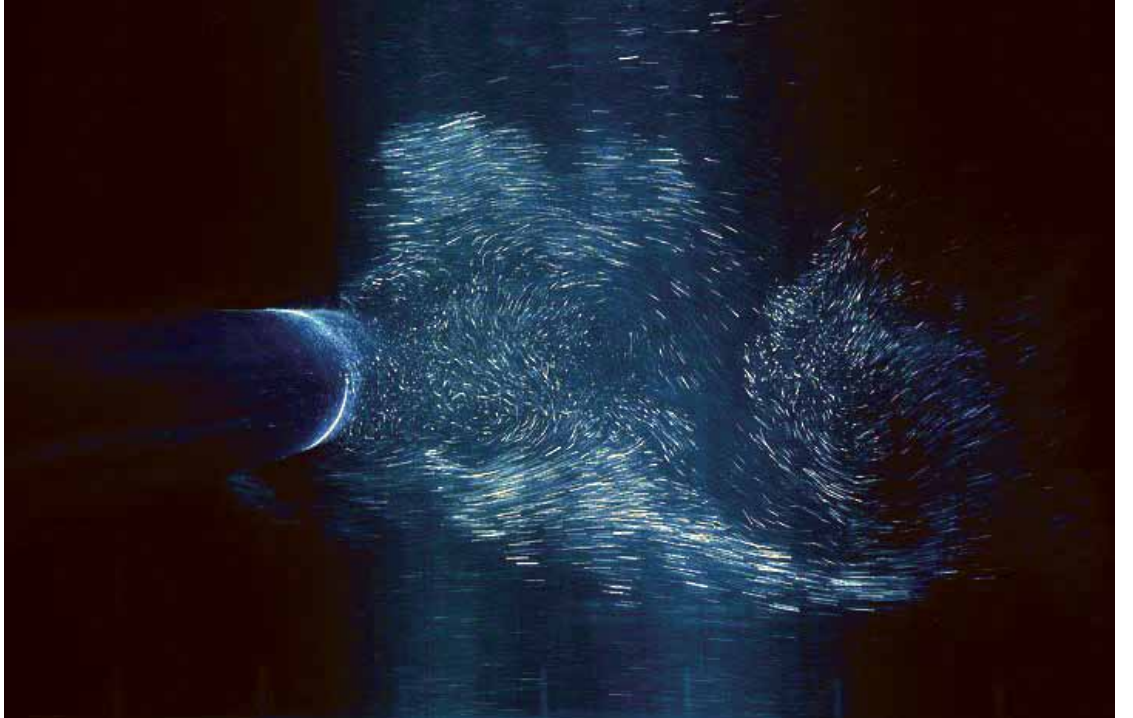


Yenilenebilir Enerji Teknolojilerinde Yeni Bir Yöntem:

VIVACE

Araştırmacılar dünyanın her yerinde temiz ve yenilenebilir enerjiden mümkün olduğunca fazla yararlanabilmek amacıyla, güneş enerjisinin büyük kısmının depolandığı sulardan daha çok güç elde etmek için uğraş veriyor. Ancak karşılaştıkları büyük bir sorun var. Su, gezegenimizin yüzeyinin % 75'ni kaplamasına rağmen büyük bir kısmı geleneksel yöntemlerle elektrik üretemeyecek kadar yavaş hareket ediyor. Yapmamız gereken, gelgitlerden, okyanus akıntılarından hatta tembel nehir akışlarından güç elde etmenin daha iyi bir yolunu bulmak. VIVACE ile yapılmak istenen de tam olarak bu. Bu yazıda doğanın zararlı hatta yıkıcı güçlerinden olan "girdap kaynaklı titreşimlerin" nasıl insanlık için yararlı hale getirilebildiğini okuyacaksınız.



Girdap Kaynaklı Titreşimler Nasıl Oluşuyor?

