

## Water Pump Harnessed by Vortex-Induced Vibrations: Potential and Performance Evaluation in Turkish Rivers

### Girdap Kaynaklı Titreşimlerle Tahrik Olan Su Pompası: Türkiye Akarsularında Potansiyel ve Performans Değerlendirmesi

Türk Denizcilik ve Deniz Bilimleri Dergisi

Cilt: 10 Sayı: 3 (2024) 180-193

Aytekin DURANAY<sup>1,\*</sup> 

<sup>1</sup> İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, İzmir

#### ABSTRACT

In addition to scientific papers discussing the known destructive characteristics of Vortex-Induced Vibrations (VIV), the number of studies demonstrating different ways to harness the phenomenon has increased in recent years. Various research endeavors leveraging the physics of VIV, such as electricity generation, mechanical energy production, and the development of residential water meters, highlight the significance of this subject. In alignment with these studies, this paper first provides a physical explanation of VIV on circular cylinders. Subsequently, it discusses a recently patented device designed to harness VIV for water pumping, along with presenting a mathematical model applicable to its calculations. Furthermore, the characteristics of three different rivers from different geographical regions of Turkey - Kızılırmak, Büyük Menderes, and Meriç Rivers - are analyzed at specific coordinates. Preliminary calculations are conducted for three distinct setups of VIV-driven water pumps tailored for each of these rivers, evaluating their pumping capacity, maximum pumping heights, and corresponding flow rates. Thus, unveiling the potential contribution to agricultural irrigation and afforestation efforts.

**Keywords:** Vortex-Induced Vibrations, water pump, agricultural irrigation, afforestation.

#### Article Info

Received: 25 April 2024

Revised: 07 June 2024

Accepted: 10 June 2024

\* (corresponding author)

E-mail: [aytekin.duranay@ikcu.edu.tr](mailto:aytekin.duranay@ikcu.edu.tr)

**To cite this article:** Duranay, A. (2024). Water Pump Harnessed by Vortex-Induced Vibrations: Potential and Performance Evaluation in Turkish Rivers. *Turkish Journal of Maritime and Marine Sciences*, 10(3): 180-193. doi: 10.52998/trjmms.1473474.

## ÖZET

Girdap Kaynaklı Titreşimler (GKT) konusunun bilinen yıkıcı – tahrip edici özelliklerinin tartışıldığı bilimsel yayınlara ek olarak, son yıllarda ortaya konan ve fenomenen farklı şekillerde yararlanılabildiğini gösteren çalışmaların sayısı artmaktadır. Olayın fiziğinden yararlanarak elektrik üretimi, mekanik enerji üretimi ve mesken tipi su sayacı geliştirilmesi gibi farklı çalışmalar konunun önemini artırmaktadır. Çalışmada öncelikle dairesel silindirler etrafında meydana gelen GKT olayının fiziksel izahatı yapılmıştır. Daha sonra GKT ile tahrik edilerek kendi kendine su pompalaması planlanan ve son yıllarda patentlenmiş bir düzenek fikri tartışılmıştır. Bu su pompasının hesaplamalarında kullanılabilecek matematiksel bir model sunulmuştur. Ardından Türkiye'nin üç farklı coğrafi bölgesinde yer alan Kızılırmak, Büyük Menderes ve Meriç Nehirleri için belirli koordinatlardaki akarsu karakteristikleri çıkarılmıştır. Özellikleri belirlenen akarsuların her birinde kullanılması planlanan GKT tahrikli su pompaları için üç farklı düzeneğin ön hesabı yapılmıştır. Ön hesaplamalar ile temel özellikleri belirlenen düzeneklerin bu üç akarsuda pompalayabileceği su miktarı depolanacak yükseklikler ve karşılık gelen debiler cinsinden ortaya konmuştur. Böylece tarımsal sulama ve ormanlaştırma çalışmalarına ne kadar katkı sağlayacağına dair potansiyel ortaya çıkarılmıştır.

**Anahtar sözcükler:** Girdap kaynaklı titreşimler, su pompası, tarımsal sulama, ormanlaştırma.

## 1. GİRİŞ

Antik Yunanlılardan beri kullanılagelen Aeolian Arpı, insanlığın Girdap Kaynaklı Titreşimler (GKT) olayından yararlanmayı başladığı ilk icattı. Rüzgâr akışı ile farklı tonlarda müzik üretmesi için pratikte binlerce yıl kullanılmasına rağmen, fiziksel izahatını ancak 16. yüzyılda Leonardo da Vinci irdelemiştir. Rüzgâr alan sahil bölgelerine yerleştirilen ve bu rüzgâr akışının, akışa dik yönde ürettiği girdapların kopması ile tellerinin doğal frekanslarında titreşmesi, enstrümanın farklı notalarda ses çıkarmasına neden olmaktadır. GKT'nin faydalanılabilir bir fenomen olarak karşımıza tekrar çıkması, çok uzun bir aradan sonra, ancak 2005 yılında geliştirilen VIVACE (Vortex Induced Vibration for Aquatic Clean Energy) adlı bir icat sayesinde olmuştur (Bernitsas *vd.*, 2006).

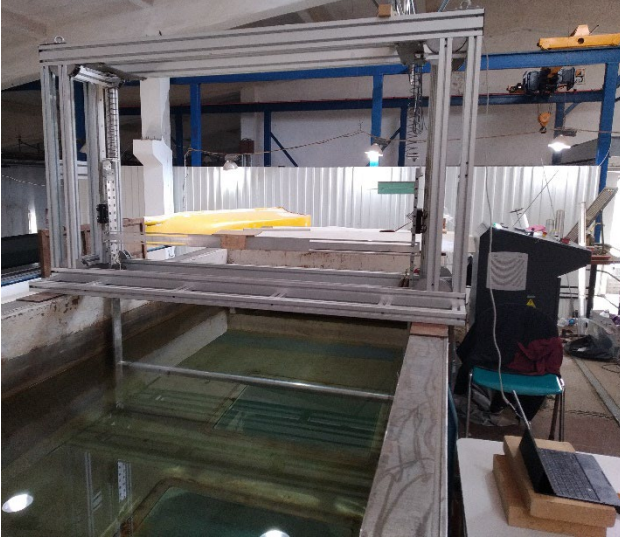
GKT olayı geçtiğimiz yüzyılda, 8 Kasım 1940 tarihinde ABD'nin Washington eyaletindeki Tacoma Narrows Bridge isimli asma köprüünün yapımından kısa bir süre sonra rüzgâr etkisiyle katastrofik biçimde yıkılması ile gündeme gelmiştir. Theodore von Kármán'ın akışa maruz kalan küt cisimler üzerinde Reynolds sayılarına bağlı oluşan sınır tabakalara izahat getirmesi (Dryden *vd.*, 1958), Feng (1968)'in rüzgâr akışına dik yöndeki dairesel silindir testleri sonrası bu köprü yıkımının GKT kaynaklı olduğu sonucuna varılmıştır.

Tacoma Narrows Bridge felaketi ve devamındaki araştırmalar sonucunda GKT olayı yıkıcı – tahrip edici özellikleri ile anılmaya başlanmıştır. Günümüzde, fenomenin bastırılması ya da tamamen engellenmesini hedefleyen birçok çalışma halen yayımlanmaktadır (Williamson ve Govardhan, 2004; Bearman, 2009; Du ve Sun, 2015; Bukka *vd.*, 2020; Lou *vd.*, 2020; Yexuan *vd.*, 2022; Wang *vd.*, 2022; Luo *vd.*, 2022).

Michigan Üniversitesi'nde geliştirilerek Bernitsas ve Raghavan (2005) tarafından patentlenen ve yavaş akışlarda dahi olaydan yararlanarak efektif biçimde elektrik üretimi gerçekleştirebilen VIVACE'nin (UM News Service, 2008) tanıtımının ardından (Bernitsas *vd.*, 2008) fenomene olan bakış açısı büyük oranda değişmiş; GKT üzerine son yıllarda yapılan yayınların dikkate değer bir oranı, yerini olayın fiziğinden farklı yollarla yararlanmayı öneren çalışmalara bırakmıştır (Lee ve Bernitsas, 2011; Lakka, 2013; Baredar ve Yadav, 2019; Kınacı ve Gökçe 2020; Hamdan *vd.*, 2021; Duranay *vd.*, 2022).

