

Araştırma Makalesi/Research Article

# Ulaşım Sistemlerinde Titreşim Tabanlı Enerji Hasadı ve Uygulamalı Analizi

## Vibration Based Energy Harvesting on Transportation Systems and Applied Analysis

Oğuz GÖKHASAN<sup>1</sup>, Okan ÖRS<sup>2</sup>, Emrah DOKUR<sup>3</sup>, Mehmet KURBAN<sup>4</sup>

**Özet-** Son yıllarda nüfus, teknolojik gelişim ve sanayinin artışına paralel olarak yükselen enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla alternatif enerji kaynakları önem kazanmaya başlamıştır. Aynı zamanda kullanılan fosil enerji kaynaklarının çevre açısından da birçok olumsuz etkilerinden dolayı alternatif enerji kaynakları arayışına girilmiştir. Bu doğrultuda alternatif enerji kaynakları üzerine yapılan projeler artan enerji talebini karşılamak üzere son yıllarda büyük gelişimler göstermiştir.

Bu çalışmada, raylı sistemlerde ve karayollarında kullanılabilmesi hedeflenen titreşim tabanlı piezoelektrik malzeme kullanılarak elektrik enerjisi üretiminin farklı malzemeler için karşılaştırmalı analizleri yapılmak suretiyle üretim sisteminin prototip modeli gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan modelde kullanılacak farklı malzeme yapılarına sahip piezoelektrik blokların karşılaştırmalı sonuçları verilmiştir. Elde edilen elektrik enerjisinin iletim ve yük kayıpları devre modeli üzerinden en aza indirilerek aydınlatma sistemlerine entegrasyonu ele alınmıştır. Elde edilen sonuçlardan yola çıkılarak teknolojinin hızla gelişimi ile birlikte piezoelektrik malzemelerinin verimlerinin artması ve maliyetlerinin azalması ile gelecek nesilde ulaşım sistemlerinde aydınlatma ve sinyalizasyon alanlarına entegrasyonun hızla gelişeceği öngörülmektedir.

**Anahtar Kelime:** Piezoelektrik, Enerji hasadı, Ulaşım sistemleri.

**Abstract-** In recent years, technological development, growth of the industry and population in order to meet rising energy demand for alternative energy sources has gained importance. At the same time the fossil energy resources from an environmental perspective because of the many negative effects have been seeking alternative energy sources. In this respect, the projects on alternative energy sources to meet growing energy demand have shown great development in recent years.

In this study, the prototype model of the vibration-based generation system using piezoelectric materials and targeting the usage in rail and highways was carried out by making a comparative analysis with electrical energy generation for different materials. In this model, the comparative results of the piezoelectric blocks used different materials are given. Produced electrical energy which has minimum transmission and load losses is integrated to lighting system. The next generation reduction of the cost such system will be used widespread.

**Keywords:** Piezoelectric, Energy harvesting, Transportation systems.

### I.GİRİŞ

Enerji ihtiyacının her geçen gün artmasına rağmen, enerji kaynaklarının tükenmekte olması ve kullanılan tükenebilir enerji kaynaklarının çevreye verdiği zararlardan dolayı dünya alternatif ve çevreye dost enerji kaynaklarına

<sup>1</sup>[oguzgokhasan@gmail.com](mailto:oguzgokhasan@gmail.com),

<sup>2</sup>[okanors26@gmail.com](mailto:okanors26@gmail.com),

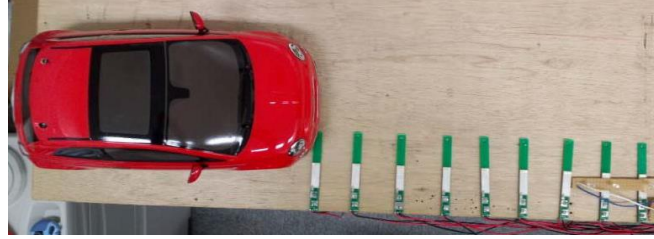
<sup>3</sup>[emrah.dokur@bilecik.edu.tr](mailto:emrah.dokur@bilecik.edu.tr),

<sup>4</sup>[mehmet.kurban@bilecik.edu.tr](mailto:mehmet.kurban@bilecik.edu.tr),

<sup>1,2,3,4</sup>Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 11210 Gülümbe, BİLECİK

yönelmek zorundadır. Piezoelektrik malzemelerden elde edilen enerji hasadı da, alternatif enerji kaynakları arasında çevreye dost bir enerji olarak mevcut kaynaklar arasında yerini almaktadır.

