



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



# Akarsularda piezoelektik ile elektrik enerjisi hasadı için girdap üretici tasarımı

## *Vortex generator design for electrical energy harvesting with piezoelectric in rivers*

*Yazar(lar) (Author(s)):* Sedat YAYLA<sup>1</sup>, Sümeyya AYÇA<sup>2</sup>, Mehmet ORUÇ<sup>3</sup>

*ORCID<sup>1</sup>:* 0000-0001-6640-6511

*ORCID<sup>2</sup>:* 0000-0002-5803-4268

*ORCID<sup>3</sup>:* 0000-0001-7497-7613

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Yayla S., Ayça S., ve Oruç M., "Akarsularda piezoelektik ile elektrik enerjisi hasadı için girdap üretici tasarımı", *Politeknik Dergisi*, 24(3): 771-777, (2021).

**Erişim linki (To link to this article):**

**DOI:** 10.2339/politeknik.657707

# Akarsularda Piezoelektrik ile Elektrik Enerjisi Hasadı için Girdap Üretici Tasarımı

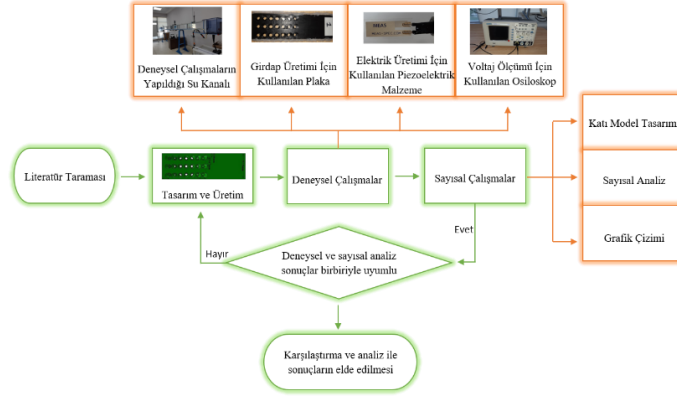
## Vortex Generator Design for Electrical Energy Harvesting with Piezoelectric in Rivers

### Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Yenilenebilir enerji kaynağı kullanılarak akarsudan elektrik elde etmek için girdap üretici plaka tasarlanmıştır. / A vortex generator plate was designed to generate electricity from a stream using a renewable energy source.
- ❖ Tasarlanmış olan plaka ile deneysel ve sayısal çalışmalar yapılmıştır. / Experimental and numerical studies were carried out with the designed plate.
- ❖ Elektrik üretimi için Piezoelektrik malzeme kullanılmıştır. / Piezoelectric material was used for electricity production.

### Grafik Özet (Graphical Abstract)

Girdap üretici plaka tasarımı yapıp piezoelektrik malzemeden elektrik üretimi gerçekleştirilmiştir.



Şekil. Akış Diyagramı /Figure. Flow Chart

### Amaç (Aim)

Girdaplar üreterek piezoelektrik malzemelerden en iyi verimle elektrik enerjisi üretmektir. / It is to produce electrical energy with the best efficiency from piezoelectric materials by producing vortices.

### Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Deneysel ve sayısal yöntemler kullanılmış olup ilgili sonuçlar doğrulanmıştır. / Experimental and numerical methods have been used and the relevant results have been verified.

### Özgünlük (Originality)

Tasarımı yapılmış olan girdap üretici plakanın aynısı veya benzeri ile daha önce bu alanda çalışılmamıştır. / The same or similar vortex generator plate that has been designed has not been used in this area before.

### Bulgular (Findings)

Elde edilen deneysel ve sayısal çalışma sonuçlarının birbiri ile örtüştüğü görülmektedir. / It is seen that the experimental and numerical study results obtained parallel with each other.

### Sonuç (Conclusion)

Reynolds sayısı 30825 ve girdap üretici plaka ile piezoelektrik malzeme arasındaki mesafe 65 mm iken en iyi verimin elde edildiği kaydedilmiştir. / It was noted that the best efficiency was obtained when the Reynolds number was 30825 and the distance between the vortex generator plate and the piezoelectric material was 65 mm.

### Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

# Akarsularda Piezoelektik ile Elektrik Enerjisi Hasadı İçin Girdap Üretici Tasarımı

(Bu çalışma ULIBTK 2019 Kongresi'nde bildiri olarak sunulmuştur. / This study was presented at ULIBTK 2019 Congress.)

*Araştırma Makalesi / Research Article*

**Sedat YAYLA\***, **Sümeyya AYÇA**, **Mehmet ORUÇ**

Mühendislik Fakültesi, Makine Müh. Bölümü, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 10.12.2019 ; Kabul/Accepted : 04.05.2020; Erken Görünüm/Early View : 06.05.2020)

## ÖZ

Günümüzde, teknoloji ve bilimin ilerlemesiyle birlikte artan nüfus ve refah seviyesine paralel olarak enerji ihtiyacı da gün geçtikçe artmaktadır ve giderek artan bu enerji ihtiyacını karşılamak için de alternatif enerji üretim yöntemleri araştırılmaktadır. Yapılan bu çalışmada da artan enerji ihtiyacına çözüm üretmek amacıyla; kapalı sistem bir akış kanalı içerisine girdap üretici plakalar yerleştirilip türbülanslı akış oluşturularak piezoelektrik malzemede meydana getirilen titreşimlerden elektrik enerjisi üretilmeye çalışılmıştır. Belirtilen çalışma kapsamında, tasarımı yapılan girdap üretici plaka aracılığıyla akışkanın türbülans değeri artırılıp 4 farklı Reynolds sayısı ve kanal içine dikey olarak 2 farklı mesafede konumlandırılan bir piezoelektrik malzeme ile çalışılmıştır. Tasarlanıp üretilen girdap üretici plaka ile yapılan deneysel çalışmaların sonuçları sayısal olarak da HAD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) simülasyon programı ile elde edilmiş ve böylece bu çalışmadan sonra aynı konu üzerinde yapılacak sayısal çalışmalar için sınır şartları tanımlanmıştır. Bu çalışma sonucunda en iyi enerji hasadı veriminin dikey olarak konumlandırılan piezoelektrik malzeme ile 30825 Reynolds sayısında ve piezoelektrik malzeme ile girdap üretici plaka arasındaki mesafenin 65 mm olduğu anda elde edildiği gözlenmiş olup 0.017 V voltaj ve 4.82 J/kg Türbülans Kinetik Enerji değeri elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Girdap üretici plaka, enerji hasadı, piezoelektik malzeme, yenilenebilir enerji.