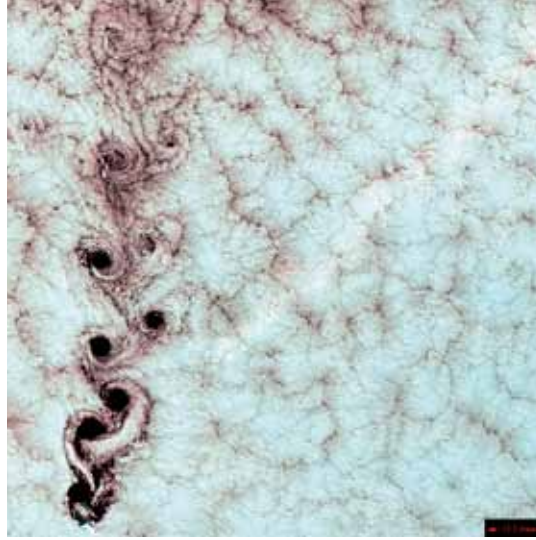
Fırtınalı bir günde ağaçların ve elektrik tellerinin çıkardığı gürültüyü hepimiz biliriz. Köprü ayaklarının etrafından akan nehir sularının oluşturduğu

girdapları gözlemleyen yoktur. Eski çağlarda, telli bir çalgı olan kitaranın hafif meltem esintisinde çıkardığı ses zamanın insanlarını büyülemiş olmalı ki bu çalgı tapınaklarda bile yer edinmiş. Bütün bunlar aynı fiziksel olayların bir sonucu olarak doğuyor; girdap kaynaklı titreşimlerin (GKT) sonucunda.

Mühendisler yüzyıllardır girdap kaynaklı titreşimlerin farkında. Leonardo da Vinci bundan yaklaşık beş yüz yıl kadar önce, doğru çaptaki ve gerginlikteki bir telin etrafından esen rüzgârdan ve köprü ayaklarının arasından kıvrılarak geçen girdaplardan kaynaklanan “aeolian tones” (rüzgâr sesi) formundaki GKT’yi ilk gözlemleyen kişi olmuş. 19. yüzyılın ikinci yarısında ve 20. yüzyılın başlarında John Strutt (Lord Rayleigh) ve Theodore von Karman gibi fizikçiler rüzgâra maruz kalan yayların hava akımı doğrultusuna dik bir hareket yaptığını ve bu tür cisimlerin arkasında düzenli bir şekilde girdaplar meydana geldiğini keşfetti. Bu düzen, girdapların oluştuğu periyodun cismin salınım hareketi ile eşzamanlı hale gelmesine ve bu hareketlerin genliğinin zamanla artmasına neden oluyor. Peki bu girdapların oluşmasına neden olan temel ilke ne? Bu sorunun cevabı akışa maruz kalan bu cisimlerin geometrisinde gizli. Akış içine daldırılmış keskin hatlar ve eğrisel yüzeyler, akışkanın hareketi sırasında cismin yüzeyinden ayrılmasına neden olur. Yüzeyi takip edemeyip ayrılan akışkan, cismin hemen arka kısmında görece düşük basınç ve düşük hız bölgesi oluşturur.

Cismin etkisi dışındaki serbest akış bölgesi ile cismin arka bölgesindeki hız farkı birtakım kararsız girdapların oluşmasına neden olur. Bu girdaplar akış yönünde ilerlerken çapları da giderek büyür. Dönerek bir miktar ilerleyen girdaplar düşük basınç bölgesine yönelir. Bu şekilde sırayla hareketine devam eden bu yapılar düşük basınç bölgesinin yerini periyodik olarak değiştirir ve S şeklinde kıvrılarak “Karman girdap caddeleri” olarak adlandırılan yapıları oluşturup yoluna devam eder. Düşük basınç bölgesinin yerinin periyodik olarak değişmesi sürüklenme kuvvetinde dalgalanmalar meydana getirirken, akışa dik doğrultuda yönü ve şiddeti yine periyodik olarak değişen kaldırma kuvvetini doğurur.

Girdap kaynaklı titreşimler birçok yapıya muazzam zararlar verebiliyor. Silindirik ve dairesel olan her şey, ince balık ağlarından 36 m çapındaki direkli (SPAR) platformlara kadar, açık deniz petrol üretiminde kullanılan birçok yapı ve alet GKT’ye maruz kalıyor. Petrol üretim platformlarıyla deniz tabanındaki petrol kuyularının bağlantısını sağlayan “yükselticiler” bu girdaplar nedeniyle sallanabiliyor veya kırılabilir. Hatta uzun fabrika bacaları ve soğutma kuleleri bile bu titreşimlerden kaynaklanan kuvvetlere maruz kalıyor. Bu liste araba antenleri, bayrak direkleri, trafik ışık kolonları, binalar ve soğutma kuleleri gibi gündelik nesnelere de içeriyor.



