

Alternatif Bir Enerji Üretim Yöntemi Olarak Hidrokinetik Enerji Türbinleri

Abdullah Muratoğlu

Batman Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

Tel: (0488) 217 37 28

abdullah.muratoglu@batman.edu.tr

M. İshak Yüce

Gaziantep Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

Tel: (0342) 317 24 24

E-Posta: yuce@gantep.edu.tr

Öz

Hidrokinetik enerji sistemleri, herhangi bir rezervuar yapısına ihtiyaç duymadan sudaki kinetik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürmeye yarayan elektromekanik cihazlardır. Bu teknoloji, son 20 yılda gelişen yeni bir alan olup, nehir, su kanalı, deniz ve okyanus gibi uygun akıntı hızının bulunduğu yerlerde kullanılmaktadır. Hidrokinetik enerji türbinleri, özellikle enerji nakil hatlarına uzak olan ve ekonomik açıdan baraj yapmanın zor olduğu kırsal kesimlerde, baraj yapımına müsait olmayan veya ömrünü tamamlamış barajların mansap kısmında kullanılabilirler. Bu çalışmanın temel amacı, nispeten yeni bir teknoloji olan hidrokinetik enerji türbinlerinin tanıtılmasıdır.

Anahtar sözcükler: Yenilenebilir enerji, Hidrokinetik Türbinler, Suyun kinetik enerjisi

Giriş

Son yıllarda kişi başına düşen enerji tüketimi ve küresel enerji ihtiyacının artması, fosil enerji kaynaklarının tükenmesi ve bu yakıtların iklim değişikliğini tetiklemesi problemleri bilim adamlarını ve mühendisleri çevreye daha az zarar veren, daha ucuz ve sürdürülebilir enerji teknolojilerini üretmeye yönlendirmiştir.

Su enerjisi, dünyanın en temiz ve en yaygın bulunan yenilenebilir enerji kaynağı olarak bilinir (Güney ve Kaygusuz, 2010). Aynı zamanda su, en verimli elektrik enerjisi kaynağıdır (Öztürk ve diğerleri, 2009). Küresel enerji ihtiyacının yaklaşık % 18'i suyun enerjisinden sağlanmaktadır. Öte yandan, su enerjisinin tahmin edilebilirliği, düzenli olması ve çok geniş bir alana yayılması, bu enerji türünün tercih edilme oranını artırmaktadır.

Sudan enerji üretebilmek için temel olarak iki yaklaşım bulunmaktadır. Bunlar hidrostatik ve hidrokinetik yöntemlerdir. Hidrostatik sistemler, herhangi bir rezervuarda suyun biriktirilmesi sureti ile potansiyel enerji depolanması ve gerekli durumlarda bu potansiyel enerjinin türbinler yardımı ile kinetik enerjiye dönüştürülerek kullanıldığı geleneksel baraj sistemleridir. Hidrokinetik sistemlerde ise hidrostatik sistemlerin aksine herhangi bir baraj veya rezervuar yapısı kullanılmadan, suyun kinetik enerjisi direk olarak kullanılır. Bu sistemler belli bir su yüksekliği gerektirmeksizin, uygun hidrokinetik türbinler kullanılarak suyun enerjisinin elektriğe dönüştürülmesi esasına dayanır. Hidrokinetik türbinler aynı zamanda serbest akım türbinleri olarak adlandırılır ve nehir, gelgit, okyanus, dalga enerjisini ve yapay ya da tabii kanallardaki enerjiyi

elektrik enerjisine dönüştürmeyi sağlar (Güney ve Kaygusuz, 2010; Khan ve diğerleri, 2008; Lago ve diğerleri, 2010).

Hidrokinetik enerjinin geleneksel enerji üretim metotlarına karşı üstünlükleri şunlardır:

- İnşaat iş ve maliyetlerinin minimuma indirilmesi
- Rezervuar ve baraj yapımı ile uğraşılması
- Suyun tabii akışına müdahale edilmemesi sureti ile enerji üretim ortamının doğal yapısının bozulmaması
- Birden fazla ünitenin aynı zamanda kurulup kullanılabilmesi

Hidrokinetik enerji türbinlerinin aşağıdaki yer ve durumlarda kullanılması elektrik üretim problemlerini azaltacaktır:

- Özellikle gelişmiş ülkelerde geniş ölçekli hidroelektrik santral yapmaya müsait yerlerin çoğunun kullanılmış olması
- Suyun akış hız ve debisinin yeterli olduğu fakat baraj yapımının teknik ve ekonomik olarak makul olmadığı yerlerde
- Yapı malzemelerine ulaşım imkânının uzak ve külfetli olduğu yerlerde
- Deprem riskinin yüksek olduğu bölgelerde
- Zengin su kaynaklarının bulunduğu, elektrik şebekesinden uzak kırsal kesimler ve az gelişmiş ülkelerde