## Vortex Generator Design for Electrical Energy Harvesting with Piezoelectric in Rivers

### ABSTRACT

Nowadays, technology and progress in parallel with the energy needs of the increasing population and affluence are increasing day by day with the science and alternative energy production methods are investigated to meet the growing energy needs. To find solutions to the growing energy needs in this study; closed system flow channel plates inserted into the vortex generators establishing a turbulent flow of electricity from the piezoelectric material generated vibration is to be developed. Within the scope of the specified study; vertically in the design of the turbulence value of fluid through the vortex generators made four different Reynolds number can be increased and the channel plate eluted with a piezoelectric material disposed of in two different distances. The results of the experimental studies designed and produced with the vortex generating plate were obtained numerically with the HAD (Computational Fluid Dynamics) simulation program and thus, the boundary conditions for the numerical studies on the same subject were defined after this study. As a result of this study; it was observed that the best energy harvesting efficiency was obtained with the piezoelectric material positioned vertically at the number of 30825 Reynolds and when the distance between the piezoelectric material and the vortex generator plate was 65 mm, the value of 0.017 V voltage and 4.82 J / kg Turbulent Kinetic Energy value was obtained.

**Keywords:** Vortex generator plate, energy harvesting, piezoelectric material, renewable energy.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanarak enerji üretiminin giderek yaygınlaştığı ve geliştirildiği günümüz şartlarında bu enerji kaynaklarından maksimum seviyede faydalanılıp doğaya minimum zarar verme çabası güdülmektedir. Çünkü enerji ihtiyacına olan talebin artmasına paralel olarak kullanılan enerjinin büyük bir kısmı fosil yakıtlar ile karşılanmakta olup bu fosil yakıtlardan enerji üretimi esnasında ortaya çıkan sera gazı ve üretim işlemi sonunda oluşan artıklar çevre için tehlike arz etmektedir [1]. Doğal gaz, petrol, kömür gibi fosil yakıtlar mineral

yakıt olarak da bilinen yenilenebilir doğal enerji kaynakları olup yakılarak kullanılan bu enerji kaynakları oksijen azalmasına ve karbondioksit oranının artmasına yol açarak asit yağmurları oluşumunu tetiklemektedir. Aynı zamanda fosil yakıtlar sanayi tesislerinde, otomobil ve makineler dâhil birçok alanda kullanılmakta olup etrafa yaydığı gaz ve fosil parçacıkları ile insan sağlığını da olumsuz yönde etkilemektedir. İhtiyacımız olan enerjiyi karşılamak için bu yenilenebilir enerji kaynakları yerine, enerji üretim proseslerinde doğal süreçlerden yararlanılan ve kullanılan enerji kaynaklarının tükenme süresinden daha hızlı bir şekilde üretilebilen, kendini yenileyebilen enerji kaynaklarına olan ilgi artmaktadır. Alternatif enerji kaynaklarının entegre bir şekilde kullanılması, sürdürülebilirlik yaklaşımı için de gereklidir

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta: syayla@yyu.edu.tr

[2]. Enerji tüketimindeki hızlı artış endüstri devrimi ile başlamış olup bu artışın durağanlaşması beklenemez ve yapılan çalışmalar neticesinde 2000-2100 yılları arasında dünyanın kümülatif enerji tüketiminin en az 82500 EJ olacağı hesaplanmıştır [3]. İhtiyacımız olan bu enerjinin karşılanması için fosil yakıtlara olan mecburi eğilimin önüne geçilerek, enerji dönüştürücü sistemleri ile yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaştırılması gerekmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak bu mevcut enerjilerin birbirine dönüştürülmesi ve yüksek enerji oluşumunun elde edilmesi için yapılan birçok çalışma mevcuttur.

Talaat vd, [4] yapmış oldukları bir çalışmada rüzgâr, dalga ve güneş enerjilerinin entegre edilerek yüksek verimde güç çıktısı elde edilebilmesi adına sayısal ve deneysel çalışmalarıyla birçok yeni modelleme önermektedirler. Yurchenko ve Alevras, [5] yapmış oldukları çalışmada parametrik bir sarkaç kullanarak dalga enerjisinin dönüşümü için düzenli bir akışa sahip olan deniz suyu ile yeni bir dönüştürücü modellemesi önermektedirler.