Piezoelektrik üzerine literatür de yapılan çalışmalarda Kaya ve arkadaşları, yeni bir yaklaşım ile titreşim tabanlı mikro enerji harmanlayıcı sistemi yapmışlardır. Çalışmanın en önemli özelliği yeni, titreşim temelli mikro boyutlarda mekanik bir yapı kullanarak yüksek güç yoğunluğuna ulaşmalarıdır [1]. Kasuga ve arkadaşları yaptıkları deney düzeneğinde piezoelektrik sensörlerini ve ledleri yolun bir kısmına döşemişlerdir. Sensörler üzerinde oyuncak araba geçirerek ledleri yakmışlardır (Şekil 1) . Devrede amaç direk olarak elektrik üretmekten ziyade araç hızlarını kontrol altında tutarak kazaları çok daha aza indirmektir.



Şekil 1 : Farklı bir çalışmadan prototip örneği [2]

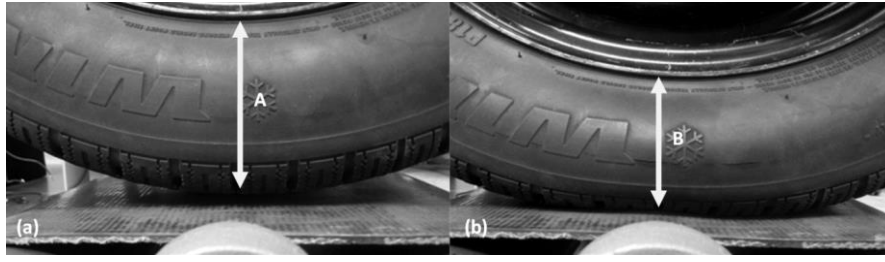
Yaptıkları bu deneyde 5 led kullanmışlar bu ledleri 3 farklı piezoelektrik malzemeye bağlamıştır. Ledlere A, B, C, D, E isimlerini piezoelektrik malzemelere de X, Y, Z isimlerini vermişlerdir. Farklı hızlarda aracı piezoelektrik malzemenin üzerinden geçirmişlerdir. Araç yaklaşık olarak 30 cm/saniye, 60 cm/saniye, 90 cm/saniye olmak üzere 3 farklı hızda geçirilmiştir.

Araç 30 cm/s ile giderken oluşturduğu basınç ile X, Y, ve Z malzemeleri üzerinden geçerken sadece birer adet ledi yakabilmiştir. Hız 60 cm/s ulaştığında ikişer adet, 90 cm/s ulaştığında ise üçer adet led yakılabilmektedir (Tablo 1). Basınç üzerinde hızın etkisi görülmüştür [2]. Çalışmamızda bu deneyin sadece hızın üretime katkısı açısından değerlendirilmesi kısmını inceleyeceğiz.

Tablo 1 : Prototip sonuçları [2]

Hız (cm/s)	Piezoelektrik malzemeler	Ledler o:açık x:kapalı				
		A	B	C	D	E
30	X	o	x	x	x	x
30	Y	x	o	x	x	x
30	Z	x	x	o	x	x
60	X	o	o	x	x	x
60	Y	x	o	o	x	x
60	Z	x	x	o	o	x
90	X	o	o	o	x	x
90	Y	x	o	o	o	x
90	Z	x	x	o	o	x