Tüm bu avantajların yanı sıra hidrokinetik sistemlerin bir takım dezavantajları da mevcuttur. Bu sistemler, nispeten daha küçük ölçekli enerji üretim kapasitesine sahiptir. Aynı zamanda serbest akım ortamında çalışan herhangi bir hidrokinetik türbinin erişebileceği maksimum verim % 59,3'tür. Bu limit aynı zamanda Betz limit olarak da bilinir. Hali hazırda % 50 toplam verimin üzerine çıkabilen çok az sayıda türbin mevcuttur. Öte yandan, kavitasyon problemi, hidrokinetik türbinlerin dezavantajlarının başında gelir. Kavitasyon olayı, türbin kanatları etrafındaki lokal basıncın, akışkanın buhar basıncının altına düşmesi sonucu, akışkanın baloncuk, boşluk vb. basınç dengesizlikleri oluşması sureti ile türbin parçalarının zarar görmesi esasına dayanır. Türbinin özellikle yüksek hızla hareket eden parçalarının kavitasyona maruz kalması olası bir durumdur. Deniz ve okyanus ortamındaki şiddetli hidrodinamik yükleme ve boşalmalar ve düzensiz dalga yüklemesi olması sebebiyle hidrokinetik türbinlerin bu şiddetli yüklere dayanabilmesi için güçlü bir şekilde tasarlanması gerekmektedir. Öte yandan bu sistemler minimal seviyede bir takım çevresel riskleri de barındırmaktadır. Hidrokinetik türbin sistemlerinin kurulduğu bölgelerde, nehir veya deniz trafiği aksayabilmekte, balıkçılık zarar görebilmektedir. Türbin parçalarında kullanılan bir takım kimyasal bileşenler, türbinin oluşturduğu titreşim ve ses de, suyun doğal ortamına negatif etkilerde bulunacağı açıktır. Hidrokinetik türbinlerin olumsuz çevresel etkileri bilim insanları tarafından hala araştırılmaktadır (Nicholls-Lee ve diğerleri, 2008; Crowe ve diğerleri, 2009).

Aynı boyutlara sahip rüzgâr ve hidrokinetik türbinler karşılaştırılırsa, hidrokinetik türbinlerin çok daha fazla enerji üreteceği görülecektir. Bu durum su yoğunluğunun hava yoğunluğunun yaklaşık 800 katı olmasından kaynaklanmaktadır. 2-3 m/s hız bandında çalışan bir hidrokinetik türbin aynı hızlarda çalışan bir rüzgâr türbininin yaklaşık 4 katı enerji üretebilmektedir (Bahaj ve Myers, 2003). Hidrokinetik türbinlerin çalışma hızları 1,5-3 m/s iken rüzgâr türbinleri optimum 11-13 m/s ile çalışmaktadır (Twidell ve Weir, 2006). Hidrokinetik ve rüzgâr türbinlerinin güç yoğunluklarının karşılaştırılması Şekil 1'de verilmiştir. Buna göre, 2 m/s serbest akım hızı ile çalışan bir

hidrokinetik türbin yaklaşık 16 m/s rüzgâr hızında çalışan bir rüzgâr türbini ile aynı güç yoğunluğuna sahiptir.



Şekil 1. Serbest akım su (hidrokinetik) ve rüzgâr türbinlerinin güç yoğunluğu açısından karşılaştırılması (Yüce ve Muratoğlu, 2015)

Kaynak Potansiyeli

Global ve yerel hidrokinetik enerji potansiyelini belirleme konusunda birçok bilimsel çalışma yapılmıştır. Nehir, gelgit ve dalga odaklı enerji üretim sistemlerinin her biri için ayrı ayrı kaynak potansiyeli hesabı yapılmaktadır. Gelgit hareketleri ve nehir akıntıları için yapılan tahminler daha gerçekçi olup, aynı durum dalga enerjisi için söz konusu değildir. Dalgadan üretilebilecek enerjinin doğru bir şekilde tahmin edilmesi nispeten zordur. Öte yandan, herhangi bir enerji türünün teknik potansiyeli kullanılacak dönüştürücünün keyfiyeti ile doğrudan ilişkilidir. Dolayısı ile teknik potansiyel hesabı yapılırken, kullanılan teknoloji türü özellikle dikkate alınmalıdır.