Gelişmekte olan teknoloji ile birlikte artan enerji ihtiyacına çözüm aranırken fonksiyonlu enerji dönüştürücü sistemlere olan yönelim artmaktadır ve bu fonksiyonlu cihazları imal etmek için de (mekanik, optik, elektriksel ve manyetik özellikler dahil) son yıllarda dikkat çeken ferroelektrik-metal kompozitlerin ferroelektrik ve piezoelektrik özelliklerinin zenginleştirilmesi üzerine de çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Malzemeler üzerine yapılan bu geliştirme yöntemleriyle enerji verimi bakımından elde edilmek istenen kazancın artırılması amaçlanmaktadır. Enerji dönüştürücü sistemlerde kullanılan malzemelerden biri olan piezoelektrik malzemeler, algıladığı statik veya dinamik bir darbeyi elektrik sinyaline dönüştürmek için kullanılır. Bu malzemeler sensörler, osilatörler, elektronik ambalajlar, ultrasonik görüntüleme gibi birbirinden farklı birçok alanda kullanılmaktadırlar [6]. Piezoelektrik malzemeler; zorlama ve darbeye bağlı uygulamalarda kullanılacak en basit jeneratör tipidir ve bu jeneratörler darbe bağımlı, insan kaynaklı, konsol tabanlı ve bunun benzeri şekilde sınıflandırılarak üretilmektedirler. Piezoelektrik malzemeler ile elektrik enerjisi toplanması üzerine son yıllarda birçok tasarım önerilmekte olup kendini otomatik olarak ayarlayabilme ve elektrik enerjisini daha verimli toplayabilme özelliklerinin iyileştirilmesi üzerine çalışılmaktadır.

Cheng vd, [7] sayısal olarak yaptıkları bir çalışmada piezoelektrik malzeme kullanarak kendini otomatik olarak ayarlayabilen ve enerji toplama veriminin artırılması üzerine bir modelleme önermektedirler. Yapmış oldukları simülasyonlar ile 2 saniye içerisinde kendini otomatik ayarlayabilme özelliğine sahip olan modellemenin deneysel çalışmaları için sınır şartlarını ortaya koymuşlardır. Jabbar vd, [8] yapmış oldukları bir çalışmada piezoelektrik enerji hasadı yöntemi ile ilgili yeni bir yaklaşım olarak dirençli empedans eşleşmesi, sıfır gerilimli anahtarlama koşullarında çalışan iki yönlü indüktörsüz yarım köprü devresine sahip kademeli bir

piezoelektrik enerji dönüştürücü malzeme önermektedirler.

Mekanik titreşimin elektrik enerjisine dönüşümü için kullanılan piezoelektrik malzeme özelliklerinin iyileştirilmesi adına birçok çalışma mevcuttur. Zhang vd, [9] yapmış oldukları bir çalışmada hareketli araçların titreşiminden kaynaklanan mekanik titreşimin elektrik enerjisine dönüştürülmesi için piezoelektrik enerji hasadı yönteminden faydalanılması için iki farklı tasarım önermektedirler. Mutsuda vd, [10] yapmış oldukları bir çalışmada okyanus ve rüzgâr enerjisi gibi etmenlerin oluşturduğu mevcut kinetik enerjinin, elektrik enerjisine dönüşümü için kullanılan piezoelektrik malzemeler için yeni ve çok esnek bir piezoelektrik malzeme önermektedirler. Chen vd, [11] yapmış oldukları bir çalışmada karıştırıcı kullanarak mekanik titreşimlerle piezoelektrik malzeme üzerindeki elektrik üretimini incelemek üzere yeni bir modelleme üzerinde çalışmalar yapmışlardır.

Girdap mevcut dönme eksenini etrafında dönen akışa verilen isimdir. Girdapların üretimi için özel yüzeyler gerekmektedir ve bu yüzeylere girdap üretici denilmektedir [12]. Girdap kaynaklı titreşimler üzerine yapılan birçok çalışma mevcuttur. Xu vd, [13] yapmış oldukları bir çalışmada akış etkisindeki eğimli bir silindirin çevresinde oluşan girdap kaynaklı titreşimleri incelemek üzere silindirin eğimi ile ilgilenmişlerdir ve bu çalışma ile birlikte farklı Reynolds sayılarında ve farklı eğim açılarında çalışarak yeni bir modelleme sunmuşlardır. Girdap kaynaklı titreşimler ile enerji hasadı üzerinde birçok modelleme çalışması mevcuttur. Rostami ve Armandei, [14] yapmış oldukları bir çalışmada girdap kaynaklı titreşimlere bağlı olarak yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım teknolojilerini incelemişlerdir.

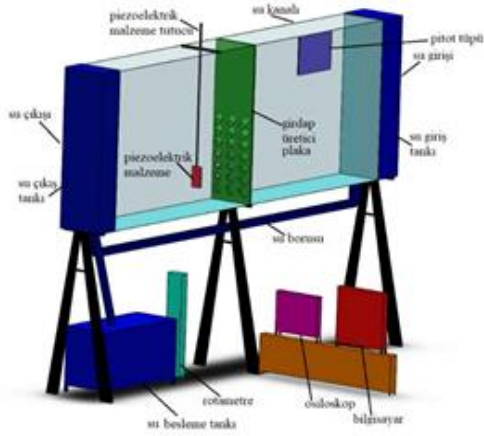
Song vd, [15] yapmış oldukları bir çalışmada su kanalı içerisine bıraktıkları bir silindire piezoelektrik malzeme monte ederek silindir tarafından meydana gelen girdap kaynaklı titreşimler ile piezoelektrik malzemelerden elektrik enerjisi üretilmesi üzerine bir modelleme sunmuşlardır. Hu vd, [16] yaptıkları bir çalışmada, girdap salınımına bağlı titreşim ile piezoelektrik enerji dönüştürücü modellemesi üzerinde deneysel ve sayısal çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları deneylerde; bir su kanalı içerisine yerleştirilen silindirin arkasında oluşan girdapların piezoelektrik malzemeyi titreştirmesi ile oluşan kinetik enerjinin elektrik enerjisine dönüşümünü incelemişlerdir.