2010 yılında VIVACE'nin geleneksel dairesel silindir – yay – kol düzeneğinden farklı olarak Akaydın *vd.* (2010) tarafından tasarlanarak (elastik yaylar yerine) akışa paralel yerleştirilen ve içinde piezoelektrik malzeme bulunduran bir elastik levha ile sabitlenen dairesel silindirin GKT'sinden elektrik üretilmiştir. Bir diğer

GKT'den elektrik enerjisi üreten çalışmada Dai vd. (2016), dört farklı GKT düzeneğinde Akaydın vd. (2010)'a benzer biçimde piezoelektrik malzeme kullanmıştır. GKT'den elektrik üreten çalışmalar dışında, olayın fiziğini kullanarak mesken tipi su kullanım debisini daha efektif biçimde hesaplamaya yarayan bir su sayacı, 2013 yılında Sami Lakka tarafından icat edilmiştir (Lakka, 2013). 2020 yılında ise GKT sayesinde akıştan elde edilen enerjiyi üreteçler ile elektrik enerjisine çevirmek yerine doğrudan su pompalamak için kullanma fikri Kınacı ve Gökçe (2020) tarafından patentlenmiştir. Patentlenen bu icadın prototip çalışmaları İTÜ Akışkan Kaynaklı Hareketler Laboratuvarı (ITU FIMLab) sirkülasyon kanalında yer alan ve 2022 yılında yenilenen GKT düzeneği kullanılarak tarafımızca yürütülmektedir (Şekil 1).



**Şekil 1.** İTÜ Akışkan Kaynaklı Hareketler Laboratuvarı (ITU FIMLab) sirkülasyon kanalında yer alan sakin su içindeki dairesel silindiri ile GKT düzeneği

Çalışmalarda, sirkülasyon kanalının test kesiti ve akış özelliklerine bağlı olarak ana boyutları belirlenen dairesel silindirlere kullanılmaktadır. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) kullanarak geliştirdiğimiz simülasyonların da katkısı ile ülkemiz akarsularının karakteristikleri üzerinden yapılacak bir ön çalışma, ileride kurulması planlanan dairesel silindirlerin GKT performansı ve pompalayacağı su miktarı potansiyeli araştırmaları, kurmayı planladığımız GKT su pompalarının önemini ve gerekliliğini

ortaya çıkaracaktır. Bu amaçla hazırlanan makalemizde:

- Girdap kaynaklı titreşimler konusunda Türkçe kaynak sayısının oldukça sınırlı olması ve artırılması gerekliliği,
- Son yıllarda gerek fenomenin mühendislik yapıları üzerindeki yıkıcı etkilerini azaltmaya yönelik gerekse olayın fiziğinden faydalanmayı amaçlayan GKT çalışmalarının ülkemizde yeterince bilinmemesi,
- GKT'den enerji üretiminin Türkiye akarsu ve nehirleri için mümkün olup olmadığının daha önce tartışılmamış olması,
- Tarımsal sulama ve ormanlaştırma projelerine farklı bir perspektif kazandırma,
- Farklı disiplinlerden paydaşların dikkatini bu konuya çekme ve de potansiyel projelerimize katkı sağlamaya teşvik etme gibi hususlar motivasyonumuz olmuştur.

Takip eden alt başlıklarda sırasıyla GKT olayının fiziksel ve matematiksel izahatı yapılmış, Türkiye akarsu ve nehirlerinden rastgele farklı coğrafi bölgelerden seçilen örneklerin karakteristikleri irdelenmiş, bu akarsu ve nehirlerde GKT'den yararlanarak pompalanacak suyun ön hesaplamaları sunulmuştur. Son kısımda ise sonuçlar tartışılmış ve çalışmanın çıkarımlarına yer verilmiştir.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. GKT'nin Fiziksel İzahatı

Akışa maruz kalan küt gövdeli cisimler etrafında belirli Reynolds sayıları ( $Re$ ) ve üzerinde girdaplar kopmaya başlar. Cisim, akışa dik doğrultuda simetrik olması durumunda stagnasyon noktasından ikiye ayrılan benzeş sınır tabakalardaki akış hızı, basınç gradyanı, türbülanslılık gibi akış karakteristikleri de (genellikle) simetriktir. Bu durumda (yer çekimi doğrultusunda) cismin altında ve üstünde oluşan girdaplar birbirini takip ederek periyodik şekilde kopar ve cismin üzerinde harmonik kuvvetler oluşturur. Zdravkovich (2003) ve Sümer ve Fredsøe (2006), akış içindeki hareketsiz dairesel bir silindirin Reynolds sayılarına bağlı olarak

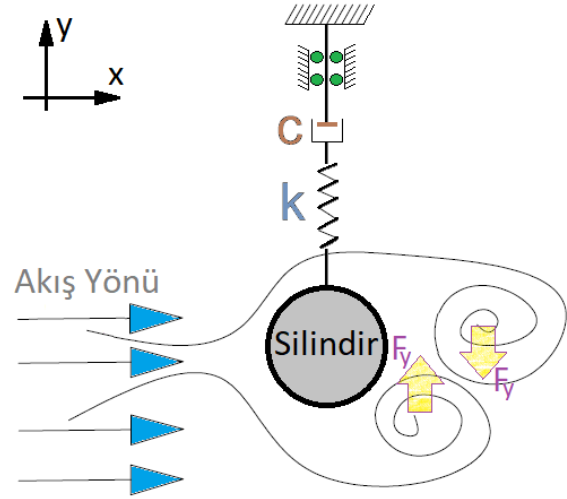
değişen sınır tabakaları ve iz bölgesindeki girdap yapıları arasındaki ilişkiyi ayrıntılı olarak açıklamışlardır.

**Tablo 1.** Sabit dairesel silindir etrafında Reynolds sayısına bağlı değişen akış özellikleri (Sümer ve Fredsøe, 2006)

Reynolds Sayısı	Özelliği
Laminer Bölge	
$Re < 5$	Ayrışma olmayan akış
$5 < Re < 40$	Sabit simetrik girdaplar
$40 < Re < 200$	Laminer girdap yolu
Kritik-altı Bölge	
$200 < Re < 300$	İz bölgesinde türbülansa geçiş
$300 < Re < 3 \times 10^5$	Laminer sınır tabaka
	Türbülanslı iz bölgesi
Kritik Bölge	
$3 \times 10^5 < Re < 3.5 \times 10^5$	Laminer sınır tabakaları, kısmen türbülanslı sınır tabaka ayrışması
Kritik-üstü Bölge	
$3.5 \times 10^5 < Re < 1.5 \times 10^6$	Kısmen türbülanslı sınır tabaka, tamamen türbülanslı sınır tabaka ayrışması
Üst Geçiş Bölgesi	
$1.5 \times 10^6 < Re < 4 \times 10^6$	Sınır tabaka tek tarafta tamamen türbülanslı
Trans-kritik Bölge	
$Re > 4 \times 10^6$	Sınır tabaka her iki tarafta da tamamen türbülanslı

Akışla kendi kendini tahrik eden su pompası, VIVACE gibi GKT'den yararlanmak istenen çalışmalarda, akışkandan cisme daha fazla enerji transferi için girdap kopmalarının sürekli tekrarlayan (repetitive) ve güçlü olmaları istenir. Bu amaçla, kritik altı bölgede yer alan TrSL2 ve TrSL3 (Transition Shear Layer: Geçiş Kayma Tabakası 2 ve 3) akış rejimlerindeki Reynolds aralığı oldukça elverişlidir (Govardhan ve Williamson, 2000; Ji vd., 2018; Duranay, 2024). Bu akış rejimleri, ayrıca, birçok açık deniz yapıları ve ekipmanının doğal olarak maruz kaldığı Reynolds sayılarını da içinde barındırmaktadır (Rahman, 2015).