Küresel bağlamda, teknik olarak üretilebilecek hidrokinetik enerji potansiyeli dalga ve gelgit enerjileri için sırasıyla 750 ve 800 TWh/yıl olarak tahmin edilmiştir (Fraenkel, 2006; EPRI, 2012; Soerensen ve Weinstein, 2008; Yates ve diğerleri, 2013; Galarraga ve diğerleri, 2011, AMEC, 2012). Nehir enerjisinin kaynak potansiyeli ile ilgili yerel ölçekte bir takım çalışmalar yapılmışsa da küresel anlamda kapsayıcı herhangi bir çalışmaya literatürde rastlanılmamaktadır.

Teori ve Dizayn

Mevcut hidrokinetik enerji türbinleri temel olarak akım enerjisi dönüştürücü sistemler (AED) ve dalga enerjisi dönüştürücü sistemler (DED) olarak ikiye ayrılabilir. Akım enerjisi dönüştürücü sistemler, aynı zamanda serbest akım türbinleri veya in-stream türbinler olarak da adlandırılmaktadır. Bu sistemlerde mekanik enerji, elektrik enerjisine, dönen bir türbin pervanesi yardımı ile aktarılmaktadır. Dalga dönüştürücü sistemler ise muhtelif tasarımlara sahip olmak ile birlikte, bu sistemlerde temel olarak sudaki hareket enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren farklı bir hareket mekanizması mevcuttur. Dalga dönüştürücü sistemler bu çalışmanın konusu değildir. Bu çalışmada akım enerji dönüştürücü sistemlere daha fazla ağırlık verilmiştir.

Akım enerji dönüştürücü sistemler temel olarak, birden çok kanada sahip olan bir pervanenin yatay veya dikey shaft etrafında dönmesi sureti ile sudaki kinetik enerjinin pervane üzerinde hidrodinamik kuvvetlere dönüştürülmesi esasına dayanır. Bu türbinlerde her bir kanat bir ya da birden çok hidrofoil kullanılarak tasarlanmaktadır. Suyun serbest akışından dolayı hidrofoiller üzerinde kaldırma kuvveti oluşmakta ve

bunun sonucu olarak pervane, merkezi şaft etrafında dönmektedir. Herhangi bir hidrokinetik türbinin ürettiği enerji, seçilen hidrofoilin hidrodinamik performansı ile yakından ilişkilidir. Dolayısıyla, yüksek enerji üretimi için yüksek kaldırma/sürüklenme oranına sahip hidrofoiller tercih edilmelidir.

AED sistemlerin tasarımında kullanılan metotlar; bir boyutlu momentum teorisi (aktuator disk modeli), rotor disk teorisi ve kanat elemanı momentumu teorilerinden ibarettir. Kanat elemanı momentumu teorisi BEM teorisi olarak da bilinmektedir ve küresel olarak kabul görmekte ve kullanılmaktadır. BEM teorisi, detaylı bir türbin tasarım yöntemine sahip olmakla birlikte, türbin üzerindeki kaldırma, sürüklenme ve itme kuvvetlerini, güç katsayısını, dönme hızı, burulma ve yunuslama (adım) açısının hesaplanmasında kullanılmaktadır (Manwell ve diğerleri, 2009; Hansen, 2008; Hau, 2006).

BEM teorisinde, kanat, birçok sanal parçalara bölünmekte, pervanenin sonsuz sayıda kanata sahip olduğu varsayılmakta ve türbin etrafında radyal akış dikkate alınmamaktadır. Her bir kanat elemanının kaldırma ve sürüklenme kuvvet ve katsayıları, o kanat elemanının iki boyutlu analizine bağlı olarak hesap edilmektedir. Nihai bağlamda, her bir kanat elemanının hidrodinamik kuvvet ve performansı, yinelemeli (iterative) olarak hesaplanmaktadır.

İdeal bir serbest akım türbininin ulaşabileceği maksimum verim Betz limit olarak bilinir. Betz limite göre, belli bir eksen etrafında dönen hidrokinetik veya rüzgâr türbinlerinde güç katsayısı teorik olarak en çok 0,593 olabilmektedir. Bu değer 59,3 % verime karşılık gelmektedir. Tipik-orta seviye hidrokinetik türbinlerin verimleri % 30 civarındadır. Profesyonel sistemlerde ise bu değer % 50'ye kadar çıkabilmektedir (Bahaj ve Myers, 2003; Mathew, 2006).