Noaman Makki ve arkadaşları piezoelektrik malzemenin esnekliğinden yararlanarak, araç tekerleklerinin içine piezoelektrik malzeme yerleştirilmesiyle ve tekerleklerin dönmesiyle beraber yere uyguladığı basıncı değerlendirmek istemişlerdir. Bu fikri öne sürerlerken, yapılacak olan piezoelektrik seramiğin tekerlek sıcaklığına ve esnekliğine uygun üretilmesi durumunda, tekerleklerden gelen enerjinin araç içinde alternatif bir enerji kaynağı olarak kullanılabileceğini söylemişlerdir. Tekerlek yüklü durumda iken, piezoelektrik malzemenin devreye girmesiyle basınç ve titreşimin elektrik enerjisine dönüştürülmesi istenmiştir. Yük altında ve yüksüz durumdaki analizler yardımıyla piezoelektrik malzeme üzerindeki etkiler analiz edilmiş ve çıkarımlarda bulunulmuştur. Çalışmalarında kullandıkları lastikler Şekil 2 de yüklü ve yüksüz durumda gösterilmiştir [3].



Şekil 2: (a)Yüksüz lastik (b) Yük altındaki lastik [3]

Ayrıca çalışmada Tablo 2' de yer alan çeşitli metotlarda farklı özelliğe sahip 3 tip malzeme karşılaştırılmış ve uygun olan malzemeler belirtilmiştir.

Tablo 2 : Farklı tür malzemeler için deneysel sonuçlar [3]

Metot	Element	Boyut	Alan(mm <sup>2</sup> )	Güç (mW)	Güç/Alan (mW/mm <sup>2</sup> )
1	PZT	25 mm disk	491	4.6	9.37x10 <sup>-3</sup>
2	PVDF	40x40 mm	1600	0.85	5.31x10 <sup>-4</sup>
3	PVDF	15x40 mm	1800	0.23	1.27x10 <sup>-4</sup>

Tabloda verilen verilere göre tüm yöntemler karşılaştırılmış ve analizler sonucu alana göre üretilen enerjileri hesaplanmıştır. Ayrıca sıcaklık dayanıklılık ve birçok açıdan malzemelerin uyumluluklarını incelenerek, piezoelektrik malzemelerin tekerlekler içine yerleştirilerek enerji hasadının mümkün olabileceğini ortaya koymuştur [3].

Biyomedikal alanda yapılan çalışmalarda ise yüksek lisans tez çalışmasında MR sonucunda kalp pili kablolarının kalp dokularına ve ters akım sonucu kalp piline zarar verdiğini görmüştür. Bunu gidermek için kalp pili kablolarının optik lif kablolarıyla değiştirilmesi durumunda bu zararların daha aza indirileceğini hesaplanmıştır. Fakat bu durumun yapılmasıyla beraber tüketilen gücün artması sorunu ortaya çıkmıştır. Bu sorunu da kalp titreşimleri sayesinde piezoelektrik transdüserler yardımıyla enerji üretimi başarmışlar bu sayede ihtiyaç duyulan enerji sağlanmıştır [4].

## II. PİEZOELEKTRİK

Piezoelektrik etkisinin varlığı çok uzun yıllardan buyana bilinir ancak yeni yeni kullanılmaya başlayan bir geçmişe sahiptir. 1880 yılında Jaques ve Pierre Curie, temel bazı kristal minerallerin, olağan dışı karakteristik gösterdiklerini saptamışlardır. Bu kristallere mekanik bir güç uygulandığında, kristaller elektriksel olarak kutuplanıyorlardı. Sıkışma ve gerginlik durumlarında, uygulanan kuvvet miktarı kadar uçları arasında elektriksel kutuplaşma oluşuyordu. Sonradan, bu ilişkinin tam tersi de kanıtlandı. Eğer bu kristal mineraller bir elektrik alanına tabi tutulursa, elektrik alanın gücü kadar kısalıp, uzayabiliyorlardı. Bu duruma, Yunanca'daki piezein (basınç veya sıkıştırma anlamına gelen) kelimesinden esinlenerek piezoelektrik etki ve ters piezoelektrik etki ismi verildi. Her ne kadar piezoelektrik gerilim değerleri, hareketleri veya güç değerleri düşük olsa da ve genellikle amplifikasyona ihtiyaç duysalar da, piezoelektrik malzemeler günümüzde birçok uygulamada kullanılmaktadır. Piezoelektrik etki uzanım veya kuvvet sensörleri gibi algılama uygulamalarında kullanılmaktadır.