Şekil 2'de birbirini tekrar eden girdap kopmaları için yeterli seviyedeki Reynolds sayılarındaki akışa maruz kalmış dairesel bir silindirin, akışa dik yönde tek serbestlik dereceli titreşim hareketine izin verildiğindeki hareket bileşenleri verilmiştir.



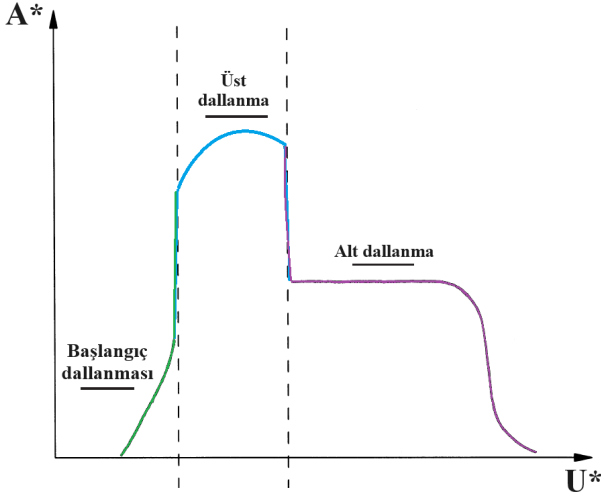
**Şekil 2.**  $x^+$  yönünde akışa maruz kalan,  $y$  ekseninde hareketine elastik yay ile izin verilen dairesel silindir üzerinde kopan girdaplar sonucunda oluşan  $F_y$  kuvvetleri ve doğrultusu

Şekil 2'de verilen dairesel silindirin GKT hareketi, zorlanmış titreşim hareket denklemi ile temsil edilebilmektedir:

$$m_{osc}\ddot{y} + c_{tot}\dot{y} + ky = F_y(t) \quad (1)$$

Burada  $m_{osc}$ , hareket eden bütün parçaların (dairese silindir ve bağlantı kolları) ve elastik yayların 1/3 oranındaki ağırlığın toplamıdır. Sistemin toplam sönüm katsayısı  $c_{tot}$ , yayların toplam sabiti  $k$  ve  $y$  ekseninde etkiyen zamana bağlı hidrodinamik kuvvetlerin toplamı  $F_y(t)$  ile gösterilmiştir. Girdapların cisim üzerinden koparken oluşturduğu harmonik kuvvetlerin frekansı, girdap kopma frekansı ile aynı olduğu kabul edilmiştir. Bu frekans, silindir sisteminin doğal frekansına eşit ya da yakın değerlerde olduğunda titreşim genlikleri muazzam şekilde artarak genellikle gözle görünür hâle gelmektedir. Bu durumda *senkronizasyon bölgesi* ve *kenetlenme (lock-in)* gibi GKT'ye özgü terimlerden bahsetmek gereklidir. Senkronizasyon bölgesi, adından da anlaşılacağı üzere, girdapların ve cisim hareketinin senkronize biçimde oluşması, diğer bir deyişle girdap kopması ile silindir titreşim hareketi arasındaki faz farkının ( $\Phi$ ) minimum olduğu bölgedir. Burada üç farklı dallanmadan söz

edilebilir: başlangıç dallanması, üst dallanma ve alt dallanma (Şekil 3). Üst dallanma içinde yer alan kenetlenme olayı ise silindir sisteminin doğal frekansı ile girdap kaynaklı açığa çıkan kuvvetlerin oluşum frekansının çakışması durumudur. Kenetlenme olayı literatürde genellikle senkronizasyon bölgesi ile ya da üst dallanma aralığı terimleri karıştırılır.



**Şekil 3.** Su içindeki dairesel silindirin GKT hareketinin boyutsuz hıza ( $U^*$ ) göre değişimi

Akışkanın silindir ile ilişki içinde olduğu projeksiyon alanından (Silindir Çapı ( $D$ )  $\times$  Silindir Boyu ( $L$ )) hareketli silindire transfer olacak enerjinin büyüklüğünün, salınım genliği ve frekansı ile doğru orantılı olacağını tahmin etmek zor değildir. Bu durumda GKT olayının yıkıcı etkilerini azaltmak ya da tamamen ortadan kaldırmak istenen çalışmalarda, inşası yapılacak mühendislik yapısının dizaynında, kenetlenme frekansından ve hatta mümkünse senkronizasyon aralığına denk gelecek koşullardan olabildiğince uzak durmak gerekmektedir. Öte yandan, GKT olayından yararlanmak isteyen araştırmalarda senkronizasyon bölgesi içindeki kenetlenme koşulunu yakalamak hedeflenmelidir. Buna ek olarak Modir ve Goudarzi (2019) örneğinde olduğu gibi senkronizasyon bölgesini genişletmek, fenomenden daha farklı akış koşullarında da faydalanmayı mümkün hale getirmektedir.

Hareketin senkronizasyon aralığı GKT'nin boyutlu ve boyutsuz parametrelerine bağlıdır. Bunlardan ilki ve en önemlisi hiç şüphesiz

Reynolds sayısıdır ( $Re$ ). Çalışmanın sonraki kısımlarında fenomenin ve su pompasının matematiksel olarak izahatı birlikte yapılacak ve bu parametrelerin Türkiye akarsu ve nehirlerinde GKT potansiyeli açısından değerlendirmesi bu parametrelere bağlı olarak çıkarılacaktır. Silindir sisteminin su içindeki doğal frekansı ( $f_{n,w}$ ), boyutlu ve boyutsuz (indirgenmiş) akış hızları (sırasıyla  $U$  ve  $U^*$ ), boyutlu ve boyutsuz (indirgenmiş) titreşim frekansı (sırasıyla  $f_{silindir}$  ve  $f^*$ ), su içindeki sönüm katsayısı ( $\zeta_{n,w}$ ), hareketli parçaların toplam ağırlığı ( $m_{osc}$ ), silindirin bağlı olduğu yayların toplam sabiti (rijitlik katsayısı) ( $k$ ), ek su kütlesi ( $m_a$ ), yatay (genişlik) ve dikey (derinlik) blokaj oranları ( $BO$ ) ve serbest su yüzeyinden uzaklığın silindir çapına oranı ( $h^* = h/D$ ) gibi parametreler, dairesel bir silindirin genel GKT performansında ve hareketin, senkronizasyon bölgesinin neresinde oluşacağını belirlemede oldukça önemli yer tutar.

## 2.2 GKT ve Su Pompasının Matematiksel İzahatı

Tek serbestlik dereceli hareketine  $y$  ekseninde izin verilen, aynı ekseninde girdap kaynaklı ve zamana bağlı yön değiştirerek etkiyen  $F_y(t)$  kuvvetinin etkisinde, hareketli parçaların toplam ağırlığı  $m_{osc}$ , toplam sönüm katsayısı  $c_{tot}$  ve bağlı olduğu elastik yayların rijitlik katsayısı  $k$  olan dairesel bir silindire ait hareket, Denklem 1 ile önceki kısımda verilmiştir.