Hidrokinetik enerji ve rüzgâr türbinlerinde, üretilen güç aşağıdaki formül ile ifade hesaplanır:

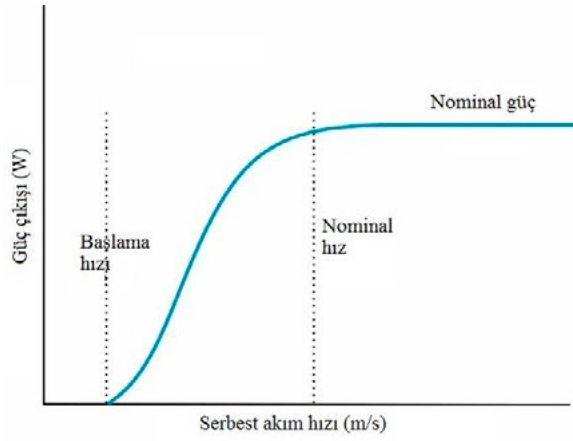
$$P=0.5\rho AU^3*\eta \quad (1)$$

Burada: P , toplam çıkış gücünü (W); ρ , akışkanın yoğunluğunu (kg/m^3); U , serbest akım hızını (m/s) ve η , toplam verimi ifade etmektedir.

Denklem 1'e dikkatli bakılırsa, üretilen gücün, serbest akım hızının küpü ile doğru orantılı olduğu görülecektir. Dolayısıyla, hidrokinetik sistemlerde, serbest akım hızı ne kadar çok tutulursa, üretilen enerji de o ölçekte daha fazla olacaktır.

Tipik bir hidrokinetik türbinin güç eğrisi Şekil 2'de verilmiştir. Buna göre her bir türbinin kendine has birer başlama ve nominal hızı vardır. Nominal hız değerinde ise, türbin maksimum güce ulaşır.

Türbin kanadı veya pervanesi dizayn etme işi, geniş parametreler kullanmayı gerektiren kompleks biri iştir. İdeal bir tasarım ortaya koyabilmek için, iyi bir optimizasyon algoritmasının kullanılması kaçınılmazdır. Türbin kanadı optimizasyon algoritmaları muhtemel şekiller üzerinde çalışarak, önceden tanımlanan sınır şartları içerisinde maksimum verim alınabilecek en iyi şekli seçmekte kullanılmaktadır (Yüce ve Muratoğlu, 2015).

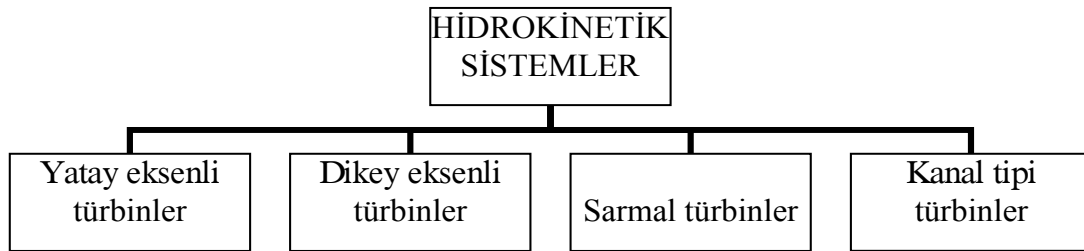


Şekil 2. Tipik bir hidrokinetik türbinin güç eğrisi

Teknoloji

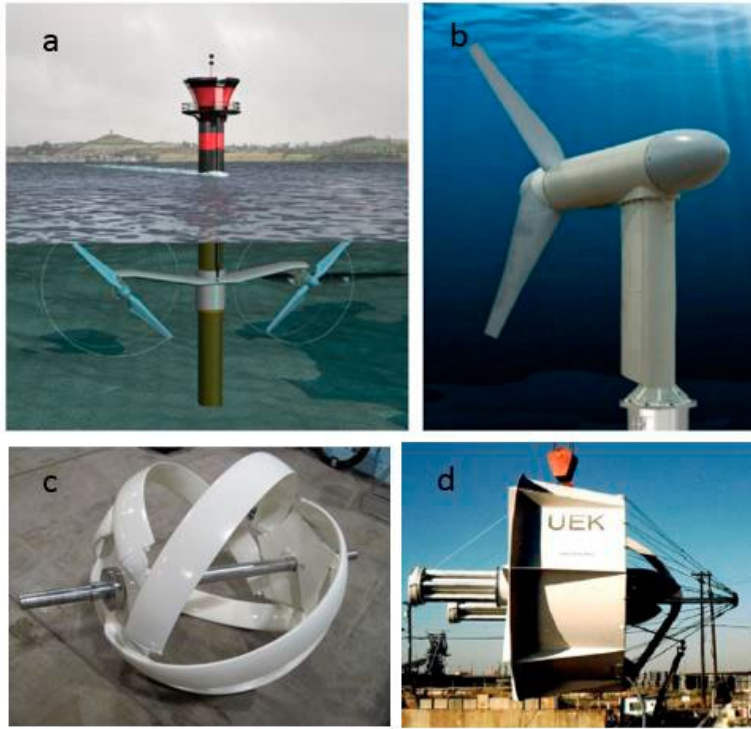
Son 20 yılda ortaya çıkan hidrokinetik enerji türbinleri, en yeni ve en hızlı gelişen yenilenebilir enerji teknolojileri kapsamına girmektedir. Dolayısıyla bilim insanlarına ve yatırımcılara cazip bir imkân sunmaktadır. Mevcut hidrokinetik türbinlerin çoğu hali hazırda ar-ge sürecindedir. Hidrokinetik endüstrisinde, 2013 yılı verilerine göre, 100'ü aşkın ürün mevcuttur (Copping ve diğerleri, 2013; Lewis ve diğerleri, 2011).