Yapılan bu çalışma kapsamında, deneysel ve sayısal olarak; piezoelektrik ile enerji hasadı yöntemi ele alınarak yenilenebilir enerji kaynağı olan hidrolik enerjiden elektrik enerjisi elde etmek amacıyla nozullara sahip girdap üretici plaka tasarımı yapıp bu plakaya farklı uzaklık mesafelerinde yerleştirilen piezoelektrik malzemenin elektrik enerjisi üretilmeye çalışılmıştır. Tasarlanan girdap üretici plaka, 3D Yazıcı ile üretilip kapalı sistem su kanalına yerleştirilip gerekli deneyler yapılmıştır. Piezoelektrik malzemeye çarpan akışkanın türbülanslılık değeri üretilen plaka sayesinde artırılıp

akışkanın etkisi ile elde edilen elektrik hasadı incelenmiştir. Piezoelektrik malzemeden elde edilen voltaj değerleri bir osiloskop ile ölçülüp ölçülen bu değerler de tasarlanan girdap üreticilerinin etkisine göre değerlendirilmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

Yenilenebilir enerji kaynağı olarak, hidrolik enerjiden elektrik enerjisi elde etmek amacıyla yapılan bu çalışma kapsamında nozullara sahip girdap üretici plaka tasarımı, deney analizlerinin yapılacağı kanalın boyu ve genişliği temel alınarak yapılmıştır. Tasarımı yapılan her iki plakada 21 adet su püskürtücü mevcuttur ve plakaların genişlik ve boyları deneyin yapıldığı kanal sabit olduğu için değiştirilmemiştir.



**Şekil 1.** Çalışmada kullanılan deney düzeneğinin şematik ve yandan gösterimi. (Schematic and side view of the experimental setup used in the study.)

Şekil 1'de görülen deney düzeneğine ait tasarım gösterilmiş olup deneylerin yapılacağı kapalı sistem su kanalı, 20 mm yüksekliğinde ve 5m uzunluğundadır ve su kanal içerisinde, plaka kenarlarından olası su sızmalarına karşı önlem almak amacıyla akvaryum tutkalı ile girdap üretici plaka kanala sabitlenmiştir. Piezoelektrik malzemenin kanal içerisinde istenilen şekilde anlık olarak sabit konumlandırılması, piezoelektrik malzeme tutucu bir aparat yardımı ile sağlanmıştır.

Deneyisel çalışmalarda kullanılan su kanalı; 5 metre uzunluğunda ve 30mm yüksekliğinde olup ayarlanabilir eğim derecesine sahiptir. Kapalı sistem su kanalında sirkülasyonu sağlayan itme pompası tek fazlı, 220V ve 2800 RPM devire sahip bir hidrolik pompadır. İtme pompası yanında bulunan debimetre(rotometre) 600 ile 6000 litre/saat aralığında çalışmaktadır. Su depolama tankı 140 litre, su giriş tankı ve tahliye valfi ile alım deposu 38 litredir. Deney düzeneğinin kurulduğu akış tankında su seviyesini ölçmek için limnometre ve basınç farkını ölçmek üzere de pitot tüpü mevcuttur.

Kapalı sistem su kanalında akmakta olan durgun suyun, girdap üretici plaka ile bozulmasıyla su kanalında meydana gelen girdaplar sayesinde suyun sahip olduğu hidrolik enerji piezoelektrik malzeme aracılığıyla elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Enerji hasadı için kullanılan piezoelektrik malzeme, şekil 2'de gösterildiği gibi titreşim veya baskı sonucu elektrik enerjisi çıkışı verebilen 28 µm inceliğinde, PVDF polimer film ve 0.125 mm polyester bir katman üzerine preslenmiş kullanımı rahat bir malzemedir ve bu malzemenin çalışma sıcaklığı 0 °C- 85 °C aralığında olup yüksek şiddetteki darbelere karşı dayanıklıdır.



**Şekil 2.** Enerji dönüştürücü olarak kullanılan piezoelektrik malzeme. (Piezoelectric material used as energy converter)

Yapılan deneyler sırasında su kanalı içerisinde akmakta olan suyun Reynolds sayısındaki değişimin basınca olan etkisi ise Pitot Tüpü ile yapılan ölçümlerle elde edilmiştir. Aynı zamanda, üretilen girdap üretici plakadan çıkan su kütlelerinin piezoelektrik malzemede oluşturduğu titreşimler ile elde edilen voltaj değerleri. MHz ölçüm yapabilen bir Osiloskop ile kaydedilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda saniyede elde edilen 15000 voltaj değeri bilgisayarda analiz edilerek grafiklere dönüştürülmüştür.

### 2.2 Sayısal Çalışmalar (Nümeric Studies)

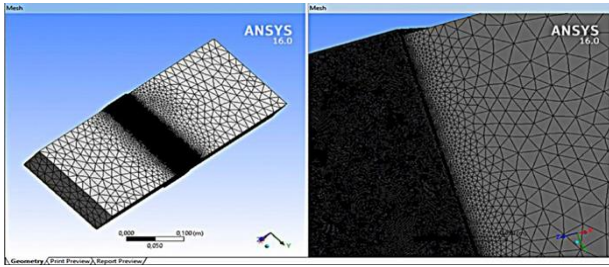
Hidrolik enerjiden elektrik enerjisi elde etmek amacıyla geliştirilmiş olan girdap üretici plaka tasarımı, deney düzeneği temel alınarak çalışıldığı için boy, en ve nozul sayısı sabit tutulmuştur. Şekil 3'de gösterilen girdap üretici plaka tasarımı için yapılan sayısal çalışmalarda girdap üretici plaka ve piezoelektrik malzeme arasındaki mesafeler 65mm ve kanal içerisinde akmakta olan suyun Re sayısı 30825 olarak alınmıştır. Tasarımı yapılan girdap üretici plaka mukavemet olarak dayanımı yüksek, çapı 1.75mm olan PLA Filament malzeme ile 3D yazıcı tarafından üretilmiştir. Üretimi yapılmış olan girdap üretici plaka ve deneylerin yapıldığı kanal içerisindeki

akan suyun, plaka ve kanal arasındaki boşluklardan sızmasını önlemek amacıyla su geçirmeyen akvaryum tutkalı ile sabitlenmiş ve bu şekilde deneylerden elde edilen verilerde olası bir akış bozulmasının önüne geçilmeye çalışılmıştır.



