

Utilization of River Flows and Vertical Axis Hydrokinetic Turbines

Mukrimin Sevket Guney
Giresun University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering
guney80@gmail.com

Birkut Guler
Giresun University, Vocational School of Technical Sciences

Abstract

The reduction of fossil sources of energy and rising energy prices are accelerating the search for alternatives and optimum use of available resources is gaining importance. The mountainous structure of our country and the abundance of the rivers expose the country's hydroelectric energy potential. Energy present in river runoffs or other artificial water channels can be used as a renewable energy source. Hydrokinetic turbines, in particular, are used to produce electricity from the kinetic energy of water flowing in rivers as a good renewable energy alternative in rural areas and in the electrically deprived areas of the country.

Keywords: Renewable energy, River flows, Hydrokinetic, Turbine.

Nehir Akışlarından Yararlanma ve Düşey Eksenli Hidrokinetik Türbinler

Özet

Fosil enerji kaynaklarının azalması, enerji fiyatlarının yükselmesi alternatif arayışlarını hızlandırmaktadır ve eldeki kaynakların optimum kullanımı önem kazanmaktadır. Ülkemizin dağlık yapısı ve nehir sayılarının fazlalığı hidrokinetik enerji potansiyelini ortaya çıkarmaktadır. Nehir akıntılarında veya diğer suni su kanallarında bulunan enerjiden yenilenebilir enerji kaynağı olarak faydalanılabilir. Özellikle hidrokinetik türbinler, kırsal kesimde ve gelişmiş ülkelerin elektrikten yoksun bölgelerinde iyi bir yenilenebilir enerji alternatifi olarak, nehirlerde akan suyun kinetik enerjisinden elektrik üretmek üzere kullanılmaktadırlar.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir enerji, Nehir akışı, Hidrokinetik, Türbin

1.Giriş

Fosil yakıtların olumsuz çevre emisyon etkileri ve giderek tükenmeleri, enerji kaynakları konusunda alternatif seçeneklerin yoğun biçimde değerlendirilmesini gerektirmektedir. Bu manada enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi ve mevcut kaynakların daha efektif kullanılabilmesi önem arz etmektedir. Türkiye'nin ortalama yükseltisi 1132 m'dir. Genel olarak ülkemizde yükselti, batıdan doğuya ve kıyılardan iç kesimlere doğru artmaktadır ve ülkemizin iklim koşullarını da etkilemektedir. Yükseltinin artmasına bağlı olarak kıyı bölgelerinden iç kısımlara, batıdan doğuya doğru sıcaklıklar azalmaktadır (frmartuklu.org). Dağlık arazi yapısı ve çetin kış koşulları önemli debiler taşıyan birçok

nehirler ülkemizden doğup akmasını sağlamaktadır. Bu nehirlerin birçoğunda su biriktirme barajları ve hidroelektrik santralleri mevcuttur veya yapılmaktadır. Daha fazla uygun baraj alanları yaratılmak bu konudaki önemli zorlukların başında gelmektedir. Ayrıca baraj yapılan alanlarda verimli tarım arazileri de kullanılamaz hale gelmektedir. Fiziki olarak baraj yapılamayan da birçok alan bulunmaktadır. Bu nedenlerle suyu biriktirmeksizin akan suyun enerjisinden yararlanmak ve bunları nitelikli ve kullanılabilir enerjilere dönüştürmek gereksinimleri hasıl olmaktadır. Bu teknoloji aslında rüzgar türbinlerinde mevcuttur.

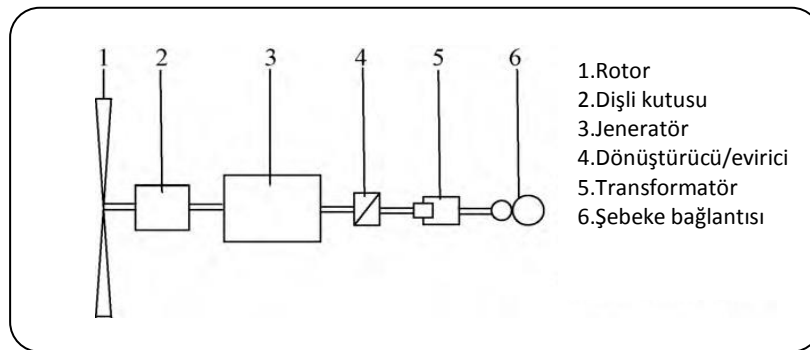
Su akışlarını daha nitelikli bir biçim olan elektrik enerjisine dönüştürebilmek için rüzgar türbinlerine benzer biçimde elektromekanik bir enerji dönüştürücü yapıya gereksinim bulunmaktadır. Bu yöntemle suyun kinetik enerjisinden yararlanılmaktadır (Khan ve ark., 2008).