Ters piezoelektrik etki ise önceden kontrol pozisyonlandırılması yapılmış motorlarda, ve sonik ve ultrasonik sinyallerin üretilmesindeki gibi tahrik uygulamalarında kullanılmaktadır. 20. yüzyılda, metal-oksit bazlı piezoelektrik seramikler ve diğer insan yapımı materyaller aracılığı ile; tasarımcılar, piezoelektrik etkiyi ve ters piezoelektrik etkiyi birçok yeni uygulamada kullanabilme olanağına kavuşmuştur. Bu materyaller genellikle fiziksel olarak sert ve kimyasal olarak tepkimeye girmeyen materyallerdir ve üretimi görece olarak daha ucuzdur. Piezo seramik elementlerin alaşımları, şekilleri ve boyutları, özel uygulamalara hizmet edebilmesi için uygun hale getirilebilmektedir. Kurşun zirkonat ve kurşun titan alaşımlarından üretilen seramikler, diğer seramiklere göre daha duyarlı ve daha yüksek sıcaklık

değerlerinde çalışabilmektedir ve "PZT" materyaller şu anda en geniş kullanım alanına sahip piezoelektrik seramiklerdir.

Kutuplu piezoelektrik seramik elemana, mekanik basınç veya germe işlemi uygulandığında bu eleman çift kutuplu hale geçmektedir ve voltaj değeri üretmektedir. Polarizasyon doğrultusunda basınç işlemi veya polarizasyon doğrultusuna dik doğrultuda germe işlemi uygulanırsa aynı polarizasyon şeklinde voltaj değeri elde edilmektedir. Piezoelektrik seramik üzerinde yapılan bu uygulamalar enerji üretim hareketleridir ve bu sayede seramik eleman basınç veya gerginlik durumlarındaki mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çevirebilmektedir. Bu davranış yakıt ateşleme cihazlarında, katı hal bataryalarda, kuvvet algılama cihazlarında ve diğer ürünlerde kullanılmaktadır. Basınç zorlama ve voltaj değerleri (veya elektrik alan kuvveti), piezoelektrik seramik elemana, materyalin zorlama değeri doğrultusunda üretilmektedir. Bu durum aynı şekilde voltaj değerinin uygulanması ile seramikte gerilim oluşturulması için de doğrudur.

Eğer aynı polariteye sahip voltaj değeri kutuplandırma voltajı olarak seramik elemana uygulanırsa, kutuplanmış voltaj doğrultusunda seramik eleman uzayacak ve çapı küçülecektir. Eğer kutuplanma doğrultusunun dikine kutuplandırma voltajı uygulanırsa eleman kılacak ve genişleyecektir. Eğer alternatif voltaj uygulanırsa eleman uygulanan voltaj değerinin frekansına bağlı olarak periyodik olarak kılalıp uzayacaktır. Bu durum motor hareketidir ve bu sayede elektrik enerjisi mekanik enerjiye dönüşecektir. Bu prensip piezoelektrik motorlara, ses veya ultrason üreten cihazlara ve birçok cihaza daha uygulanmıştır [4].

Piezoelektrik üreteçler, piezoelektrik etki doğrultusunda çalışmaktadır. Bu durum, mekanik değişimlere tepki veren materyallerin mekanik değişimler doğrultusunda elektriksel potansiyel üretmelerini sağlamaktadır. Daha basit bir şekilde düşünmek gerekirse, basınç uygulanmış veya genişletilmiş piezoelektrik materyaller belirli bir voltaj değeri vermektedir. Bu etki tam ters şekilde seramik elemanın şeklinin değiştirilmesi veya bazı uygulanan mekanik baskı sonucunda da oluşması mümkündür. Bu materyaller bir çok açıdan kullanışlıdır. Temel bazı piezoelektrik materyaller yüksek voltaj değerlerine çok iyi dayanım göstermektedir ve bu durum sayesinde transformatörlerde ve diğer elektrik komponentlerde kullanışlıdır. Piezoelektrik seramikler ayrıca motor üretiminde, hassas çevresel şartlarda titreşimlerin azaltılmasında ve buna bağlı olarak enerji kollektörü olarak da kullanılmaktadır. Aşağıda enerji üretimi için kullanıldığı yöntemlerden bazıları incelenecektir.