Serbest akım ile çalışan hidrokinetik türbinleri Şekil 3'te görüldüğü üzere sınıflandırılabilir. Piyasadaki mevcut bulunan ve özellikle profesyonel olan türbinlerin büyük çoğunluğu yatay eksenli olarak tasarlanmıştır. Bu türbinlerde serbest akım hızının yönü ve türbin pervanesinin etrafında döndüğü aks birbirine paraleldir. İlk dikey eksenli hidrokinetik türbin 1920'li yıllarda Darrieus tarafından tasarlanmıştır. Darrieus sistemlerinde hidrofoillerden oluşturulan birkaç adet kanadın dikey eksen etrafında dönmesi sağlanır. Yatay ve dikey eksenli türbinlerin 2, 3 veya daha çok sayıda kanada sahip olmak sureti ile tasarlanmaları mümkündür. 3'ten çok kanat sayısına sahip türbinler yüksek başlama torku gerektirmekte ve diğer türbinlere nazaran enerji kayıpları daha yüksektir (Rourke ve diğerleri, 2010; Kiho ve diğerleri, 1996).



Şekil 3. Hidrokinetik türbinlerin sınıflandırılması

En tanınmış yatay eksenli hidrokinetik türbinlerden ikisi SeaGen ve Verdant Power teknolojileridir. SeaGen (Şekil 4,a) türbini piyasadaki ilk ve en büyük kanat çapına sahip hidrokinetik türbindir. Bu sistemde her biri 18 m çapına sahip iki adet türbin, 21 m uzunluğundaki tek bir kuleye monte edilmiştir. Sistem, 2008 yılında İrlanda'nın Strangford bölgesinde kurulmuştur. Seagen türbinlerinin başlama ve nominal hızları sırasıyla 0.7 ve 2.4 m/s olarak rapor edilmiştir. Her iki pervanesinin nominal durumda çalışması ile 1.2 MW enerji üretilebilmektedir (Muratoglu, 2011; Seageneration ltd, 2014; Westwood, 2008).



Şekil 4. SeaGen (a) ve Verdant Power (b) türbinleri Lucid Energy (c) ve UEK (d, Underwater electric kite) türbinleri (Muratoglu, 2011; Muratoglu, 2015)

Verdant Power (Şekil 4,b) teknolojisi ise, ABD, New York'ta East River üzerine uygulanmıştır. Bu türbinler nispeten daha küçük pervane çapına sahiptir. Her bir kanadın uzunluğu 2.5 metre olup dönme hızı 40 rpm'dir. Sistemdeki başlangıç ve nominal hız değerleri sırasıyla 0.7 ve 2.2 m/s olarak verilmiştir. Bu türbin, 0.38-0.44 arasında değişen verime sahip olup, nominal şartlarda 35 kW enerji üretebilmektedir.

Sarmal türbinler, Darrieus tarzı türbinlerin kanatlarının kendi eksenleri etrafında döndürülmesi sonucu helik bir yapı kazandırılması ile oluşturulmuşlardır. İlk sarmal türbin, Gorlov tarafından, türbinlerdeki titreşim problemini çözmek üzere tasarlanmıştır. Sarmal türbinlerde, dönme eksenini, türbinin yerleştirilmesine bağlı olarak akıntı yönüne dik ve ya paralel olabilmektedir. Bu türbinlerin en önemli avantajı, her yönden gelen su akımını enerjiye dönüştürebilme özellikleri ve düşük akım hızlarında bile çalışabilmeleridir (Bahaj, 2011; Bedard ve diğerleri, 2010; Muratoglu, 2011). En modern sarmal türbin tasarımlarından birisi Lucid energy (Şekil 4,c) türbinidir. Bu türbinler, su akımının sağlandığı bir boru hattı içine belli aralıklarla monte edilmiştir. Bu teknoloji ile 1.5 m çaplı boru içerisine yerleştirilen türbinlerin 2.1 m/s su hızı ile çalışması sonucu 100 kW'a kadar enerji üretilebilmektedir. Bu sistemler belli bir oranda su yüksekliğini, kinetik enerjiye çevirmektedir (Lucid Energy, 2013).