Şili sahilı yakınlarındaki Fernandez Adaları'nın ve ilerlemekte olan bulutların etkileşiminden kaynaklanan Karman girdap caddelerinin uydur görüntüsü.

GKT’lerin gücünün belki de en ünlü ve en çarpıcı örneklerinden biri, 1940 yılında, ABD’nin Washington eyaletindeki henüz yeni tamamlanmış Tacoma Narrows köprüsünün bölgedeki sert rüzgârların etkisiyle sallanarak bükülmeye başlamasıyla kendini gösterdi. Yaklaşık bir metrelik genlikteki sürekli salınım hareketlerinin ardından köprü yıkıldı. 140 km/s hızdaki rüzgârlara dayanabilecek şekilde tasarlanmış bir köprünün, yaklaşık 67 km/s hızda esen rüzgârda yıkılması şaşılacak bir durumdu. Bu durum birçok araştırmacının ilgisini çekti ve göçüşün nedenini bulmak üzere çalışmalar yaptılar. Kuramsal açıklama Theodore von Karman’dan geldi. Tacoma Narrows köprüsü GKT nedeniyle rezonansa girmiş ve yıkılmıştı.



GKT’lerin bu yıkıcı gücü karşısında mühendisler uzun zamandır yapıların görebileceği zararları önlemek için girdap oluşumlarını bozup GKT’yi sönmülemeye çalışıyor. Uzun yıllardır yapılan çalışmalarla farklı geometriler için farklı yöntemler geliştirildi ve geliştirilmeye devam ediyor.

Akış içerisine yerleştirilmiş küresel bir cismin arkasında oluşan Karman girdap caddelerinin boya ile görünür hale getirilmiş şekli (Ozgooren ve ark. 2011a).



Girdap kaynaklı titreşimler eğer hesaba alınmazlarsa 1940 yılında Tacoma Narrows Köprüsü'nde olduğu gibi büyük yıkımlara neden olabilir.

Bu tür çalışmalar ülkemizdeki üniversitelerde de yürütülmekte. Örneğin Çukurova Üniversitesi Makine Mühendisliği Enerji Laboratuvarı'nda silindirik ve küresel cisimlerin etrafında oluşan akış yapısının kontrol edilmesiyle ilgili TÜBİTAK tarafından desteklenen bilimsel araştırmalar yürütülüyor. Silindirin etrafına giydirilen farklı geometrilerin ve küresel cisimlere uygulanan farklı yüzey modifikasyonlarının akış yapısı üzerine etkileri parçacık görüntülemeli hız ölçme tekniği (PIV) ile araştırılıyor. PIV, akış içine bırakılan mikron ölçeğindeki gümüş parçacıkların yer değiştirme hareketini, yüksek çözünürlüğe sahip hızlı bir kamera ile tespit ederek vektörel hız alanları oluşturan ileri teknoloji ürünü bir ölçme aletidir. Elde edilen türbülans istatistikleri ile akış karakteristikleri hakkında detaylı bilgilere ulaşılabilir.

Girdapların Yararlı Gücü Keşfediliyor

2005 yılında Michigan Üniversitesi Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi'nden bir Profesör, Michael Bernitsas, araştırmalarını kendisinin ve diğerlerinin daha önce yapmaya çalıştığının tam tersine çevirdi. Doğanın bu yıkıcı güçlerine karşı koymaya çalışmaktansa

onlardan faydalanmanın bir yolunu aramaya koyuldu. Ekibiyle yaptığı çalışmaların sonucunda VIVACE adını verdikleri dönüştürücüyü icat ettiler. VIVACE (*Vortex Induced Vibration for Aquatic Clean Energy Converter*) su içinde girdap kaynaklı titreşimlerden temiz enerji elde etmeye yarayan bir enerji dönüşüm makinesidir.