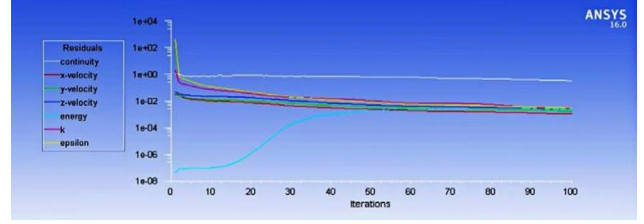
Şekil 3. Tasarım ve üretimi yapılan girdap üretici plaka. (Design and manufacture of vortex generator plate.)

Kanal içerisinde akmakta olan durgun suyun, nozullara sahip olan girdap üretici plaka sayesinde akış dengesini bozarak girdap üretmesiyle elde edilen enerjinin piezoelektrik malzeme yardımı ile elektrik enerjisine dönüştüğü esnada üretilmiş olan voltaj Osiloskop yardımı ile ölçülmüştür. Osiloskop yardımı ile ölçülmüş olan voltaj değerleri 0,06 saniyede 15000 veri elde edilmiş olup bu veriler Excel dosyası olarak kaydedilip daha sonra Matlab R2014a Programı ile grafikler halinde okunmuş ve bu verilerin analizleri yapılmıştır.



Şekil 4. HAD Programında uygulanan mesh. (Mesh applied in CFD Program.)

Üretilen plakada deneysel olarak yapılan çalışmaları HAD Programında metrik birim sistemi kullanılarak sayısal olarak çalışılmıştır. Model olarak ideal akış (pressure based), durgun geometri (absolute) ve daimî akış (steady) seçilmiştir. Şekil 4’de gösterildiği gibi mesh uygulanıp sağlıklı veriler elde edilmeye çalışılmıştır. Türbülanslı akışta duvarlardan uzak noktalarda en iyi sonucu verdiği bilinen Standart k-  $\epsilon$  modeli seçilmiş ve Enerji durumu açık halde girilmiştir. Materyal olarak tasarlanan prototip katı (aluminum) ve kanal içerisinde akmakta olan akışkan su (water-liquid) olarak seçilmiştir. Türbülans yoğunluğu (turbulent intensity) %5 ve türbülans viskozite oranı (turbulent viscosity ratio) 10 alınarak sabit tutulmuştur. Daha sonra verimli bir çözümlenme elde etmek için iterasyon sayısı 100 olarak alınmış olup Şekil 5’de de görüldüğü gibi uygulanan iterasyon çizgilerinin düz olması çözümlenmenin doğru olduğunu göstermektedir.

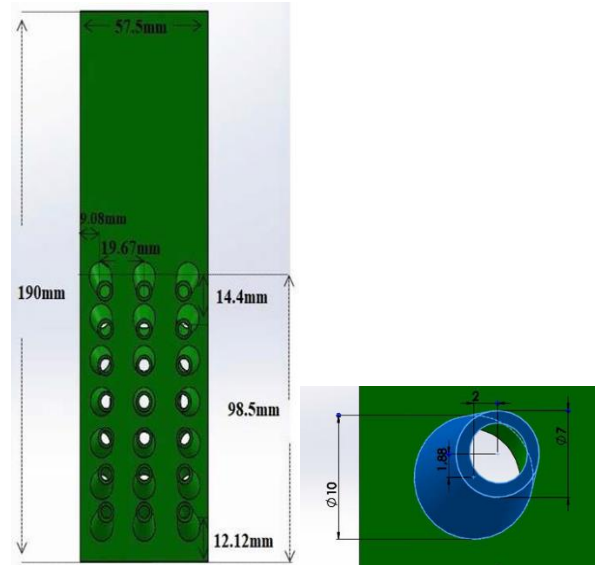


Şekil 5. HAD Programında çözümlenme için uygulanan iterasyon. (Iteration applied in the CFD Program for analysis.)

Kanal içerisinde akmakta olan suyun, tasarımı yapılan, nozullara sahip girdap üretici tarafından akış yapısının bozulmasıyla oluşan girdaptan elde edilen enerjinin, piezoelektrik malzeme üzerindeki dikey uzunluk boyunca oluşturduğu türbülans kinetik enerji, hız, basınç gibi verilerin grafikleri ve hacimsel gösterimini elde etmek için piezoelektrik malzeme önüne mevcut koordinatlara göre bir çizgi (line) çizilmekte ve bu çizgi boyunca istenilen veriler elde edilmektedir.

### 2.3 Girdap Üretici Plaka (Vortex Generator Plate)

Yapılacak deneysel çalışmalar kapsamında kullanılmak üzere ilk olarak, üretilen girdap üretici plaka ve enerji dönüştürücü olarak kullanılan piezoelektrik malzeme arasındaki mesafeler ve kanal içerisinde akmakta olan suyun Reynolds sayısı değiştirilmiştir. Mesafeler 65 mm ve 160 mm; Reynolds sayıları, 19219, 22318, 27158, 30825 olmak üzere farklı değerler ile kanal içerisine dikey olarak yerleştirilen piezoelektrik malzeme kullanılarak deneyler yapıp en uygun veriler elde edilmeye çalışılmıştır.