Girdap kaynaklı titreşimler üzerine geliştirilen matematik modellerinde, viskoz olmayan kuvvetlerin hareket denkleminin sol tarafında ek su kütlesi ( $m_a$ ) olarak yer alıp almaması gerektiği hala tartışma konusudur. Bu çalışma kapsamında sürdürülen tartışmalara müdahil olunmamıştır. Onun yerine, dairesel silindirlerin GKT hareketine izahat için geliştirdikleri matematiksel yöntemdeki verim ve güç oranı gibi değerleri deneysel olarak da (belli ampirik formüllerle düzeltilerek) ortaya koyan MRELab (The Marine Renewable Energy Laboratory, Michigan Üniversitesi) ekibinin geçmiş çalışmalarından yararlanılmıştır. Çalışmada, benzer bir matematiksel yöntem GKT su

pompasına uyarlanarak sonuca gidilmiştir. Böylece HAD ve deneysel çalışmaların test ve hesaplama maliyetlerine girmeden (sadece bazı katsayıların elde edilmesi için bu yöntemler kullanılması gerekmiştir), Türkiye akarsularının Devlet Su İşleri (DSİ) verilerine göre yıllık akış rejimleri üzerinden enerji üretimi ve su pompalama potansiyeli değerlendirilebilecektir. GKT fenomeninden yararlanarak elektrik enerjisi üreten öncü çalışmalardan VIVACE isimli dönüştürücünün hareket denkleminde Bernitsas vd. (2008) ek su kütlelerini “cismin hızındaki bir artış sırasında akışkana verilen tepkiyi, o artış hızına bölen bir kavram” olarak açıklar ve denkleminde tıpkı potansiyel teoride olduğu gibi tanımlar. Böylece Denklem 2 elde edilmiş olur:

$$m_{osc}\ddot{y} + c_{tot}\dot{y} + ky = F_{y,vor} + F_{y,pot} \quad (2)$$

Dairesel silindir tarafından taşırılan suyun kütlesi  $m_d$ , ek su kütlesi  $m_a$  ve sakin sudaki ek su kütlesi katsayısı  $c_a$  olmak üzere,  $m_a = c_a m_d$  ve potansiyel kuvvet ifadesi daha açık olarak  $F_{y,pot} = -c_a m_d \ddot{y} = m_a \ddot{y}$  şeklinde gösterilerek Denklem 3’e ulaşılmış olacaktır:

$$(m_{osc} + m_a)\ddot{y} + c_{tot}\dot{y} + ky = F_{y,vor} \quad (3)$$

Denklemin sağ tarafındaki girdap kopmaları kaynaklı kuvvetin ifadesi Denklem 4’te verilmiştir:

$$F_{y,vor} = \frac{1}{2} c_y(t) \rho D U^2 L \quad (4)$$

Burada dairesel silindir tarafından taşırılan suyun ağırlığı  $m_d = (\pi/4) \rho D^2 L$  alınarak denklemin sağ tarafında ifade edilirse hareket denkleminin Denklem 5 hâlini alacaktır:

$$(m_{osc} + m_a)\ddot{y} + c_{tot}\dot{y} + ky = \frac{2}{\pi D} c_y(t) m_d U^2 \quad (5)$$

Salınım hareketinin sinüzoidal olduğu düşünülürse:

$$y = y_{max} \sin(2\pi f_{girdap} t) \quad (6)$$

Yer değiştiriminin ( $y$ ) silindir çapına ( $D$ ) bölünerek boyutsuzlaştırılması durumunda:

$$\frac{y}{D} = y^* = y_{max}^* \sin(2\pi f_{girdap} t) \quad (7)$$

Burada  $f_{girdap}$  girdap kopma frekansıdır. Yer değiştiriminin zamana göre türevi ise Denklem 8’de gösterildiği gibi hızı verecektir:

$$\dot{y} = y_{max} 2\pi f_{girdap} \cos(2\pi f_{girdap} t) \quad (8)$$

Silindire etkiyen kaldırma kuvvet katsayısı  $C_y$  olmak üzere ve silindirin salınım hareketi ile girdap kopmaları arasındaki faz farkı  $\Phi$  ile gösterildiğinde zamana bağlı kaldırma kuvveti katsayısı Denklem 9 ile ifade edilir:

$$c_y(t) = C_y \sin(2\pi f_{girdap} t + \Phi) \quad (9)$$

Dairesel silindire akışa dik doğrultudaki hız kazandıran viskoz kuvvetlerin her bir çevrim süresince ( $T_{silindir}$ ) yaptırdığı işi ( $W$ ) Denklem 10 ile ifade edebiliriz:

$$W_{pompa} = \int_0^{T_{silindir}} F_{y,vor} \dot{y} dt \quad (10)$$

Böylece bir çevrimde ortaya çıkan güç de aşağıdaki gibi ifade edilmiş olur:

$$P_{pompa} = \frac{W_{pompa}}{T_{silindir}} \quad (11)$$

Yukarıdaki ifadelerde yer alan yer değiştirme ( $y$ ) (Denklem 6) ve su pompasının dairesel silindirini tahrik eden kuvvetlerin ( $F_{y,vor}$ ) (Denklem 4) salınım hareketi sırasında değişkenlik gösteren anlık hızlar ile  $T_{silindir}$  boyunca hesaplanarak ortalamalarının alınması su pompasının gücünü verecektir:

$$P_{pompa} = \frac{1}{T_{silindir}} \int_0^{T_{silindir}} \frac{2}{\pi D} c_y(t) m_d U^2 2\pi y_{max} f_{girdap} \cos(2\pi f_{girdap} t) dt \quad (12)$$

Senkronizasyon bölgesinde  $f_{girdap} = f_{silindir} = 1/T_{silindir}$  olduğu bilgisine ilaveten Denklem 8, Denklem 9 ve Denklem 12'nin uyarlanması ile Denklem 13 elde edilmektedir:

$$P_{pompa} = f_{silindir} \int_0^{1/f_{silindir}} \frac{2}{\pi D} C_y \sin(2\pi f_{silindir} t + \Phi) m_d U^2 2\pi y_{max} f_{silindir} \cos(2\pi f_{silindir} t) dt \quad (13)$$

İntegral işlemi belirlenen aralıkta hesaplandığı ve  $m_d = (\pi/4)\rho D^2 L$  alındığı zaman GKT ile tahrik edilen su pompasının girdap kaynaklı kuvvetler neticesinde ulaşacağı güç elektrik üretiminde kullanılan VIVACE'ninkine (Bernitsas vd., 2008) benzer olarak Denklem 14 ile ifade edilebilecektir:

$$P_{pompa} = \frac{1}{2} \pi C_y y_{max} f_{silindir} \rho D U^2 L \sin(\Phi) \quad (14)$$

Suyun akış yönünde silindirin çapı ve boyunun çarpımı ile elde edilen projeksiyon alanına ( $A_{projeksiyon} = DL$ ) etkiyen aynı yöndeki kuvvetlerin Bernoulli'ye göre oluşturacağı kinetik basınçtan çıkarılacak güç ifadesi Denklem 15'da sunulmuştur:

$$P_{akışın oluşturduğu güç} = \frac{1}{2} \rho D U^3 L \quad (15)$$

Böylece GKT ile tahrik edilecek su pompasının teorik olarak ulaşabileceği en yüksek verim Denklem 16 ile ifade edilebilir:

$$\mu_{max} = \frac{P_{pompa}}{P_{akışın oluşturduğu güç}} = \frac{\frac{1}{2} \pi C_y y_{max} f_{silindir} \rho D U^2 L \sin(\Phi)}{\frac{1}{2} \rho D U^3 L} \quad (16)$$

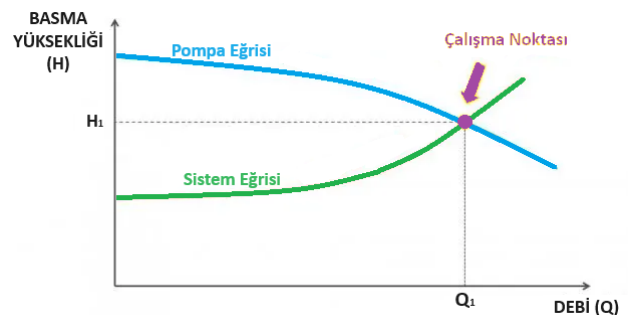
Bu oran, üst dallanma bölgesinde ve TrSL3 akış rejiminde serbest çalışan bir GKT düzeneği üzerinde yapılan deneysel hesaplamalarda VIVACE için  $\mu_{max} = 0.37$  olarak bulunmuştur. Bernitsas vd. (2008)'in çalışmasında elektrik üretimi için GKT sistemlerinde yer alan ve GKT düzeneğinin kendi mekanik sönümünden ( $\zeta_{mekanik}$ ) hariç, üreteç ( $\zeta_{üreteç}$ ) ve dönüştürücülerden ( $\zeta_{dönüştürücüler}$ ) kaynaklanan

sönüm katsayıları, hareket denkleminin sol tarafında yer alan  $c_{tot}$  ifadesindeki yerini almıştır ( $\zeta_{toplam} = \zeta_{mekanik} + \zeta_{dönüştürücüler} + \zeta_{üreteç}$ ). Bir başka deyişle, elektrik üretilirken elde edilen deneysel verilerde aynı akış koşullarındaki verim  $\mu_{VIVACE} = 0.22$  olarak bulunmuştur.