Piezoelektrik materyallerin en temel kullanım şekillerinden biri kişisel enerji üreteçleri olarak kullanılmalarıdır. Piezoelektrik materyaller, telefonlara, MP3 oynatıcılara vs... yetecek kadar enerji üretebilmektedir. Ayakkabının tabanı piezoelektrik maddelerden üretilebilir ve atılan her adımda elektrik üretimi sağlanabilir. Bu sayede kişisel elektronik cihazlarda kullanılabilmesi için bataryalarda depolanabilir veya doğrudan kullanılabilir. Bir başka yeni düşünce ise sesin yankılanması ile oluşan titreşimlerin piezoelektrik materyaller aracılığı ile sese dönüştürülmesinin sağlanmasıdır. Şöyle ki, araçta radyo dinlerken, dışarıda parkta otururken, veya herhangi bir şey yaparken ses elektriğe çevrilebilmektedir [1]. Dünyanın artan enerji ihtiyacına karşılık yenilenebilir enerji kaynakları önemini iyice artırmıştır. Böylece piezoelektriğin yalnızca kişisel küçük çaplı araçlarda kullanılmasının yanı sıra büyük çaplı elektrik üretimine de katkı yapması öngörülmüştür [4-5].

### III.UYGULAMALI ANALİZ

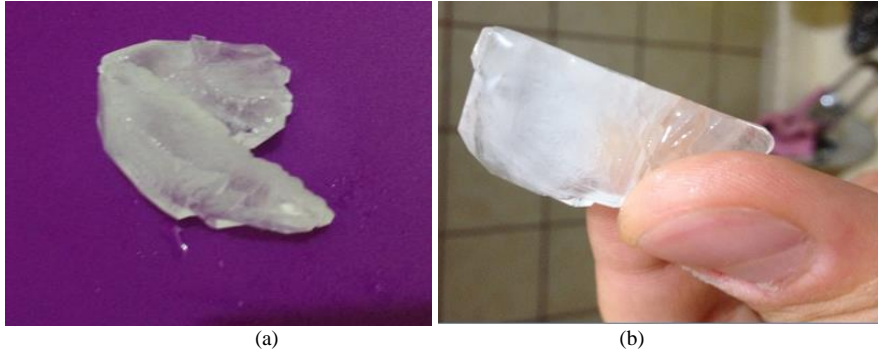
#### A. Piezoelektrik Kristal Üretimi

Çalışmanın ilk fazında, piezoelektrik sensörler yerine kristalin tarafımızca üretilmesi hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda 500g lık çamaşır sodası fırınlanarak bir saat boyunca 65 C°, 2.saat 120 C°, 3.saat 175 C°, 4.saat 230 C° 'de bekletildi. Sonrasında, beherglas içine 200g krem tartar ve 200ml saf su konularak beherglas içerisindeki karışım miktarı seviyesinde ki tencerede bulunan kaynamaya yakın su içine konuldu. Bu karışımın içine azar azar çay kaşığı miktarınca çamaşır sodası (potasyum karbonat) atıldı ve çözelti doyuruldu. Çözelti doyduktan sonra çözelti kahve filtresinden geçirilerek süzülme işlemi yapıldı ve çözelti açık havada üç hafta bekletildi (Şekil 3).



Şekil 3: Çözelti

Oluşturulan iki adet çözeltiden üç hafta sonunda oluşan kristaller Şekil 4'de gösterildiği gibi elde edilmiştir.



Şekil 4: Elde edilen kristaller (a) birinci çözelti (b) ikinci çözelti

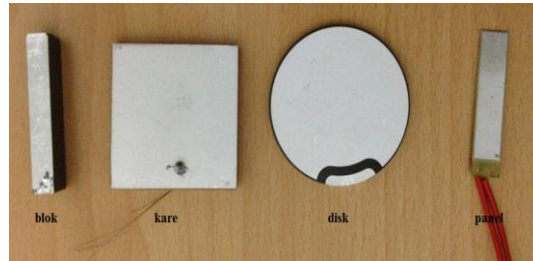
Oluşturulan kristaller sabitlenip sıkıştırılarak izolasyonu sağlanıp örnekleme frekansı 2GS/s olan 200MHz'lik bir osiloskoptan çeşitli basınçlarda gerilim değerleri gözlemlenmiştir. Ölçüm için hazırlanan malzemeden elde edilen veriler de ortalama 3 mV genlikli sinyaller elde edilmiştir. Bu genlikteki bir işaret oluşturulan prototip düzeneğe yetersiz kalacağı sonucunu bizlere göstermektedir.