Kanal tarzı türbinler (Şekil 4,d), türbin kanatları etrafındaki basıncın düşürülüp hızın artırılması sureti ile verimin Betz limit üzerine çıkartılması mantığında dayalı olarak çalışmaktadırlar. Dolayısıyla bu türbinlerde teorik güç katsayısı olan 0.59 (Betz limit) rahatlıkla aşılabilmektedir (Khan ve diğerleri, 2009; Kirke; 2005).

Tanınmış, literatürde sıkça karşılaşılan türbinlerin detaylı teknik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Bazı hidrokinetik türbinlerin teknik özellikleri (Yuce ve Muratoglu, 2015)

Türbin tipi	Boyutlar (m) *	Nominal güç (kW)	Nonimal hız (m/s)	Başlangıç hızı (m/s)	Kanat sayısı
Yatay eksenli türbinler					
SeaGen	18	1200	3.4	0.7	2
Verdant Power	5	35	2.2	0.7	3
Tidal Stream	20	1000-2000	-	1	2
TidEl System (çift pervane)	18.5	2x500	2.3	0.7	2
Hammerfest Strom	20	-	2.5	-	2
Tidal Stream Turbine	18	1000	3.5	2.5	3
Open hydro (çift pervane)	15	1520	2.57	0.7	Multi
Amazon AquaCharger	1.8	0.5	1.5	0.45	3
Dikey eksenli türbinler					
EnCurrent Hydro (Kanalsız)	16x0.8	12.5	4	2	Multi
Davis Hydro	6.1	250	3	1.5	4
Exim Tidal	1x3	44	2	0.7	2
Ponte Di Archimede	6x5	25	2	-	3
Sarmal türbinler					
GCK Gorlov	1x2.5	180	7.72	0.5	Multi
Lucid Energy	1,2,3	40-150-360	4.5	0.5	Multi
Kanal tipi türbinler					
UEK (Underwater Electric Kite)	4	400	3	1.54	Multi
Rotech Tidal	25	2000	3.1	1	Multi
Clean Current	18	1700-5000	3.5	1	Multi
EnCurrent Hydro	3x1	18	2.8	1.5	Multi
Clean Current	1.7, 2.9, 4	16,44,84	3	1.5	3
Hydroreactor Stream Accelerator	1,1.5,2	16,37,67	2.5	0	Multi

*Çarpı işareti ile ayrılan karakterler sırasıyla türbinin çap ve uzunluğunu göstermektedir. Virgül ile ayrılan değerler ise, aynı türbin teknolojisinin farklı boyutlarını ifade etmektedir.

Çevresel etkiler

Geleneksel hidroelektrik santral teknolojisi ile kıyaslandığında, hidrokinetik türbinlerin çevresel etkileri minimal düzeydedir. Fakat bu teknoloji henüz gelişme sürecinde olduğu için, çevresel etkileri hususunda araştırmalar sürmekte olup bilim adamları bir takım küçük çaplı etkiler üzerinde görüş birliğine varmışlardır. Türbin kanatları ve dönen diğer parçalar başta balıklar olmak üzere deniz ortamında yaşayan canlılara çarpmak sureti ile fiziksel zararlar verebilmekte ve deniz hayvanları, su altı kablolarına takılabilmektedir. Enerji nakil hatlarının etrafında oluşan elektromanyetik alan ve türbinin dönmesi sonucu oluşturduğu titreşim ve türbülans deniz canlılarını etkileyebilmektedir. Öte yandan, türbin parçalarının yağlanması için kullanılan kimyasallar, suyu kirletebilmektedir. Sudan enerji alınması sonucu, suyun doğal hidrolojik veya dinamik rejimi bozulabilmekte ve deniz trafiği ve balıkların göç etmesi bu cihazlar ile tıkanabilmektedir (Fraenkel, 2006; James ve diğerleri, 2010, Muratoglu, 2015).

Kullanılan teknolojinin türü bu cihazların çevresel etkileri hususunda önemli ölçüde belirleyicidir. Çevresel etkiler konusunda bilimsel çalışmalar hâlâ sürmektedir. Hidrokinetik teknolojilerin deniz ortamında işletmeye açılmadan önce gerekli laboratuvar çalışmaları ve özellikle HAD (hesaplamalı akışkanlar dinamiği) simülasyonları yapılırsa, çevresel etkiler daha açık bir şekilde görülebilecektir.

Çalışma ortamı ve montaj

Hidrokinetik türbinler, su altı yapıları olduğu için özellikle deniz ve okyanus ortamında, yüksek hidrodinamik yüklemelere maruz kalmaktadırlar. Özellikle sudaki tuz oranının yüksek olduğu durumlarda türbin parçalarının korozyona karşı dayanıklı olarak inşa edilmesi gerekmektedir. Öte yandan, nasele (nacelle) olarak adlandırılan ve jeneratör dişli, çark vs. mekanik aksamın bulunduğu kutu su geçirmez olarak dikkatlice tasarlanmalıdır. Deniz yosunu gibi lifli yapıların pervane kanatlarını kaplaması, türbin performansını önemli bir şekilde etkilemektedir (Bahaj ve Myers, 2003).