Tipik bir dönüştürücü, uygulamanın büyüklüğüne bağlı olarak her biri hidrolik ya da elektriksel bir güç aktarma sistemine bağlı olan silindirlerin üç boyutlu diziliminden oluşuyor. Su silindirlerin etrafından akarken, girdapların oluşumu ve kopması silindirlere salınım hareketi yaptıran kuvvetleri doğuruyor, böylece akışın yatay düzlemdeki hidrokinetik enerjisinin bir kısmı mekanik enerjiye dönüştürülebilir. Sistemdeki güç aktarma organı bu enerjiyi alıyor ve elektrik jeneratörünü hareket ettirmek için kullanıyor.

Böyle bir tasarımın geleneksel hidroelektrik ve hidrokinetik uygulamalara göre birçok avantajı var. Tipik hidroelektrik güç istasyonlarından farklı olarak, VIVACE dönüştürücüsü suyun belli bir düzeye çıkarılıp depolandığı barajlara ihtiyaç duymuyor. Suyun silindirlerin üzerinden serbestçe akmasına izin veriliyor. Son on yılda ortaya çıkmış birçok hidrokinetik

teknolojisinden farklı olarak, dönüştürücüde türbin kullanılmıyor, bu da onu sualtı yaşamı için daha güvenli yapıyor ve sualtı canlıları rahatça etrafından ya da içinden yüzerek geçebiliyor.

Akıntılardan değil de yüzeydeki dalgalardan enerji elde etmek için de birçok tasarım yapıldı ve prototipler inşa edildi. Noktasal emiciler (şamandıralar), çizgisel emiciler (pelamisler) ve yüzeyel emiciler (salınım yapan su kolonları) gibi cihazlarla elde edilebilen dalga enerjisinin, bu cihazların yerleşimi için gerekli olan aralıklar ve birbirleriyle etkileşim hacimleri hesaba katıldığında, düşük güç yoğunluğuna sahip olduğu görülüyor. Burada güç yoğunluğu birim hacimden elde edilecek enerji miktarı olarak tanımlanıyor. Düşük güç yoğunluğunun da yenilenebilir enerji teknolojilerinin en zayıf noktası olduğunu söyleyebiliriz. VIVACE gerçek bir üç boyutlu enerji emicidir. Laboratuvar testlerinde büyük güç yoğunlukları ölçülmüştür. Ayrıca okyanus akıntıları, nehir akışları ve okyanus dalgaları, rüzgâr ve güneş enerjisinden daha tahmin edilebilir ve güvenilirdir.



Silindirik yapıdaki bacalarda rüzgârdan kaynaklanan dinamik yüklemelerin engellenmesi için bacaların etrafına sarılan helisel yapılar (solda). Petrol arama platformlarının gövdesinde (sağ üst) ve su altı boru sistemlerinde (sağ alt) dalgalardan ve sualtı akıntılardan kaynaklanan dinamik yüklemeleri önlemek için helisel yapılar kullanılır. Petrol arama platformlarının ardında oluşacak Karman girdapları sızıntı durumunda kirliliğin okyanusta geniş bir alana yayılmasına neden olur.

VIVACE dönüştürücüsünün bir diğer avantajı çok değişken akıntı şartlarında çalışabilmesi. Girdap senkronizasyonu geniş bir hız aralığında bile gerçekleştiriliyor. Başka bir deyişle 3 kn akıntı için tasarlanmış bir VIVACE dönüştürücüsü, 2 kn ve 4 kn akıntılarda da performansında herhangi bir değişiklik olmadan verimli bir şekilde çalışabiliyor (1 kn=0,514 m/sn denizcilik hız birimi).

Balık kinematığının taklit edilmesiyle nasıl daha fazla hidrokinetik enerji elde edebiliriz ve bu teknolojiyi nasıl doğayla daha uyumlu hale getirebiliriz gibi hayati sorulara cevaplar bulunuyor. Kuyruklu küt bir cisim için, girdapları kuyruğunu bükerek toplayıp sonra gererek itirmek (koparmak) yoğun bir ortamda hareket etmenin en doğal yoludur. Bu, minik bir spermden küçük bir balığa ve koca bir balınaya kadar, yoğun bir ortamda hareket etmenin doğal bir şeklidir. Toplu halde hareket eden balık sürüleri bu yöntemi kullanarak çok verimli bir şekilde yol alabiliyor. VIVACE silindirlere arkasına balık kuyruğu şeklindeki yapıların eklenmesi girdapların etkileşimini kontrol ederek dönüştürücüyü daha verimli bir hale getirilebiliyor.

