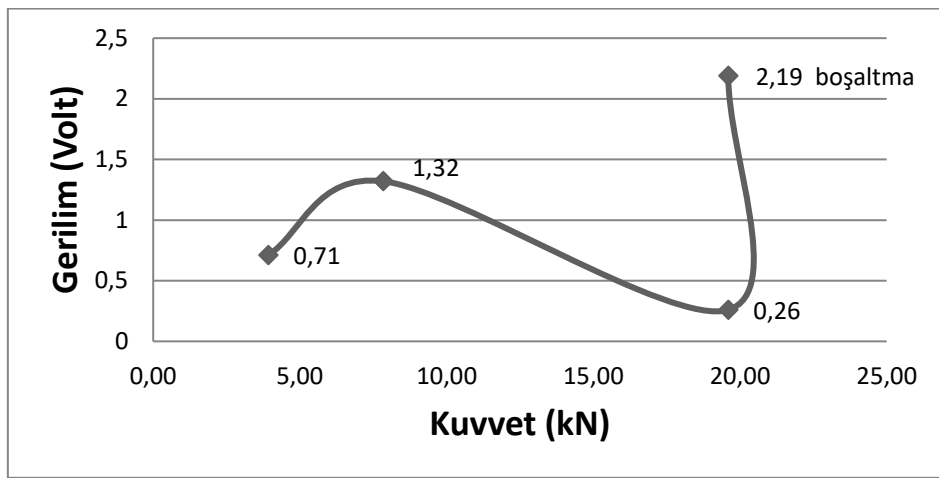
Tablo 2. 3cm lik bitümlü karışım numunesi basınç-gerilim değerleri

Basınç (bar)	Kuvvet (kN)	Gerilim (V)
20	3.92	0.88
40	7.84	1.51
100	19.6	0.34 (doldurma)
100	19.6	2.81 (boşaltma)

Tablo 3. 4cm lik bitümlü karışım numunesi basınç-gerilim değerleri

Basınç (bar)	Kuvvet (kN)	Gerilim (V)
20	3.92	0.71
40	7.84	1.32
100	19.6	0.26 (doldurma)
100	19.6	2.19 (boşaltma)

4cm kalınlığına sahip bitümlü sıcak karışım için yapılan basınç uygulamasına bağlı olarak piezo- elektrik seramikler vasıtası ile oluşturulan kuvvet-gerilim ilişkisi aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 6. 4 cm'lik numune de kuvvet – gerilim ilişkisi

4. Sonuç & Değerlendirme

Bitümlü sıcak karışımla inşa edilmiş yollarda, araç hareketliliği kullanılarak piezo-elektrik seramiklerle hazırlanmış ve düzeneği belirlenmiş sistemler vasıtası ile elektrik üretiminin teminine dönük olarak yapılan bu çalışmada, dünya ölçeğinde farklı ülkelerde uygulanan bu metodla ilgili laboratuvar koşullarında üretimin fizibilitesi incelenmeye çalışılmıştır.

Piezo-elektrik malzemelerin çalışma prensiplerinde yüklemelerin ani (anlık) ve seri olması, seramiklerde oluşan gerilim değerlerinin (voltaj) yüksek elde edilmesini sağlamaktadır. Pratik trafik koşulları dikkate alındığında, araçların yollardan anlık ve peş peşe hareketleri söz konusu olacağı için, piezo-elektrik sistemler kullanılarak yüksek verimle elektrik üretimi söz konusu olabilmektedir. Yapılan deneylerde yükleme amacıyla kullanılan basınç ekipmanının göreceli olarak yavaş hareket edebilmesi ve seri yükleme yapabilme yetisinin düşük olması, elde edilen elektrik değerlerinin nispeten düşük değerlerde kalması sonucunu doğurmuştur. Deney çalışması sonucunda hedeflenen voltaj değeri 3.5 volt olarak öngörülmüşken, bahsi

geçen nedenlerden dolayı 3.16 voltluk bir değer, maksimum değer olarak ulaşılmıştır. Bu değer, uygulanan basıncın, ekipmanda bulunan kontrol vanası vasıtası ile ani olarak kaldırılması neticesinde elde edilmiştir. Ani ve sürekliliği olan yüklemelerin doğasında bulunduğu trafik ve araç hareketliliği ortamında yapılacak uygulamalar, bu anlamda en yüksek verimin elde edilmesini sağlayacaktır.

Kutuplaştırma işleminin tek yüzde pozitif (+) ve negatif (-) değil de bir yüzde pozitif (+) diğer yüzde negatif (-) oluşturulması, kablolama işleminden sonra piezo-elektrik seramiklerin düzlem denge durumunu kaybetmesine neden olmuş ve bunu müteakiben uygulanan basınç sonrası lehim yerlerinden seramiklerin zarar görmesi sorunu ile karşılaşmıştır. Bu sorunun giderilmesi adına, gerçek uygulamalarda lehimleme işlemlerinin standardize edilmesi ve pratik uygulamaların özenle ve sertifikalı teknik elemanlar tarafından yapılması gerektiği önerisi sunulmaktadır.

5. Referanslar.

[1] Gautschi, G. Piezoelectric Sensorics: Force, Strain, Pressure, Acceleration and Acoustic Emission Sensors, Materials and Amplifiers.2002, Springer

[2] Haocheng X, Linbing W, Dong W, Cristian D. Piezoelectric energy harvesting from traffic induced deformation of pavements, International Journal of Pavement Research and Technology, 2012, Vol:5, No:5 pp.333-337

[3] Priyanshu Kumar. International Journal of Enhanced Research in Science Technology & Engineering, ISSN: 2319-7463 Vol. 2 Issue 6, June-2013, pp: (65-70)

[4] M. Vazquez-Rodriguez, F.J.Jimenez, J.De. Frutos. Modeling Piezoelectric Harvesting Materials in Road Traffic Applications, Mathematical Models and Methods in Modern Science ISBN: 978-1-61804-055-8

[5] Abbasi, Aqsa. "Application of Piezoelectric Materials and Piezoelectric Network for Smart Roads." International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE) Vol.3, No.6 (2013), pp. 857-862

[6] Mukti Nath Gupta, Suman* and S.K. Yadav. Electricity Generation Due to Vibration of Moving Vehicles Using Piezoelectric Effect Advance in Electronic and Electric Engineering. ISSN 2231-1297, Volume 4, Number 3 (2014), pp. 313-318

[7] Davion Hill, Arun Agarwal, Nellie Tong, Assessment Of Piezoelectric Materials For Roadway Energy Harvesting,Energy Research and Development Division Final Project Report,January 2014,Prepared by: DNV KEMA Energy & Sustainability