Hedeflenen sonuçlar 5 ile 10 volt arasında olmasına rağmen böylesi bir üretimin 3mV gibi düşük genlikte çıkış vermesi ise kristallerde kullanılan malzemelerin istenilen saflıkta olmamasından, kullanılan krem tartarın ve çamaşır sodasındaki bileşenlerin saflığının düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca malzemenin kırılgen yapıda olmasından dolayı hafif basınçlarda parçalanması ve çözeltide çökmenin yaşanmasından istenilen sonuçlar alınamamıştır.

Çalışmamızın ikinci fazında, elde edilen kristal de ki düşük elektriksel verim sebebiyle farklı yapıdaki piezoelektrik sensörlerin kullanımına geçilmiştir.

#### B. Kullanılan Piezoelektrik Malzemeler

Kristal üretiminden elde edilen verimlerin düşük olması sebebiyle prototip de kullanılacak piezoelektrik paneller farklı yapıda seçilerek test edilmiştir. Kare, disk, blok ve panel yapıdaki piezoelektrik sensörler karşılaştırmalı analizlerde kullanılmıştır (Şekil 5).



Şekil 5 : Analiz edilen piezoelektrik malzemeler

Frekansları diğer malzemelere göre çok düşük olan panel ( bimorph) yapıdaki malzeme den elde edilen sonuçlarda 15-20 V genlik aralığında sonuçlar elde edilmesi sebebiyle, panel malzeme modelimizde kullanılmıştır. Ölçüm sonuçlarından elde edilen malzemelere ait karşılaştırmalı değerler Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3 : Piezoelektrik malzemelerin karşılaştırılması

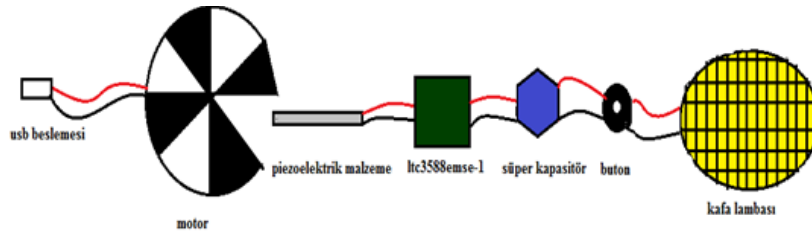
Malzeme	Dayanıklılık	Rezonans Frekansı	Hassasiyet	Model Uygunluğu	Çıkış Gerilimi
Blok	Yüksek	200 kHz	Düşük	Düşük	3.1 V
Kare	Yüksek	740 kHz	Düşük	Düşük	4.2 V
Disk	Yüksek	45 kHz	Düşük	Düşük	3.19 V
Panel	Düşük	2 kHz	Yüksek	Yüksek	15-20 V