Bu çalışmada ise VIVACE'den farklı olarak, elektrik üretimi yerine GKT ile kendi kendini tahrik eden bir su pompasına ait ön hesaplamalar yapılacaktır. Sönüm etkisi oluşturacak bileşenler aynı matematiksel model ile tanımlanabilse dahi su pompasının ve elektrik üreticinin aynı verimde çalışması elbette beklenemez. Ancak aynı matematiksel model üzerinden hesaplanan teorik ve de deneysel sonuçlarda ortaya çıkan verim oranları kullanılarak su pompasının ne kadar su pompalayacağı hakkında öngörü sahibi olabiliriz. Kısaca, sonraki bölümlerde DSİ verilerine göre karakteristik özelliği incelenen akarsu ve nehirlerimizdeki GKT tahrikli su pompalama verimi  $\mu_{pompa} = 0.22$  olarak alınmıştır.

Aşağıda bir su pompasının gücü ( $P_{pompa}$ ), debi ( $Q$ ), basma yüksekliği ( $H$ ), pompalanan akışkanın yoğunluğu ( $\rho$ ) ve yer çekimi ( $g$ ) cinsinden ifade edilmiştir. Hesaplamalarda, GKT düzeneğinin içinde bulunduğu akışkan ile pompalanan akışkanın aynı olduğu ve dolayısı ile  $\rho$  değerlerinin değişmediği unutulmamalıdır.

$$P_{pompa} = \frac{Q \times H \times \rho \times g}{\mu} \text{ (Watt)} \quad (17)$$



**Şekil 4.** Debi ve basma yüksekliğine göre genel performansı değişen bir pompanın çalışma noktası

Çalışmada GKT pompasının genel performansı bulunacak olup basma yüksekliği  $H$  (m) ve debi değerleri  $Q$  ( $m^3/s$ ) çarpımı şeklinde  $Q \times H$  ( $m^4/s$ ) olarak ifade edilecektir. Basma yüksekliğinden kaynaklanacak sürtünme kayıpları (kayıplar verimin içinde kabul edilerek) ve optimum çalışma noktası tespiti sonraki çalışmaların konusu olacaktır.

### 3. BULGULAR

#### 3.1 Türkiye Akarsularından Örnekler

Çalışmada Türkiye'nin üç farklı coğrafi bölgesinden rastgele seçilen akarsuların karakteristikleri DSİ'nin 2014-2015 yıllarına ait akım gözlem yıllığındaki verilerinden alınmıştır (DSİ, 2018). Burada amaçlanan, farklı debilerde ve karakteristiklerdeki akarsu ve nehirlerde GKT kullanılarak su pompalayan bir düzeneğin kurulması halinde bölgesel tarım ya da ormanlaştırmaya ne kadar katkı sağlanacağını araştırılmasıdır. İlk olarak içinde Kızılırmak gibi yüksek debili nehirleri barındırmasına rağmen genel olarak bozkır bitki örtüsüne sahip İç Anadolu Bölgesi'nde yer alan Kayseri'nin Kocasinan İlçesi, Yamula bölgesi irdelenmiştir. Ardından tarımda önemli yer tutan Ege Bölgesi'nin Aydın ilinde yer alan Büyük Menderes Havzası'nda DSİ tarafından ölçüm değerleri paylaşılan bir noktada ve son olarak Trakya Bölgesi'nde Meriç-Ergene Havzası için hesaplamalar yapılmıştır.

Her bir akarsu örneğinde kullanılmak üzere üç farklı GKT silindir geometrisi ve düzenek özellikleri paylaşılmıştır. Böylece mevsimsel

şartlara göre değişen debilerde GKT düzeneğinin efektif biçimde su pompalamaya devam etmesi öngörülmektedir.

Seçilen akarsuların, 2014 Ekim ayından 2015 Eylül ayına kadar olan debileri  $m^3/s$  cinsinden Tablo 3'te verilmiştir. GKT tahrikli su pompası potansiyeli hesaplamalarında 12 aylık ortalama debi değerleri alınacaktır. Bu debilerde istenen akış hızlarına göre GKT silindiri özellikleri ve akarsu en kesit alanları belirlenecektir. Bu sayede bir kesitte kaç adet GKT düzeneğinin aynı anda çalışarak su pompalayabileceği hesap edilecektir.

**Tablo 2.** Seçilen akarsular ve hesaplama konumları

Akarsu	Tam adı	Konumu
Kızılırmak	Kızılırmak Havzası E15A001	38°53'25.0"K
	Kızılırmak (Yamula, Kocasinan)	35°15'31.0"D
Büyük Menderes	Büyük Menderes Havzası E07A006	37°47'00.0"K
	Büyük Menderes (Aydın Köprüsü)	27°50'25.0"D
Meriç	Meriç-Ergene Havzası D01A003	41°38'50"K
	Meriç (Kirişhane)	26°34'20"D

Tablo 3'te görüldüğü üzere bahar aylarında yağışlarla birlikte ortalama debilerin artması beklenen bir sonuçtur. Bu sonuç, yıllık ortalama debiyi de artırmaktadır. Tarımda sulama ve ormanlaştırma gibi çevre mühendisliğini ilgilendiren konularının incelenmesi ve belki de her bir yeni koşula uygun olarak GKT su pompası düzeneğinin adaptasyonunun sağlanması gerektiği unutulmamalıdır.

**Tablo 3.** Seçilen akarsuların aylık ortalama debileri ( $Q$ )

Akarsu	Debi $Q$ ( $m^3/s$ ) – 01 Ekim 2014 'den 30 Eylül 2015' a kadar aylık ortalama											
	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Tem	Ağu	Eylül
Kızılırmak	37.2	34.4	32.0	39.4	33.2	32.1	32.9	37.5	39.1	40.6	46.5	43.2
B.Menderes	18.1	23.4	35.4	114.0	143.0	126.0	131.0	42.7	40.3	23.1	37.6	42.3
Meriç	425.0	568.0	1015.0	497.0	900.0	1081.0	734.0	290.0	207.0	192.0	146.0	172.0



**Tablo 4.** 12 aylık ortalama debi ( $Q$ ), kesit alanı ( $A$ ) ve hızlar ( $U$ )

Akarsu	12 Aylık Ortalama Debi ( $Q$ ) (m <sup>3</sup> /s)	Hızlara Karşılık Gelen Kesit Alanı ( $A$ ) (m <sup>2</sup> )		
Hızlar $U$ (m/s)		0.70	0.83	0.91
Kızılırmak	37.34	53.35	44.88	41.03
B.Menderes	64.74	92.49	77.81	71.14
Meriç	518.92	741.31	623.70	570.24

### 3.2 Akarsuların GKT tahrikli Su Pompası Potansiyelinin Hesaplanması

Bu bölümde, önceki kısımlarda fiziksel ve matematiksel izahatı yapılan ve GKT ile tahrik olan söz konusu su pompasının, bir önceki alt başlıkta verilen Türkiye akarsuları örnekleri üzerinden verilen yıllık akış debilerine göre performansı irdelenecektir.