VIVACE Bize Yeterli Enerji Sağlayabilir mi?

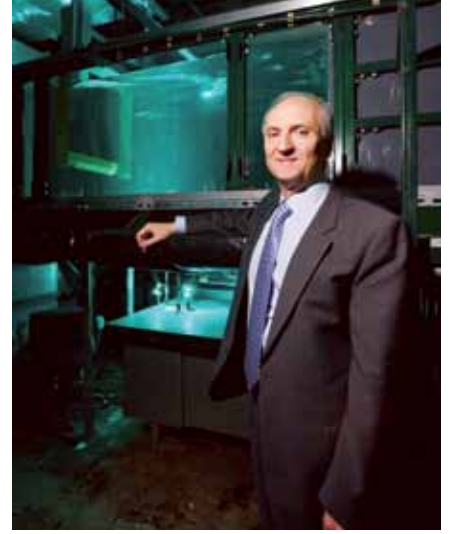
Bunu anlayabilmek için rüzgâr enerjisiyle bir karşılaştırma yapabiliriz. Hem rüzgâr türbinleri hem de VIVACE sistemleri bir akışkanın gücünü emip elektriğe çeviren makinelerdir. Rüzgâr türbinlerinde kanatlar üzerindeki hava akımı bir kaldırma kuvveti doğurur ve bu kuvvet jeneratöre bağlı mili döndürür. Malzeme ve imalat teknolojilerinin gelişimine paralel olarak üretimdeki sınırlamaların giderek ortadan kalkmasıyla rüzgâr makineleri giderek daha büyük hale gelmeye başladı; dev bir türbin 5 MW'lık bir kapasiteye sahip olabiliyor. Dünyanın üçüncü büyük rüzgâr çiftliği, Teksas'taki Horse Hollow Rüzgâr Enerjisi Merkezi, 190 km²lik alana yayılmış, 291 tane 1,5 MW'lık GE enerji türbini ve 130 tane 2,2 MW'lık Siemens türbi-

niyle, 735,5 MW'lık bir maksimum güç üretebilir durumda. Eğer türbinlerin yüksekliğini de hesaba alırsanız, rüzgâr çiftliği neredeyse 22 km³lük dev bir hacim kaplıyor.

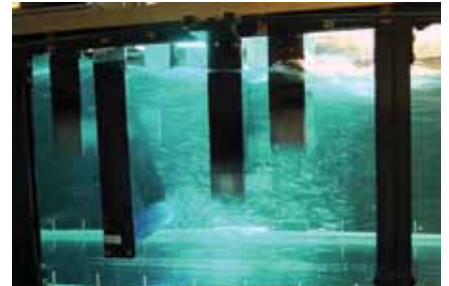
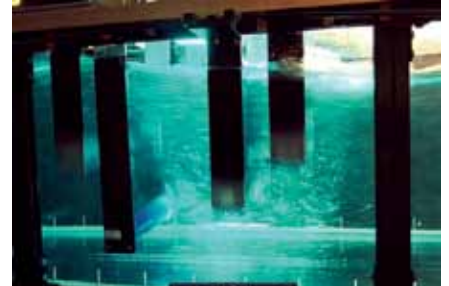
Ancak rüzgâr gücünün belirgin bir dezavantajı var. Akarsuyla karşılaştırıldığında, rüzgâr düşük güç yoğunluğuna sahip, bu durum kendini büyük bir rüzgâr çiftliğini VIVACE dönüştürücüsüyle karşılaştırdığınızda daha belirgin olarak gösteriyor. Örneğin Horse Hollow rüzgâr çiftliğindeki rüzgâr türbinleri ortalama 12 m/s hızla esen rüzgâr koşulları için tasarlanmıştır. Su havadan 830 kat daha yoğun olduğundan, aynı kapasite için karşılaştırılabilir su akış hızı saniyede 1,3 metre oluyor. Yapılan laboratuvar testlerine göre, bu hızdaki bir su akışında çalışan VIVACE dönüştürücüsünün güç yoğunluğu metre küp başına 185 watt. Kapladıkları hacimlere göre kıyaslandığında, bakım ve düşük rüzgâr hızından kaynaklanan kullanılabilirlik eksikliği de hesaba alınırsa, VIVACE dönüştürücüsünün güç yoğunluğu rüzgâr çiftliğininkinden 14.600 kat daha büyük hale geliyor.