Hidrokinetik türbinler, gelişmekte olan ülkelerdeki kırsal alanları ve gelişmiş ülkelerin elektriğe erişimi olmayan uzak bölgeleri için düşük maliyetli, yenilenebilir bir enerji kaynağı olma potansiyeline sahiptir. Büyük ölçekli elektrik sağlamak için uygun olmamakla birlikte küçük ve orta ölçekli uygulamalar için iyi bir seçenek yaratmaktadır. Hidrokinetik cihazlar, su çarkları gibi, yüzyıllar boyunca var olmuştur. Su çarkları, değirmenlerde çeşitli ürünlerin öğütülmesi, parçalanması veya ezilmesi için yaygın olarak kullanılan hidrokinetik enerji çekme cihazlarının ilk türüdür. Bunlar bir nehir ya da hareketli bir su kaynağına yerleştirilmişlerdir ve bir su değirmenine enerji sağlayıcı olarak kullanılmışlardır. Enerji santralleri inşa edildiğinde, hidrokinetik cihazlar daha az popüler hale gelmiş ve dağıtılan elektrik enerji talebi karşılanmıştır. (Tanier –Gesner ve ark., 2014)

Hidrokinetik türbinler, dönüştürme sistemleri ve hesap yöntemleri rüzgar türbinlerine benzemektedir. Bir başka deyişle, hidrokinetik türbinler gerekli önlemler alınmak suretiyle rüzgar türbinlerinin su içinde kullanılmış olanlarıdır. Hidrokinetik türbinler yatay ve düşey eksenli olarak ayrılmaktadır. Düşey eksenli olanların su derinliğine bakılmaksızın her türlü nehirde ve akış kanallarında kolaylıkla gerçekleştirilmesi mümkün olabilmektedir. Bu çalışmada nehir akımlarında kullanılabilecek düşey eksenli hidrokinetik türbinler tanıtılacak, sınıflandırılacak ve kullanımlarıyla ilgili bilgiler verilmeye çalışılacaktır.

2. Materyal ve metod

Su akıntılarındaki kinetik enerji öncelikle bir hidrokinetik türbin vasıtasıyla mekanik dönüş hareketine çevrilmekte ve bunu takiben bir jeneratör vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüştürülebilmektedir. Hidrokinetik enerjiden elektriksel güç eldesini sağlayan sistemin şematik görünümü Şekil 1 de verilmektedir (Güney ve Kaygusuz, 2010).



Şekil 1. Su akışı kinetik enerjisini dönüştürme sistemi prensip görünümü(Principle view of water flow kinetic energy conversion system) (Güney ve Kaygusuz, 2010)

Nehirlerdeki sediment yapısı su akış hızlarında yavaşlamalara neden olmaktadır. Sulama kanalları benzeri beton veya benzeri malzemeden akış kanalları yapılmasıyla su akış hızlarında önemli artışlar ortaya çıkabilecektir. Açık kanallardaki akışın hesaplanmasında çoğunlukla Manning bağıntısı kullanılmaktadır. Bu bağıntı ile açık kanaldaki su debisi aşağıdaki gibi hesaplanabilmektedir (fsl.orst.edu 2017).

$$Q = VA = \left(\frac{1.49}{n} \right) AR^{\frac{2}{3}} \sqrt{S} \quad [\text{U.S.}]$$

$$Q = VA = \left(\frac{1.00}{n} \right) AR^{\frac{2}{3}} \sqrt{S} \quad [\text{SI}]$$

Burada

Q = Akış oranı, (ft³/s)

v = Hız, (ft/s)

A = Akış Alanı, (ft²)

n = Manning Pürüzlülük Katsayısı

R = Hidrolik Çap, (ft)

S = Kanal Eğimi, (ft/ft)

Görüldüğü gibi su debisi önemli ölçüde kanal eğimine (S) ve yüzey pürüzlülük katsayısına (n) bağlıdır. Bunların yanı sıra hidrolik çapta önem arz etmektedir.