Hesaplamalarda DSİ'nin akım gözlem yıllığı (DSİ, 2018)'den yararlanılmış olup ilgili koordinatlarda akarsu genişliği, derinliği, anlık ve ortalama akış hızları verilerine ulaşılamamıştır. Bu nedenle öncelikle GKT özellikleri önceki çalışmalarımızda sunulan (Duranay ve Kınacı, 2020; Duranay vd., 2021; Duranay vd., 2022) dairesel silindirlerin indirgenmiş hızları  $U^*=6$  olduğu ve şiddetli girdaplar eşliğinde senkronize GKT hareketinin gözlemlendiği koşullara karşılık gelen boyutlu akış hızları ( $U$ ) bulunmuştur. Bu akış hızları üzerinden kesit alanları elde edilmiş ve bu kesit alanlarına yerleştirilebilecek dairesel silindir adetleri hesaplanmıştır. Dairesel silindirlerin konumlandırıldığı derinliğin  $h=7D$  olması durumunda (silindirin altından ve üstünden  $3D$  kadar boşluk bırakılması amacıyla) bir başka silindirin GKT hareketinden, serbest su yüzeyi etkisinden ve akarsu yatağından etkilenmediği, daha önceki çalışmalarımızda (Kınacı vd., 2022; Duranay vd., 2023) konu edilmiştir. Bu çalışmalara sadık kalarak, akarsuyun geçtiği kesit alanı ( $A$ ), dairesel silindirlerin serbest su yüzeyinden, tabandan ve bir diğer silindirden (şayet birden fazla sıra varsa) yeterince uzakta ( $3D$ ) kalacak şekilde hesaplanmıştır.

VIVACE örneğinde, kullanılan silindirlere ait çaplar büyüdükçe kritik ve kritik üstü

rejimlerdeki (sırasıyla  $Re \geq 3 \times 10^5$  ve  $Re \geq 3.5 \times 10^5$ ) hesaplamalar deneysel olarak yürütülmüştür. İTÜ Akışkan Kaynaklı Hareketler Laboratuvarı (ITU FIMLab) sirkülasyon kanalının test kesiti ( $0.64m \times 1.5m$ ) ve ulaştığı hızlar ( $2m/s$ ) göz önüne alındığında (Duranay, 2024) bu rejimlerde prototip denemesinin zorlukları karşımıza çıkacağından, çalışmadaki Reynolds sayılarının kritik altı rejimi aşmaması sağlanarak silindir çapı değerleri belirli seviyenin altında bırakılmıştır. Başka bir deyişle, halihazırdaki matematiksel izahatında dahi birçok doğrusal olmayan terimler barındıran dairesel silindirlerin GKT olayının, daha kaotik ortamlarda, yani kritik ve kritik üstü rejimlerde sergileyeceği davranışların getireceği hesaplama külfeti bu çalışmanın konusu dışında bırakılmıştır. Bu durum, yüksek debili Meriç Nehri (ve kısmen Büyük Menderes Nehri) koşulunda elde edilecek potansiyel hesabının aslında daha da artırılabilmesi anlamına gelmektedir. Unutulmamalıdır ki GKT'den enerji elde edilmesi, ölçeklenebilir bir fenomendir ve çok daha büyük ölçekli dairesel silindirler kullanılarak da enerji elde edilebilmektedir (Bernitsas vd., 2008). Örneğin, İstanbul Boğazı gibi olağan akışın  $2m/s$  ( $3-4knot$ ) hızlarda olduğu yüksek debili kanallarda GKT kullanılarak efektif olarak elektrik üretimi mümkündür. Bu konuda VIVACE'nin fikir sahibi M.M. Bernitsas "1 knotun yarısı kadar hızlarda Detroit nehrinden elektrik enerjisi üretebilmekteyiz" demektedir (UM News Service, 2008).

Tablo 5'te üç farklı silindir için  $U^*=6$  civarına denk gelen üst dallanma bölgesindeki farklı akış hızlarında ve ön hesaplamalarda kenetlenme noktasına yakın olarak ayarlanan silindir koşulları için çeşitli teknik özellikler paylaşılmıştır. Paylaşılan bu teknik özelliklere karşılık gelen bazı katsayı ve değerler deneysel ve sayısal yöntemler kullanılarak bulunmuştur. Kullanılan deneysel düzeneğin ve HAD destekli simülasyonların içeriği bu çalışmanın içine dahil edilemeyecek kadar uzun olduğu için burada paylaşılmamıştır. Benzer dairesel silindirlerin aynı akış rejimi içindeki GKT performanslarını deneysel ve sayısal olarak incelediğimiz bulgulara sırasıyla Duranay vd. (2022) ve Duranay (2024)'den erişilebilir.

**Tablo 5.** Üç farklı GKT su pompası düzeneği için teknik özellikler verilmiştir.

	Birim	Silindir 1	Silindir 2	Silindir 3
$L$	m	1	4	10
$D$	m	0.12	0.20	0.30
$m_{osc}$	kg	16.80	305.00	2250.00
$m^*$	-	1.49	2.43	3.19
$\kappa$	N/m	1036	8000	30000
$f_{n,w}$	1/s	0.967	0.686	0.507
$U^*$	-	6	6.06	5.98
$U$	m/s	0.7	0.83	0.91
$C_y$	-	2.13	1.98	1.91
$y_{max}$	m	1.14	1.17	1.16
$\sin(\Phi)$	-	0.1131	0.1131	0.1131
$f_{silindir}$	1/s	1.13	0.78	0.56
$\mu_{pompa}$	-	0.22	0.22	0.22

Tablo 5'te yer alan GKT tahrikli su pompasının teknik özelliklerinde yer alan koşullara karşılık gelen sonuçlar Denklem 14'te yerine konarak pompanın hidrolik gücü elde edilmiştir. Elde edilen pompa gücü Denklem 17'de yerine konarak ise basma yüksekliği ( $H$ ) x debi ( $Q$ ) değerleri elde edilmiş ve üç farklı silindirin su pompalama potansiyeli farklı basma yüksekliklerine göre Tablo 6'da topluca verilmiştir.

Tablo 6'da Türkiye akarsularının debileri ve bu debilere karşılık gelen kesit alanı ve hızlar üzerinden GKT'ye bağlı su pompalama performansları her koşulda tek bir silindir için hesaplanmıştır. Oysa verilen hızlara denk gelen kesit alanlarına sığdırılabilecek silindir sayısı (her bir silindirin çalışma kesiti en az  $7D \times L$  olmak üzere) çok daha fazladır. İstenen akarsu hızları için her bir akarsu debisine karşılık gelen kesit alanları Tablo 4'te, teknik özellikleri Tablo 5'te verilen dairesel silindirlerin test kesitine yerleştirilebilecek adetleri Tablo 7'te topluca

**Tablo 6.** GKT tahrikli su pompasının basma yüksekliğine ( $H$ ) göre değişen debisi ( $Q$ )

Silindir Numarası	Basma Yüksekliği ( $H$ ) (m)	Debi ( $Q$ ) (lt/s)	Debi ( $Q$ ) (lt/saat)
1		0.643	2313.140
2	1	3.966	14277.542
3		12.276	44192.140
1	10	0.064	231.314
2		0.397	1427.754
3		1.228	4419.214
1	50	0.013	46.263
2		0.079	285.551
3		0.246	883.843
1	100	0.006	23.131
2		0.040	142.775
3		0.123	441.921

**Tablo 7.** Akarsuların seçili koordinatlarında GKT pompası kurulum kapasitesi (adedi)

Akarsu	Silindir Numarası	Hız ( $U$ ) (m/s)	Kesit Alanı ( $m^2$ )	Silindir (Adet)
Kızılırmak	1	0.700	53.35	32
	2	0.832	44.88	8
	3	0.910	41.03	2
B.Menderes	1	0.700	92.49	55
	2	0.832	77.81	14
	3	0.910	71.14	3
Meriç	1	0.700	741.31	440
	2	0.832	623.70	111
	3	0.910	570.24	27

Tablo 7'deki akarsular için verilen akış hızları ve kesit alanlarına göre değişen kullanılabilecek dairesel silindir adedi ile Tablo 6'daki su pompalama performans değerleri çarpılırsa çalışmada hedeflenen nihai sonuçlar (her bir akarsu koordinatındaki GKT tahrikli su pompalama potansiyelleri) elde edilmiş olur (Tablo 8).