Şekil 6. Girdap üretici plakanın ve girdap üretici plakaya ait eğim ölçüsünün şematik gösterimi (Schematic representation of the vortex generating plate and the slope measurement of the vortex generating plate)

Şekil 6'da verilmiş olan girdap üretici plakada bulunan nozullar 21 adettir ve nozul uzunluğu 6mm olacak şekilde belirlenmiştir. Plaka uzunluğu 190 mm ve genişliği 57.5 mm iken Nozullar arası dikey mesafe 14.4mm, yatay mesafe ise 19.67 mm ve nozulların plaka ile arasındaki yatay mesafesi ise 12.12 mm olarak belirlenmiştir. Şekil 6'da görüldüğü gibi girdap üretici plakada bulunan nozulların boyutlandırması, su giriş kısmına denk gelen uç çapı 10 mm ve su çıkış kısmında bulunan uç çapı ise 7 mm olarak belirlenmiştir ve çap merkezleri arasındaki mesafe 2 mm olarak verilmiş olup nozul eğimi bu şekilde belirlenmiştir. Tasarımı yapılmış olan birinci plaka ile gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda  $1.8 \times 10^4$  ile  $3.2 \times 10^4$  Reynolds sayıları arasında çalışılmıştır.

**Çizelge 1.** Kanal içerisinde akmakta olan suya ait basınç ve Reynolds sayısı değerleri. (Pressure and Reynolds number values of water flowing in the channel.)

	1. Deney	2. Deney	3. Deney	4. Deney
Başlangıç gösterge basıncı (pascal)	432	490	618	686
Reynolds Sayısı	19219	22318	27158	30825

Yapılan deneyler sonucu akış kanalı içerisinde akmakta olan suyun Reynolds sayısındaki değişimin basınca olan etkisi Pitot Tüpü ile yapılan ölçümlerle elde edilmiştir ve bu sonuçlar Çizelge 1'de gösterilmiştir.

#### 2.4 Matematiksel Modelleme ve Akış Yapısı (Mathematical Modeling and Flow Structure)

Yürütülen çalışmada yapılan deneylerde kanal içerisinde akmakta olan suyun hız değişimi Reynolds sayısını etkilemektedir. Değişen Reynolds sayısı ile akıştaki türbülans kinetik enerji incelenmiştir.

$$Re = VD/\gamma = \rho VD/\mu \quad (1)$$

Süreklilik denklemi bir akışkanında mevcut hacmin zaman ve konuma göre değişimi ile ilgilidir. Genel Süreklilik denklemi aşağıdaki gibidir.

$$\text{Süreklilik denklemi: } \partial\rho/\partial t + \nabla \cdot (\rho(V)) = 0 \quad (2)$$

Yapılan deneylerde kanal içerisinde akmakta olan su akışı, akışkan yoğunluğunun sabit kaldığı sürekli ve sıkıştırılamaz bir akıştır.

Sıkıştırılamaz akışın süreklilik denklemi:

$$\nabla \cdot V = 0 \quad (3)$$

Navier Stokes denklemi kullanımında kütle korunumu ve momentum korunumu kabulleri yapılmaktadır.

Kütlenin korunumu:

$$\partial\rho/\partial t + \nabla \cdot (\rho U) = 0 \quad (4)$$

Yürütülen çalışmada kullanılan akış türbülanslı akış olduğu için çözümlerlerde standart  $k - \epsilon$  modeli kullanılmıştır.

k denklemi:  $u \partial k/\partial x + \partial k/\partial y = 1/Re (v_t/\sigma_k) \nabla^2 k + P - \epsilon$  (5)

$\epsilon$  denklemi:  $u \partial \epsilon/\partial x + \partial \epsilon/\partial y = 1/Re (v_t/\sigma_\epsilon) \nabla^2 \epsilon - C_1 S_\epsilon - \rho C_2 \epsilon^2/k$  (6)

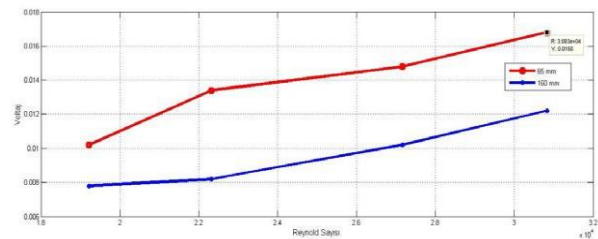
Yapılan bu çalışmada akış Newton tipi, tek fazlı, daimi, sabit viskozite yapısına sahip ve sıkıştırılamayan bir akış olduğu kabulleri yapılarak gerçekleştirilmiştir. Belirtilen özellikleri kabul edilen akış için süreklilik ve Navier-Stokes denklemleri iki boyutlu ve türbülanslı akış yapısı göz önüne alınarak değerlendirilmiştir.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS and DISCUSSION)

Yapılan bu çalışmada girdap üretici plaka ve farklı konumlardaki piezoelektrik malzeme ile 4 farklı

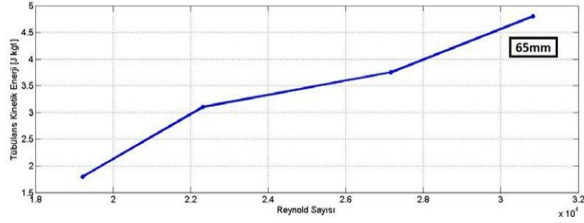
Reynolds Sayısı kullanılarak en iyi verimi elde etmek adına çalışılmıştır. Öncelikle deney yapılacak ortam şartlarına uygun olarak farklı iki adet mesafe ve dikey konumda bir piezoelektrik malzeme ile 4 farklı Reynolds Sayısı kullanılmıştır.