Yapılan hesaplar sonucunda 6 knotluk su akıntısında, VIVACE dönüştürücüsünün metre küp başına 1,980 wattlık güç yoğunluğuna sahip olabileceği görüldü. Bu, bir dizel motorunun güç yoğunluğunun çok az altında bir değer ve Betz limitinden güvenli bir mesafede duruyor. 4 m'lik silindiri olan küçük bir dönüştürücü 5 m derinliğindeki suda 100 kW güç üretebiliyor. Küçük bir şehrin enerji ihtiyacını karşılayabilecek, 10 MW'lık bir dönüştürücü inşa etmek istenirse yapılması gereken tek şey daha büyük silindirler kullanmak ve hacmi büyüyen sistemi daha derine yerleştirmek olacaktır.

Rüzgâr türbinlerinden farklı olarak VIVACE dönüştürücüsünün yerleştirilebileceği yerler daha çeşitli. Rüzgâr türbinlerinde sadece uygun rüzgâr koşullarının bulunmasına değil, ayrıca türbinlerin birbirleriyle ve doğayla istenmeyen etkileşimlere girmesinin engellenmesine de dikkat edilmesi gerekiyor. Dönüştürücülerin yerleştirileceği akarsuyun, tek-

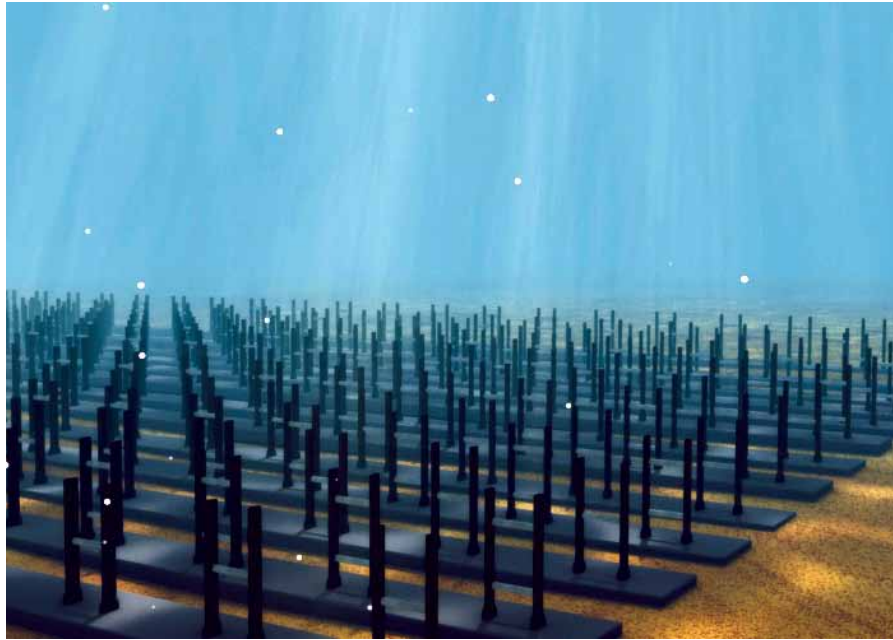


VIVACE silindirlere, nehir akışının simüle edildiği laboratuvar ortamında yukarı aşağı yaptıkları periyodik hareket (Fotoğraflar belirli bir zaman aralığında, art arda çekilmiş.)

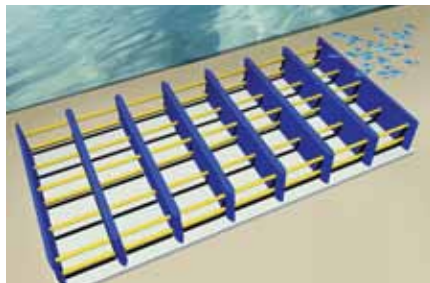




Deniz yılanı olarak da adlandırılan pelamisler, denizlerdeki ve okyanuslardaki yüzey dalgalarının enerjisini emen makinelerdir. Görüldüğü gibi çok büyük bir alana yayılmışlar (Portekiz kıyıları).