**Tablo 8.** Akarsuların belirlenen koordinatlarındaki GKT tahrikli toplam su pompalama debisi ( $Q$ )

Silindir Numarası	Akarsu	$H = 1\text{m}$ için $Q$ (m <sup>3</sup> /saat)	$H = 10\text{m}$ için $Q$ (m <sup>3</sup> /saat)	$H = 50\text{m}$ için $Q$ (m <sup>3</sup> /saat)	$H = 100\text{m}$ için $Q$ (m <sup>3</sup> /saat)
1	Kızılırmak	74.02	7.40	1.48	0.74
	B.Menderes	127.22	12.72	2.54	1.27
	Meriç	1017.78	101.78	20.36	10.18
2	Kızılırmak	114.22	11.42	2.28	1.14
	B.Menderes	199.89	19.99	4.00	2.00
	Meriç	1584.81	158.48	31.70	15.85
3	Kızılırmak	88.38	8.84	1.77	0.88
	B.Menderes	132.58	13.26	2.65	1.33
	Meriç	1193.19	119.32	23.86	11.93

#### 4. TARTIŞMA

Bölüm 3'te verilen hesaplamalarda üç farklı coğrafi bölgemizde yer alan akarsuların belirli koordinatlarındaki yıllık ortalama debi değerleri DSİ'den alınmıştır. Üç farklı GKT düzeneğinin senkronizasyon bölgesinde kenetlenme koşullarına yakın çalışabilmesi için indirgenmiş akış hızları  $U^* = 6$  olacak şekilde ayarlanmıştır. Her bir akarsuyun, bu akış hızlarına denk gelecek şekilde en kesit alanları belirlenmiştir. Bu koşullarda önce üç farklı GKT düzeneğinin yalnız başına performansı hesaplanmış ve ardından en kesit alanına yerleştirilebilecek silindir adedi ile çarpılarak toplam potansiyeli elde edilmiştir.

Bu hesaplamalara göre 1 numaralı en küçük GKT silindirinin tahrik ettiği su pompası tek başına kullanıldığında 100 metre yukarıda konumlandırılan bir depoya saatte 23 litre su pompalayabilmektedir. Akarsu akış hızının 0.7m/s olarak alındığı bu hesaplama göre aynı kesitte en az debili akarsu örneğimiz Kızılırmak için 32 adet GKT silindiri kullanılabilirliği göz önüne alınacak olursa bu değer saatte 740lt'ye kadar çıkmaktadır. Farklı debilere göre test kesitinin uyarlanması ile elde edilecek 0.832m/s ve 0.91m/s akış hızlarında, 2 ve 3 numaralı silindirlerden birer adet kullanıldığında Kızılırmak örneği için 100m basma yüksekliğinde sırasıyla saatte 143lt ve 442lt su pompalanması mümkündür. Akarsu kesitine sığdırılabilecek silindir sayıları hesaba katıldığında 2 ve 3 numaralı GKT düzeneklerinde aynı basma yüksekliği için saatte 1144lt ve 884lt debi ile su pompalanabilecektir. Giriş bölümünde belirtildiği üzere, GKT tahrikli

su pompasının bu denli yavaş akışlarda dahi belirtilen yüksekliklerde depolamayı başardığı su miktarının ziraat, orman ve çevre mühendisleri, biyologlar ve bitki bilimcileri açısından ele alındığı zaman önemi daha iyi anlaşılacaktır. Makalede yalnızca Türkiye akarsularının GKT tahrikli su pompalama potansiyeli irdelenmiştir. Çalışmanın bir amacı da potansiyel dış paydaşlarımızın ilgisini bu konuya çekebilmeştir.

Makalede optimizasyon aralıkları gözetilmemiş, TrSL3 akış rejimi içindeki Reynolds aralığında seçilebilecek en yüksek silindir çapları kullanılmıştır. 2 numaralı silindir çapı 3 numaralı silindir çapından küçük olmasına rağmen daha efektif biçimde su pompalıyor olması (kullanılabilir silindir adedinin daha fazla olmasından ötürü) dikkate değer bir sonuçtur.

Büyük Menderes Havzası'nda üç farklı silindir ile yapılan hesaplamalarda 1, 2 ve 3 numaralı GKT düzenekleri için 100 m yükseklikteki bir depoya saatte sırasıyla 1270lt, 2000lt ve 1333lt su pompalanabilmektedir.

Aynı GKT düzenekleri test kesitine yerleştirilebilecek adetler ile hesaplandığında Meriç Nehri konumu için 100m yüksekliğe sırasıyla 10,180lt, 15,850lt ve 11,930lt su pompalayabilmektedir.

Basma yüksekliklerinin 1m, 10m, 50m ve 100m olması durumunda pompalanabilecek su debileri de topluca Tablo 8'de paylaşılmıştır. 1m/s akış hızının neredeyse yarısı hızlarda yalnız başına kullanılan basit bir dairesel silindir – yay – pompa düzeneğinin GKT fiziğini kullanarak 10m yukarıda konumlandırılan 2 tonluk bir su deposunu doldurabiliyor olması araştırmanın belki de en önemli bulgusudur.

## 5. SONUÇLAR

Çölleşme ve iklim krizi ile mücadelenin oldukça önemli araştırma konularından biri olduğu günümüz dünyasında, akarsularından yeterince yararlanamayan ülkemizde, yavaş akış hızlarında tarımsal sulama ve ormanlaştırma çalışmalarına önemli katkı sağlayacağını düşündüğümüz bu araştırma makalesinde GKT tahrikli su pompasının potansiyeli tartışılmıştır.

Literatürde henüz yer almayan bu icadın tanıtımı ilk kez kaleme alınırken Türkçe tercih edilmiştir. Bu vesile ile Türkiye akarsu ve nehirlerinin açık kaynaklardan elde edilen karakteristikleri üzerine ön hesaplamalar yapılmıştır. Türkiye Cumhuriyeti Tarım ve Orman Bakanlığı, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü gibi kurumlarımızın tarafımız ile gerekli bilgileri paylaşması durumunda farklı havzalarda çeşitli mevsimsel ve çevresel şartlarda optimum düzeyde çalışacak GKT tahrikli su pompası üretilmesi mümkün hale gelebilecektir.

Hesaplamalarda, GKT fiziğinden yararlanarak elektrik üreten ve deneysel verileri literatür ile daha önce paylaşılan VIVACE isimli bir düzeneğin matematik modelinden yararlanılmıştır. Çalışmada, zeminden yeterince yukarıda kurulacak bir su deposunda biriktirilerek potansiyel kazandırılan suyun, sonraki aşamada tarımsal sulama ve ormanlaştırma maksadıyla enerji harcamadan kolaylıkla kullanılabilir hale getirilmesinden bahsedilmiştir. Depolanacak suyun farklı debilerde GKT düzeneğinin performansına olan etkileri irdelenmiş ve nihayetinde daha yüksek debili akarsuların bu sistemi kullandığında tarıma daha elverişli olduğu tespit edilmiştir. Öte yandan sadece 0.7m/s akış hızında, 1m kadar ufak ve taşınabilir bir dairesel silindirin tek başına kullanılarak dahi 10m yüksekteki bir depoya saatte 231lt su pompalayabiliyor olması, GKT tahrikli su pompasının ziraat, orman, iklim ve çevre mühendislerinin takdirini kazanacağı kuvvetle tahmin edilmektedir.

Tam olarak bu kısımda araştırmanın ziraat ve çevre mühendisliği konularındaki eksiklikleri göze çarpmaktadır. Zira elde edilen değerlerin ekonomik, sosyal ve çevresel katkılarının tartışıldığı ayrı bir çalışma ile GKT tahrikli su pompasının önemi daha belirgin şekilde

açıklanacaktır. Sonraki çalışmalarımızda bu konunun üzerinde durularak potansiyel paydaşlarımız ile üretilecek projelerimiz ile ülke tarımına ve ormanlaştırılması hususlarına katkı sağlamayı planlamaktayız.