Osiloskoptan elde edilen veriler ile elde edilen grafikler; dikey konumda bulunan Piezoelektrik malzeme ile girdap üretici plaka arasındaki mesafeler ve akan suyun Reynolds sayıları değiştirilerek karşılaştırmaları yapılmıştır. Şekil 7'de görüldüğü gibi Osiloskop verileri ile elde edilen sonuçlara göre çizilen grafik analiz edildiği zaman en iyi sonucun, kanal içerisinde akan suyun Reynolds sayısının 30825 seçildiği ve Piezoelektrik malzeme ile girdap üretici plaka arasındaki mesafenin 65mm olduğu anda elde edildiği görülmüştür. Piezoelektrik malzeme ile girdap üretici plaka arasındaki mesafenin 65 mm olduğu ana kadar elde edilen osiloskop verilerinin sürekli olarak arttığı ancak 65 mm mesafeden sonra ise azaldığı gözlemlenmiştir.



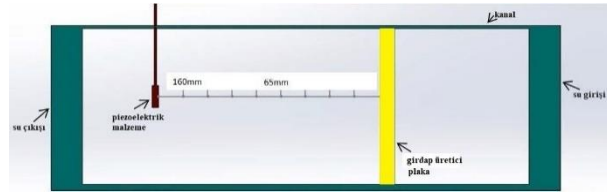
**Şekil 7.** Girdap üretici plaka ile çalışılan iki farklı mesafede değişen Reynolds sayılarının üretilen voltaja etkisi. (The effect of the Reynolds numbers varying over two different distances on the voltage generated by the vortex generator plate.)

Reynolds sayıları; kanal içerisinde akan suyun debisi değiştirilerek sudaki hız değişimleri Pitot Tüpü yardımı ile ölçülmüş ve denklem (1)'de belirtilmiş olan formül yardımı ile elde edilmiştir. Kanal içerisinde akan suyun Reynolds sayısındaki değişimin Türbülans Kinetik Enerjiye olan etkisi HAD Programı ile analiz edilmiş ve Osiloskop verileri ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

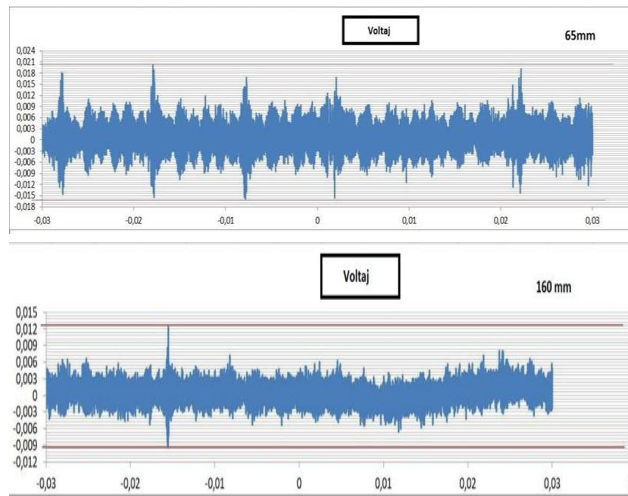


**Şekil 8.** Değişen Reynolds sayısının Türbülans Kinetik Enerjiye etkisi. (Effect of changing Reynolds number on Turbulent Kinetic Energy)

Şekil 8'de görüldüğü gibi Reynolds sayısı arttıkça Türbülans Kinetik Enerji artmış ve bu sonuçlar Osiloskop sonuçlarında elde edilen Reynolds sayısı arttıkça Voltaj değerinin arttığı yönündeki savı doğrulamıştır.

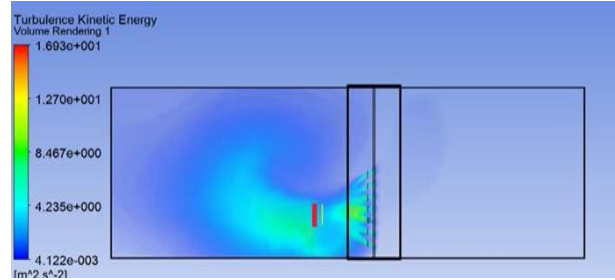


**Şekil 9.** Piezoelektrik malzeme ve girdap üretici arasında 2 farklı mesafede yapılmış olan deney düzeneğinin şematik gösterimi. (Schematic representation of the test apparatus made at 2 different distances between the piezoelectric material and the vortex generator.)



**Şekil 10.** 65 mm ve 160 mm mesafelerde osiloskop ile ölçümlenilen voltaj verileri. (Voltage data measured by oscilloscope at distances of 65 mm and 160 mm.)

Şekil 9'da görüldüğü üzere osiloskop ölçümleri ile elde edilen grafikleri mukayese edecek olursak 65 mm mesafede 0.02 volt iken 160 mm mesafede 0.0125 volt değeri elde edilmektedir. Piezoelektrik malzeme ile plaka arasındaki mesafe arttıkça voltaj değerindeki düşüş olduğu şekil 10'da gözlenmiştir. Girdap üreticiden akışkan kütle ilk çıktığı anda nozulun etkisinde hareket ettiği için ilk anda türbülans kinetik enerjisi düşüktür. İlerleyen mesafelerde momentum transferi artmakta ve buna bağlı olarak da türbülans kinetik enerjide artma meydana gelmektedir.



**Şekil 11.** En iyi verimin elde edildiği konumda bulunan piezoelektrik malzemede akan suyun etki ettiği Türbülans Kinetik Enerjinin HAD Programında gösterimi. (Representation of Turbulent Kinetic Energy in the CFD Program in which the flowing water acts on the piezoelectric material at the position where the best efficiency is obtained.)