### C. Enerji Hasadı Modeli

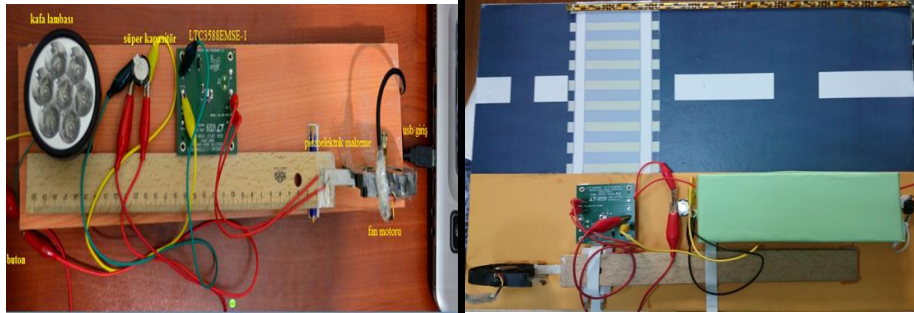
Oluşturulan modelde piezoelektrik panel çıkışında LTC 3588EMSE-1 entegresi kullanılmıştır. Optimum düzeyde gerilimi sağlamak ve kayıpları en aza indirerek elde edilen elektrik enerjisini yükte aktarmak hedeflenmiştir. Mevcut güç elektroniği elemanları ile oluşturulabilecek bir devre modelinin kayıpları fazla olacağından dolayı piezoelektrik panelden elde edilecek enerji güç elektroniği elemanları üzerinde harcanması istenmemesi sebebiyle bu tür bir enerji hasadı devresi kullanılmaktadır. Oluşturulan ilk prototip de kafa lambası, diğer model de ise şerit led yük olarak kullanılmıştır.

Kullanılan piezoelektrik malzemenin frekansının çok yüksek olması sebebi ile bu sistemde titreşim basıncı 5 voltluk fan motoru ile sağlanmıştır. Motorun devir sayısı piezoelektrik panel bağlı iken takometre ile ölçülerek 370,8 d/d olarak bulunmuştur. Aynı zamanda motor uyguladığı basınç, basınç sensörü ile  $1.3 \times 10^3 \text{ N/m}^2$  olarak bulunmuştur.  $1.3 \times 10^3 \text{ N/m}^2$  basınç ile ortalama 0.3 V gerilim anlık darbe için üretilmiştir. Kurulacak sistemde devreye piezoelektrik malzeme dışında başka bir kaynak kullanılmayacak olup sistemde motor olarak modellenen kısmın sağladığı titreşimi otoyollarda araçların sağlayabilmesi hedeflenmiştir. Bu şekilde oluşan gerilim LTC3588EMSE-1 enerji harmanlayıcı devresi ile doğrultulur ve akım yükseltilerek süper kapasitörde depolanır ve anahtara basıldığında kafa lambası yakılır (4.5 volt).



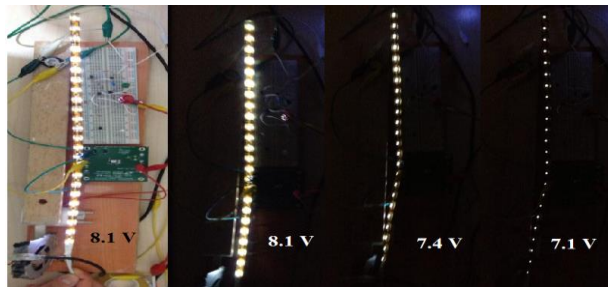
Şekil 6 : Prototipin şematik gösterimi

Sistemde motorun tüm pervane kanatları piezoelektrik malzemeye uyguladığı basınç ile malzemede oluşan titreşim, devreye enerji sağlamaktadır (Şekil 7).



Şekil 7 : Prototip model

Yükseltme işlemi ile birlikte devrede yaklaşık olarak 13 dk ledler yanmıştır. 24 tane led ilk yanma anında yaklaşık 5.9 mA civarında akım çekmiştir (Şekil 8).