## TEŞEKKÜR BÖLÜMÜ

İTÜ Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi yönetimine ve İTÜ FIMLab çalışanlarına verdikleri destekten ötürü teşekkür ederim.

## ESER SAHİPLİĞİ KATKI BEYANI

**Aytekin DURANAY:** Kavramsallaştırma, Yöntem Bilimi, Doğrulama, Şekilsel analiz, Kaynaklar, Yazım- Orijinal Taslak, Yazım- Gözden Geçirme ve düzenleme, Veri iyileştirme, Yazılım, Görselleştirme.

## ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazar bu makalenin gerçek, olası veya algılanan çıkar çatışmasına sahip olmadığını beyan etmektedirler.

## ETİK KURUL İZİNİ

Bu çalışma için etik kurul iznine gerek yoktur.

## FONLAMA DESTEĞİ

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde enstitülerden veya kurumlardan finansal destek alınmamıştır.

## ORCID Numarası

**Aytekin DURANAY**

 <https://orcid.org/0000-0002-9551-3508>

## 6. KAYNAKLAR

**Akaydin, H.D., Elvin, N., Andreopoulos, Y. (2010).** Energy harvesting from highly unsteady fluid flows using piezoelectric materials. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, 21(13): 1263–1278. doi: 10.1177/1045389X10366317.

- Baredar, P., Yadav, N. (2019).** Performance Analysis of Vortex Induced Vibration Based Wind Energy Harvesting System. *Advances in Power Generation from Renewable Energy Sources (APGRES)*.
- Bearman, P.W. (2009).** Understanding and predicting vortex-induced vibrations. *Journal of Fluid Mechanics*, 634: 1-4.
- Bernitsas, M.M., Raghavan, K. (2005).** "Fluid motion energy converter". International. Provisional Patent Application, USA Patent and Trademark Office: 504.
- Bernitsas, M.M., Ben-Simon, Y., Raghavan, K., Garcia, E.M.H. (2006).** The VIVACE converter: model tests at high damping and Reynolds number around  $10^5$ . International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, Vol. 47470, s. 639-653.
- Bernitsas, M.M., Raghavan, K., Ben-Simon, Y., Garcia, E.M.H. (2008).** VIVACE (Vortex Induced Vibration Aquatic Clean Energy): A New Concept in Generation of Clean and Renewable Energy from Fluid Flow. ASME. *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, 130(4): 041101.
- Bukka, S.R., Magee, A.R., Jaiman, R.K. (2020).** Stability analysis of passive suppression for vortex-induced vibration. *Journal of Fluid Mechanics*, 886: A12. doi: 10.1017/jfm.2019.1026.
- Dai, H.L., Abdelkefi, A., Yang, Y., Wang, L. (2016).** Orientation of bluff body for designing efficient energy harvesters from vortex-induced vibrations. *Applied Physics Letters*, 108(5): 053902. doi: 10.1063/1.4941546.
- Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (2018).** 2015 Akım Gözlem Yıllığı Cilt-1, Ankara.
- Dryden, H.L., Von Kármán, T., Kuerti, G., Van Den Dungen, F.H., Howarth, L., Peres, J. (1958).** *Advances in applied mechanics (Vol. 5)*, Academic Press.
- Du, L., Sun, X. (2015).** Suppression of vortex-induced vibration using the rotary oscillation of a cylinder. *Physics of Fluids*, 27(2). doi: 10.1063/1.4913353.
- Duranay, A., Kınacı, Ö.K. (2020).** Enhancing two-dimensional computational approach for vortex-induced vibrations by scaling lift force. *Ocean Engineering*, 217: 107620. doi: 10.1016/j.oceaneng.2020.107620.
- Duranay, A., Usta, O., Kınacı, Ö.K. (2021).** Systematic investigation of the tip effects on vortex-induced vibrations for circular cylinders. *Ocean Engineering*, 239: 109829. doi: 10.1016/j.oceaneng.2021.109829.
- Duranay, A., Kınacı, Ö.K., Bernitsas, M.M. (2022).** Effect of aspect ratio on hydrokinetic energy harnessing using cylinders in VIV. *Journal of Ocean Engineering and Marine Energy*, 8(2): 217-232.
- Duranay, A., Demirhan, A.E., Dobrucalı, E., Kınacı, Ö.K. (2023).** A review on vortex-induced vibrations in confined flows. *Ocean Engineering*, 285: 115309. doi: 10.1016/j.oceaneng.2023.115309.
- Govardhan, R., Williamson, C. (2000).** Modes of vortex formation and frequency response of a freely vibrating cylinder. *Journal of Fluid Mechanics*, 420: 85-130.
- Hamdan, C., Allport, J., Sajedin, A. (2021).** Piezoelectric power generation from the vortex-induced vibrations of a semi-cylinder exposed to water flow. *Energies*, 14(21): 6964. doi: 10.3390/en14216964.
- Ji, C., Xu, W., Sun, H., Wang, R., Ma, C., Bernitsas, M.M. (2018).** Interactive flow-induced vibrations of two staggered, low mass-ratio cylinders in the TrSL3 Flow Regime ( $2.5 \times 10^4 < Re < 1.2 \times 10^5$ ): Smooth Cylinders. *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, 140(4): 041801.
- Kınacı, Ö.K., Gökçe, M.K. (2020).** Akımla kendi kendini tahrik eden pompa (TPE 2015 17104).
- Kınacı, Ö.K., Demirhan, A.E., Duranay, A. (2022).** Vortex-induced vibrations of a single-degree-of-freedom circular cylinder in the vicinity of the free surface. *Applied Ocean Research*, 124: 103202.
- Lakka, S. (2013).** Flowmeter based on vibration induced by vortices, Doktora Tezi, Lempäälä, Finlandiya.
- Lee, J.H., Bernitsas, M.M. (2011).** High-damping, high-Reynolds VIV tests for energy harnessing using the VIVACE converter. *Ocean Engineering*, 38: 1697-1712.
- Lou, M., Qian, G., Li, R. (2020).** Experimental investigation of the suppression of vortex-induced vibration in four cylinders arranged in a square under different spacing ratios. *Journal of Marine Science and Technology*, 25(2): 467-481.
- Luo, F., Gao, C., Zhang, W. (2022).** The key to suppress vortex-induced vibration: Stability of the structural mode. *Journal of Fluids and Structures*, 113: 103692. doi: 10.1016/j.jfluidstructs.2022.103692.
- Modir, A., Goudarzi, N. (2019).** Experimental investigation of Reynolds number and spring stiffness effects on vortex induced vibrations of a rigid circular cylinder. *European Journal of Mechanics-B/Fluids*, 74: 34-40. doi: 10.1016/j.euromechflu.2018.10.016.

- Rahman, M.A.A. (2015).** Vortex-induced Vibration of Circular Cylindrical Structure with Different Aspect Ratios, Doktora Tezi.
- Sumer, B.M., Fredsøe, J. (2006).** *Advanced Series on Ocean Engineering, Volume 26: Hydrodynamics around Cylindrical Structures (Revised Edition)*. In World Scientific, 33 (1).
- UM News Service, University of Michigan-A new renewable energy concept (2008).** Erişim tarihi: 05.04.2024,  
<https://www.youtube.com/watch?v=jcyM3c5yISU>  
adresinden alınmıştır.
- Wang, C., Huang, Z., Hua, X., He, X., Zhou, S., Chen, Z. (2022).** Aerodynamic mechanism of triggering and suppression of vortex-induced vibrations for a triple-box girder. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 227: 105051.
- Williamson, C.H., Govardhan, R. (2004).** Vortex-induced vibrations. *Annual Reviews Fluid Mechanics*, 36: 413-455. doi: 10.1146/annurev.fluid.36.050802.122128.
- Yexuan, M., Zhiyou, S., Wanhai, X. (2022).** Study on vortex-induced vibration suppression of marine riser based on energy transfer. *Chinese Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, 54(4): 901-911.
- Zdravkovich, M.M. (1997).** *Flow around circular cylinders: Volume 2: Applications (Vol. 2)*, Oxford university press.