Şekil 11'de görüldüğü gibi oluşan girdabın merkezinde düşme yaşanırken, merkezden uzaklaştıkça türbülans kinetik enerji en yüksek değerini almaktadır. 65 mm'deki voltaj değerinin en yüksek değerde olmasının nedeni girdap merkezinden en uzak noktada bulunuyor olmasıdır. Bu konumda girdap üretici plakadan çıkan suyun girdap oluşturma kapasitesi en yüksek seviyededir. Oluşan bu girdap kapasitesinden dolayı da piezoelektrik malzemede meydana gelen titreşim en yüksek değerindedir ve elde edilen voltaj değeri de buna paralel olarak maksimum seviyede ölçülmüştür.

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Yapılan çalışmalar neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

- Yenilenebilir enerji ile akarsudan elektrik elde etmek amacıyla yürütülen bu çalışmada tasarlanmış olan plaka ile yapılan deneysel çalışmalarda akan suyun Reynolds sayısı  $1.8 \times 10^4$  ile  $3.2 \times 10^4$  arasında, dikey konumdaki piezoelektrik malzeme üzerinde titreşimin etkisiyle oluşan voltaj değerlerindeki değişime iki farklı mesafede bakılarak en iyi sonucun elde edildiği değerler kaydedilmiştir.
- Tasarlanmış olan girdap üretici plaka ile yapılan deneyler sonucunda elde edilen veriler analiz edildiği zaman en iyi verim değerleri, 30825 Reynolds sayısı ve piezoelektrik malzeme ile girdap



- üretici plaka arasındaki mesafe 65mm olarak kaydedilmiştir.
- Osiloskop ölçümlerine bakılacak olursa en iyi voltaj değeri 65mm mesafede 0.02 volt değerinde olduğu görülmektedir.
  - Sonuç olarak en iyi enerji hasadı verimi dikey olarak konumlandırılan piezoelektrik malzeme ile 30825 Reynolds sayısında ve piezoelektrik malzeme ile girdap üretici plaka arasındaki mesafenin 65 mm olduğu anda, 0.02 volt ve 4.82 J/kg Türbülans Kinetik Enerji değeri elde edilmiştir.

#### ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

#### YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

**Sedat YAYLA:** İş bölümünde, iş akışının denetiminde ve yayının hazırlanmasında görev almıştır.

**Sümeyya AYÇA:** Deneylerin gerçekleştirilmesi, ilgili sonuçların analiz edilmesinde ve makale yazımında görev almıştır.

**Mehmet ORUÇ:** Sayısal verilerin elde edilmesinde ve makale yazımında görev almıştır.

#### ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Khojasteh D., Kamali R., Beyene A., Iglesias, G., "Assessment of renewable energy resources in Iran; with a focus on wave and tidal energy", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81: 2992–3005, (2018).
- [2] Koçer A. ve Öztürk M., "Elektrik ve hidrojen üretimi için entegre sisteminin termodinamik analizi", *Mühendis ve Makine*, 57: 25-44, (2016).
- [3] Koç M., "Yenilenebilir enerji kaynaklarının Türkiye'de yaz ve kış klimasında uygulama alanlarının belirlenmesi", *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, (2002).
- [4] Talaat M., Farahat M. A. ve Elkholy M. H., "Renewable power integration: Experimental and simulation study to investigate the ability of integrating wave, solar and wind energies", *Energy*, 170: 668-682, (2018).
- [5] Yurchenko D. ve Alevras P., "Parametric pendulum based wave energy converter", *Mechanical Systems and Signal Processing*, 99: 504-515, (2018).
- [6] Huang J. ve Yu H., "Dynamic electromechanical response of piezoelectric plates as sensors or actuators", *Materials Letters*, 46: 70-80, (2000).
- [7] Cheng Y., Wu N. ve Wang Q., "An efficient piezoelectric energy harvester with frequency self-tuning", *Journal of Sound and Vibration*, 396: 69-82, (2017).
- [8] Jabbar H., Jung H., Chen N., Cho D., Sung T., "Piezoelectric energy harvester impedance matching using piezoelectric transformer", *Sensors and Actuators A: Physical*, 264:141-150, (2017).
- [9] Zhang Z., Xiang H., Shi Z., Zhan J., "Experimental investigation on piezoelectric energy harvesting from vehicle/bridge coupling vibration", *Energy Conversion and Management*, 163: 169-179, (2018).
- [10] Mutsudaa H., Tanakaa Y., Patel R., Doi Y., "Harvesting flow-induced vibration using a highly flexible piezoelectric energy device", *Applied Ocean Research*, 68: 39-52, (2017).
- [11] Chen X., Yang T., Wang W., Yao X., "Vibration energy harvesting with a clamped piezoelectric circular diaphragm", *Ceramics International*, 38: 271-274, (2012).
- [12] Fiebig M., "Embedded vortices in internal flow: heat transfer and pressure loss enhancement", *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 16: 376-388, (1995).
- [13] Xu W., Luan Y., Han Q., Ji C., Cheng A., "The effect of yaw angle on VIV suppression for an inclined flexible cylinder fitted with helical strakes", *Applied Ocean Research*, 67: 263-276, (2017).
- [14] Rostami A. ve Armandei M., "Renewable energy harvesting by vortex-induced motions: Review and benchmarking of Technologies", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70: 193-214, (2017).
- [15] Song, R., Shann X., Lv F., Xie T., "A study of vortex-induced energy harvesting from water using PZT piezoelectric cantilever with cylindrical extension", *Ceramics International*, 41: 768-773, (2015).
- [16] Hu Y., Yang B., Chen X., Wang X., Liu J., "Modeling and experimental study of a piezoelectric energy harvester from vortex shedding-induced vibration", *Energy Conversion and Management*, 162: 145-158, (2018).