Nehir enerjisi dönüştürme sistemleri nispeten daha sakin bir ortamda çalışmaktadır. Buralarda, sudaki türbin etrafındaki basınç ve hız farklılıklarından meydana gelen taban aşınması ve dolayısıyla türbin performansındaki düşüşe özellikle dikkat edilmelidir. Nehir sedimantasyonunun türbin parçalarını tıkaması hususunda tedbirli olunmalıdır.

Son olarak, hidrokinetik türbinlerin en önemli ortam sorunlarından bir tanesi kavitasyon olayıdır. Türbin kanatlarının kavitasyona maruz kalmamaları için, henüz tasarım aşamalarında, gerekli çalışma ve testler yapılmalıdır. Özellikle, kavitasyona maruz kalmayacak bir kanat kesiti (hidrofoil) seçilmelidir. Türbinleri işletmeye açmadan önce yapılacak HAD (hesaplamalı akışkanlar dinamiği) çalışmaları, kavitasyon hususunda ön bir bilgi sağlamaktadır.

Tartışma ve sonuç

Hidrokinetik teknoloji, diğer yenilenebilir enerji sistemlerine nazaran yeni doğmuş bir alan olma özelliğini taşımaktadır. Akım (AED) ve dalga enerji dönüştürücü (DED) sistemler suyun doğal akış ortamında bulunan bir miktar enerjiyi, minimum çevresel etki ile elektrik enerjisine dönüştürmektedirler. Bu sistemlerin dezavantajlarının başında, düşük güç katsayıları, kavitasyon riski ve yüksek hidrodinamik kuvvet ve dengesizlikler gelmektedir.

Geleneksel HES yapıları ile kıyaslandığında, hidrokinetik türbinlerde genel olarak bir verim problemi bulunmaktadır. Büyük barajlarda toplam verim % 80-90 bandında olurken, serbest akım ile çalışan hidrokinetik türbinlerde bu değer teorik olarak % 59'u geçmemektedir. Fakat bu durum, türbin pervanesi etrafına kanal tarzı bir yapının inşa edilmesi ile aşılabilmektedir. Kanallı hidrokinetik türbinlerde kanat etrafındaki basınç düşürülmekte ve akım hızı artırılmaktadır. Zaten serbest akım hızının küpü ile doğru orantılı olan güç değeri bu durumda ciddi ölçüde artmakta ve Betz limit problemi kolaylıkla aşılabilmektedir. Aynı şekilde her yönden gelen su akımını değerlendirebildiği için sarmal türbinler de gelecek vadetmektedir. Özellikle kanal tipi ve sarmal türbinler konusundaki yakın gelecekte daha fazla bilimsel çalışmalar yapılmalıdır.

Hidrokinetik türbin teknolojisi henüz yeni bir teknoloji olduğu için, bu sistemlerin aydınlatılmayı bekleyen yanları bulunmaktadır. Su ortamındaki hidrodinamik yüklerin türbinlere zarar vermesi, düşük verim değeri, kavitasyon, gürültü, titreşim ve diğer çevresel etkiler gibi problemlerin ileriki yıllarda çözüleceği ve bu teknolojinin daha cazip hale geleceği düşünülmektedir. Bu teknoloji, özellikle elektrifikasyonun sağlanamadığı, nakil hatlarından uzak, az gelişmiş bölgelerde ve teknik ömrünü tamamlamış baraj ve su yapılarında değerlendirilebilmesi hususunda önem kazanmaktadır. Bu konularda daha fazla bilimsel ve teknik çalışma yapılmalı, enerji problemi yaşadığımız bu günlerde, suya gömülü olan bu potansiyel görmezden gelinmemelidir.