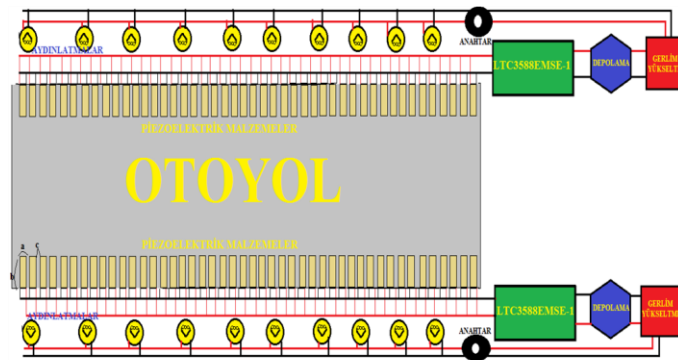


Şekil 8: Ledlerin zamanla azalan gerilim değerlerindeki parlaklıkları

#### IV.SONUÇLAR

Enerji hasat etmek için uygun dinamik ortamın belirlenmesi gerekmektedir. Titreyen yapıların üzerine yerleştirilen piezoelektrik malzemeler ile sürekli voltaj elde edilebilmekte ve bu voltaj uygun bir devreden geçirilerek kullanılabilir enerji haline dönüştürülebilmektedir. Bu enerji ile piller şarj edilebilir yada yapının enerji ihtiyacı direk karşılanabilir. Çalışmamızda da otoyol üzerine döşenen ışıklar ile yolun aydınlatılması amacıyla uygun olarak oluşturulan prototip platform üzerine şerit ledler yerleştirilerek uygulama gerçekleştirilmiş ve piezoelektrik malzemelerden bazıları için karşılaştırmalı analiz sonuçları verilmiştir. Mevcut model üzerinde en uygun malzeme yapısının panel tipi piezoelektrik sensörlerinin olacağı sonucu elde edilmiştir. Platform üzerinden basınç sensörü yardımıyla alınan ölçüm değerlerinde yaklaşık bir darbe için  $1.3 \times 10^3$  N/ m<sup>2</sup> basınç değeri gözlenmiş ve bu anlık darbe değerine karşılık 0.3 V genlikli sinyal gözlemlenmiştir. Elde edilen sinyal LTC3588EMSE-1 enerji hasadı kitine aktarılmış ve süper kapasitör ile yük beslemesi gerçekleştirilmiştir.

Otoyollarda Şekil 9' da ki gibi bağlantı yapılabilecek bir sistem ile gerek aydınlatma elemanlarının bir kısmının gerekse raylı sistemler de hemzemin geçit bölgelerinde traverslere yerleştirilecek disk paneller sayesinde flaşör devrelerinin desteklenebilirliği, oluşturulan bu model üzerinden gösterilmiştir.



Şekil 9 : Otoyollar için örnek diyagram

Deney sonuçları gösteriyor ki girişteki piezoelektrik malzemenin rezonans frekansı düşürülürse depolama elemanı daha da kısa bir süre içinde dolacaktır. Devrede kullanılan diğer malzemelerinde güç kayıpları açısından minimum olanları tercih edilirse devrenin verimi de kullanılabilirliği de artacaktır. Böylece daha yüksek eşik gerilimine sahip elemanlar etkinleştirilebilecek ve birçok alanda kullanılacaktır. İlerleyen teknoloji ile birlikte piezoelektrik malzemelerinin maliyetlerinin azalması ve verimliliklerinin artması bu tür sistemlerin yaygın şekilde kullanımı öngörülmektedir. Gelecek çalışmalarda oluşturulan büyük çaplı düzenekler ile blok tipi piezoelektrik malzemelerin kullanılması ve farklı boyutlarda araçların düzenekten geçirilerek çıkış sinyallerinin gözlemlenmesi hedeflenmektedir.

#### KAYNAKLAR

- [1] Kaya T., *A Novel Micro Piezoelectric Energy Harvesting System*, Ph.d Thesis., Istanbul Technical university Institute of Science and Technology ,August 2007.
- [2] Kasuga T. , Hashimoto K. , Shiraishi S., “Design of a Lane Marker Lighting System based on Piezoelectric Power Generation”, *Vehicular Technology Conference ,IEEE*, 2011.
- [3] Makki N, Pop-Iliev R. *Battery-and Wireless Tire Pressure Measurement Systems (TPMS) Sensor Microsystem Technologies*, August 2012, Vol. 18, Issue 7-8, pp .1201-1212.
- [4] Afacan O., *Piezoelectric Power Generation Using Heart Motion*, Master Thesis, Bilkent University, Ankara, September 2006.
- [5] Bozkurt H., Dokur E., Koksal Ç., “Akıllı Ulaşım Sistemlerinin Ertuğrulgazi ve Osmangazi Tünelleri İçin Değerlendirilmesi”, *1. Karayolu Akıllı Ulaşım Sistemleri Kongre ve Sergisi (KAUS 2014)*, İstanbul, 26-28 Mayıs 2014.