VIVACE okyanus tabanına, silindirler akıntıya dik olacak şekilde yerleştirilir. VIVACE su ve rüzgâr türbinlerinin aksine türbülansın enerjisini de işe dönüştürebildiğinden küçük bir alana çok sayıda dönüştürücü kurulabilir.



VIVACE sistemi sualtı yaşamına hiç zarar vermiyor. Gerçekten çevreci bir yenilenebilir enerji dönüşüm makinesi.

nelerin güvenli bir şekilde geçebilmesi ve ayrıca dönüştürücülerin birbirleriyle, su yüzeyiyle, deniz tabanıyla ve nehir yatağıyla istenmeyen etkileşimlere girmesinin engellenebilmesi için, yeterince derin olması gerekiyor. VIVACE dönüştürücüsü doğal modüler yapısı gereği çok kısıtlayıcı ortamlarda da kurulabileceğinden yukarıda bahsedilen sınırlayıcı etkenler çok da büyük bir sorun yaratmıyor.

Şüphesiz bir enerji kaynağı her ne kadar bol olursa olsun eğer işletme maliyeti yüksekse hiç de kullanışlı olmaz. (Bu güneş enerjisi sistemlerinin karşılaştığı bir sorun.) Prof. Bernitsas ve ekibinin yaptığı hesaplamalar bu durumun VIVACE dönüştürücüsü için bir engel olmayacağını gösteriyor. İlk olarak sistem tamamen mekanik, inşa etmek için herhangi bir devrimsel mühendislik çalışması gerekmiyor. Başarılı bir sistem elde edebilmek için gerekli olan tüm devrimsel nitelikteki bilimsel bilgi çoktan elde edilmiş durumda, ancak sistemi daha güçlü ve çevreye uyumlu hale getirmek için araştırmalar devam ediyor. Bu sistem özel bir malzeme kullanımını da gerektirmiyor.



Bir kaç yıl önce yapılmış maliyet tahminleri 10 MW'lık VIVACE dönüştürücüsünün watt başına sermaye maliyetinin, yeni bir kömür yakıtlı elektrik santralininkinin yaklaşık iki katı olacağını gösterdi. Ancak VIVACE dönüştürücüsünün fosil yakıtlı santrallerden farklı olarak fosil yakıtı ihtiyacı olmadığını, daha az değişken çalışma şartlarına ve bakım maliyetine sahip olacağı-

nı düşünürsek elektriğin kilowatt başına maliyeti yeni bir kömür yakıtlı santralinkine aşağı yukarı eşit oluyor. Bu şekilde üretilen elektrik rüzgârdan, Güneş'ten ya da doğal gazdan üretilenden çok daha ucuz olacaktır.

Gelecek Vaat Eden Bir Sistem

Her ne kadar başlangıç için hidrodinamik araştırmalarda başarılı adımlar atılmış olsa da, bu teknolojinin dünyaya kazandırılması noktasında üretilebilirliği ve ne kadar ekonomik olduğu son sözü söyleyecek. Sıklıkla sert deniz ortamına maruz kalacak olan VIVACE'yi üretimi ve bakımı daha kolay ve daha ucuz hale getirmek için yeni çalışmaların yapılması gerekiyor. Silindirlerin yerleştirilmesi, pasif türbülans kontrollerinin uygulanacağı ve pasif balık kuyruklarının yerleştirileceği yer-

lerin belirlenmesi hâlâ çok zaman alan bir iş. Daha fazla test yapılması ve hidrodinamiğin temellerinin daha iyi anlaşılması tüm bu değişkenlerde daha az hata yapılmasını, üretim toleranslarının yüksek olması ise daha düşük bakım gereksinimlerinin doğmasını sağlayacaktır.

VIVACE dönüştürücüsü ucuz ve bol elektrik sağlamayı vaat eden, temiz ve basit bir makine. Sistemi optimize etmek için yapılması gereken daha çok iş olduğu kesin, ancak dönüştürücünün beklendiği gibi çalışabileceğine dair bir şüphe yok. VIVACE bu yüzyılda yenilenebilir enerji endüstrisinde bir devrim yaratabilecek potansiyele sahip. Ülkemizde belki de boğazlara ya da gelecek yıllarda yapılması planlanan Kanal İstanbul'a kurularak ihtiyaç duyduğumuz enerjinin bir kısmı karşılanabilir.