Kaynaklar

- AMEC Environment and Infrastructure UK Ltd. (2012). Carbon trust UK wave energy resource.
- Bahaj AS, Myers LE. (2003). Fundamentals applicable to the utilization of marine current turbines for energy production. *Renewable Energy*, **28**, 2205–2211.
- Bahaj AS. (2011). Generating electricity from the oceans. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **15**, 3399–3416.
- Bedard R, Jacobson PT, Previsic M, Musial W, Varley R. (2010). An overview of ocean renewable energy technologies. *Oceanography*, 23(2), 22–31.
- Copping A, Hanna L, Whiting J, Geerlofs S, Grear M, Blake K., et al. (2013). Environmental Effects of Marine Energy Development around the World for the OES Annex IV. Available at: http://www1.eere.energy.gov/water/pdfs/annex_iv_report.pdf. Accessed March 2013.
- Crowe CT, Elger DF, Williams BC, Roberson JA. (2009). Engineering Fluid Mechanics. USA: Wiley.
- EPRI (Electric Power Research Institute). (2012). Assessment and mapping of the riverine hydrokinetic resource in the continental United States. USA.
- Fraenkel PL. (2007). Marine current turbines: pioneering the development of marine kinetic energy converters. *Journal of Power and Energy*, **220(A)**, 159–169.
- Galarraga I, González-Eguino M, Markandya A. Handbook of sustainable energy. USA: Edward Elgar Publishing Ltd.; 2011.
- Güney MS, Kaygusuz K. (2010). Hydrokinetic energy conversion systems: a technology status review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **14**, 2996–3004.
- Hansen MOL. (2008). Aerodynamics of wind turbines. 2nd edition. Earthscan.
- Hau E. (2006). Wind turbines, fundamentals, technologies, application, economics. 2nd edition. United Kingdom: Springer.
- James SC, Seetho E, Jones C, Roberts J. (2010). Simulating environmental changes due to marine hydrokinetic energy installations. Publications of Oceans 2010 Conference. (20-23 September 2010). Seattle, Washington.
- Khan MJ, Iqbal MT, Quaicoe JE. (2008). River current energy conversion systems: progress, prospects and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **12**, 2177–2193.
- Khan MJ, Bhuyan G, Iqbal MT, Quaicoe JE. (2009). Hydrokinetic energy conversion systems and assessment of horizontal and vertical axis turbines for river and tidal applications: A technology status review. *Applied Energy*, **86**, 1823–1835
- Kiho S, Shiono M, Suzuki K. (1996). The power generation from tidal currents by darrieus turbine. *Renewable Energy*, **9(1)**, 1242–1245.
- Kirke B. (2005). Developments in ducted water current turbines. Available at: http://www.cyberiad.net/library/pdf/bk_tidal_paper25apr06.pdf. Accessed April 2013.
- Lago LI, Ponta FL, Chen L. (2010). Advances and trend in hydrokinetic turbine systems. *Energy for Sustainable Development*, **14**, 287–296.

Lewis A, Estefen S, Huckerby J, Musial W, Pontes T, Torres-Martinez J. Ocean energy. In: Edenhofer O, Pichs-Madruga R, Sokona Y, Seyboth K, Matschoss P, Kadner S, Zwickel T, Eickemeier P, Hansen G, Schlomer S, von Stechow C, editors. IPCC special report on renewable energy sources and climate change mitigation. Cambridge, United Kingdom and New York,

Lucid Energy. (2013). Lucid Energy Inc. Available at: <http://www.lucidenergy.com/>. Accessed March 2013.

Manwell JF, McGowan JG, Rogers AL. (2009). Wind energy explained: theory, design and application. 2nd edition. Wiley.

Mathew S. (2006). Wind energy; Fundamentals, resource analysis and economics. Netherlands: Springer.

Muratoğlu A. (2011). Assessment of Tigris river hydropower potential. (Dissertation). University of Gaziantep.

Muratoğlu A. (2015). Design and simulation of a riverine hydrokinetic turbine. Ph.D. thesis dissertation. Gaziantep University.

Nicholls-Lee RF, Turnock SR, Boyd SW. (2008). Simulation based optimization of marine current turbine blades. 7th International Conference on Computer and IT Applications in the Maritime Industries (21 - 23 Apr 2008, COMPIT'08), Liège, Belgium.

Ozturk M, Bezir NC, Ozek N. (2009). Hydropower-water and renewable energy in Turkey: sources and policy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **13**, 605-615.

Rourke FO, Boyle F, Reynolds A. (2010). Marine current energy devices: Current status and possible future applications in Ireland. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **14**, 1026–1036.

Seageneration (2013). Seageneration ltd Available at: <http://www.marineturbines.com/SeaGen-Products/SeaGen-S>. Accessed March 2013.

Soerensen HC, Weinstein A. (2008). Ocean energy: positions paper for IPCC. Key note paper for the IPCC Scoping Conference on Renewable Energy. Lübeck, Germany.

Twidell J, Weir T. (2006). Renewable energy resources. 2nd edition. Taylor and Francis.

Yates N, Walkington I, Burrows R, Wolf J. Tidal energy from UK coastal waters. National Oceanography Centre; 2013.

Yüce MI, Muratoğlu A, (2015). Hydrokinetic energy conversion systems: A technology status review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 43, 72-82.

Westwood A. SeaGen installation moves forward. *Renewable Energy Focus* 2008;9(3):26–7.