Abdülkerim Okbaz, 1987'de Anamur'da doğdu. 2005'te Anamur Anadolu Lisesi'nden mezun olduktan sonra Selçuk Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'ne girdi. "Küre ve Küreler Etrafında Oluşan Daimi Olmayan Akış Yapısı ve Kontrolünün Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçme Yöntemiyle İncelenmesi" adlı TÜBİTAK destekli bilimsel araştırma projesinde proje asistanı olarak çalışıyor ve Selçuk Üniversitesi Makine Mühendisliği Enerji Anabilim Dalında yüksek lisans yapıyor.



Gerçek çalışma şartlarındaki performansını değerlendirmek amacıyla VIVACE'nin son hali St. Clair nehrinde açık su testine tabi tutuldu, 2.8.2010, Huron limanı, Michigan, ABD.

Horse Hollow Rüzgâr Enerjisi Merkezi, Teksas. Temiz ve yenilenebilir enerji elde etmek için uygun olsa da, bu ve bunun gibi bir çok rüzgâr çiftliği yerel halk tarafından sebep oldukları gürültü ve görüntü kirliliği yüzünden dava edilmiş.

Kaynaklar

Kahraman, A., Sahin, B. ve Rockwell, D., "Control of vortex formation from a vertical cylinder in shallow water: Effect of localized roughness elements", *Experiments in Fluids*, s. 54-65, 2002.
Akıllı, H., Şahin, B. ve Tumen, N.F., "Suppression of vortex shedding of circular cylinder in shallow water by a splitter plate", *Flow Measurement and Instrumentation*, Cilt 16, s. 211-219, 2005.
Bernitsas, M. M., Raghavan, K., Ben-Simon, Y., Garcia, E. M. H., "VIVACE (Vortex Induced Vibration Aquatic Clean Energy): A New Concept in Generation of Clean and Renewable Energy from Fluid Flow", *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering, ASME Transactions, Proceedings of the 25th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering (OMA'E '06)*, Makale 92645, Haziran 4-9, 2006.

Bernitsas, M. M., Raghavan, K., ve Maroulis, D., "Effect of Free Surface on VIV for Energy Harnessing at $8 \times 10^3 < Re < 1.5 \times 10^5$ ", *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering, ASME Transactions, Proceedings of the 26th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering (OMA'E '07)*, Makale 29726, Haziran 10-15, 2007.
Raghavan, K., Bernitsas, M. M., ve Maroulis, D., "Effect of Reynolds Number on Vortex Induced Vibrations", *IUTAM Symposium*, 2007.
Choi, H., Jeon, W.P., Kim, J., "Control of Flow Over a Bluff Body", *Annu. Rev. Fluid Mech.*, s. 113-139, 2008.
Raghavan, K., Chan-Hyun Sohn ve Bangalore, H.L. G., "Passive Control of Vortex-Induced Vibrations: An Overview", *Recent Patents on Mechanical Engineering*, s. 1-11, 2008.
Ozgoren, M., Okbaz, A., Kahraman A., Hassanzadeh, R., Sahin, B., Akıllı, H., Dogan, S., "Experimental Investigation of the Flow Structure around a Sphere and Its Control with J

et Flow via PIV", *Elazığ 6th International Advanced Technologies Symposium*, Makale 50, 2011.
Ozgoren, M., Okbaz, A., Dogan S., Kahraman, A., Hassanzadeh, R., Sahin, B., Akıllı, H., "Passive Control of Vortical Flow Structure around a Sphere by an O-ring", *Elazığ 6th International Advanced Technologies Symposium*, Makale 53, 2011.
Ozgoren, M., Pinar, E., Sahin, B., Akıllı, H., "Comparison of flow structures in the downstream region of a cylinder and sphere", *Int. J. Heat Fluid Flow* (baskıda), doi:10.1016/j.jheatefluidflow.2011.08.003, 2011.
<http://www.vortexhydroenergy.com/>
http://www.plasticsportal.net/wa/plasticsEU~en_GB/portal/show/common/plasticsportal_news/2010/10_310
http://www.mecaenterprises.com/helical_strakes.htm
<http://www.sime.us/>