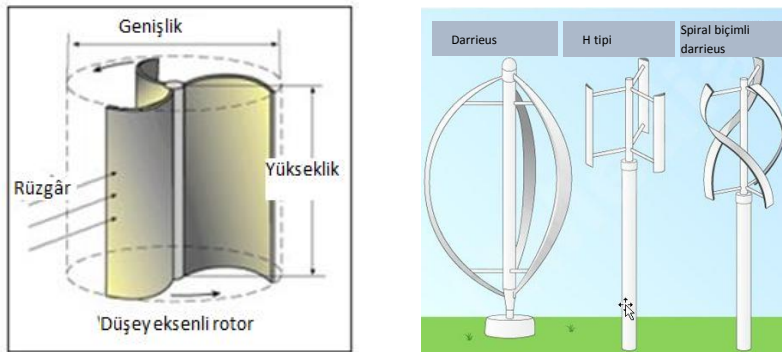
Hidrokinetik türbinlerde küçük su kızıllarıyla enerji dönüşümü mümkündür. Ancak kayda değer enerji elde edebilmek için genellikle 1 ila 2 m / s arasında su akış hızları olması beklenmektedir (Yavuz ve ark., 2011). Su akıntılarını nehir, gelgit, okyanus/deniz ve sulama kanalı/insan yapısı akış kanal akıntıları biçiminde dört grupta sınıflandırabilmek mümkündür (Güney ve Kaygusuz, 2017; hgenergy.com) Nehir ve yapay kanallar içindeki akış ülkemiz açısından önem arz etmektedir. Bu akışların dönüştürülebilirleri düşey ve yatay eksenli türbinlerle olabilmektedir (uaf.edu). Dikey ve yatay türbin türlerinin arasındaki önemli fark, türbin pervanesinin tahrik prensibindedir. (anew-institute.com). Herhangi bir yüzeye gelen akışkan akışı ile iki tarz aerodinamik kuvvet oluşmaktadır. Bunlar sırasıyla hava akış yönündeki sürünme (drag) forces ve hava akışına dik yöndeki kaldırma kuvvetidir. Tasarımın ve türbinin tarzına göre bu kuvvetlerin biri veya her ikisi birden tahrik kuvveti olarak kullanılabilir (people.bu.edu). Düşey eksenli kinetik türbinlerde dönme eksenleri rüzgar/su akış yönüne dik ve düşeydir ve bu türbinlerin kanatları da düşeydir. Bu tarz türbinler akışı her yönden kabul edebilmektedir, dolayısıyla yön takip etme mekanizmasına gereksinimleri yoktur (emo.org.tr).

2.1 Düşey eksenli türbinler (Vertical axis turbines)

Düşey eksenli rüzgar türbinleri düşük rüzgar hız seviyelerinde üretim yapabilirler. Ancak dişli kutusu maliyetleri ve bakımları daha masraflı olabilmektedir. Ayrıca yüksek moment değerleri söz konusu olmaktadır. Türbin kanatlarının düşey konumlu olmalarından dolayı üst noktalar ile alt noktadaki rüzgar hızları farklı değerlere sahiptir (ursi.org.tr).

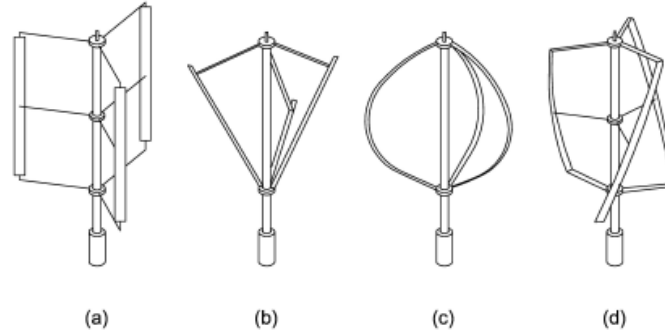
Sürünme (drag) tabanlı ve kaldırma (lift) tabanlı olmak üzere iki tür düşey eksenli türbin tasarımı bulunmaktadır. Sürünme tabanlı Savonius tasarımında, kanat üzerindeki sürünme kuvveti rotor (çark) üzerinde net bir tork üretir. Sürünme tabanlı türbinlerin genellikle aerodinamik verimlilikleri düşüktür. Kaldırma tabanlı Darrieus tipi düşey eksenli türbinler ise, çarkın yüksek açısız hızlarında Betz sınırına kadar yüksek verimlilik değerleri gösterebilmektedir (fens. sabanciuniv.edu). Darrieus tipi türbinlerde sabit kanat ve ayarlanabilir kanatlı yapımlar da olabilmektedir.

Şekil 2 a ve b kısmında sırasıyla da sürünme tabanlı Savonius tarzı bir türbinin ve muhtelif Darrieus tarzı türbin varyasyonlarının şematik görünümü verilmektedir (re.energybel.by)



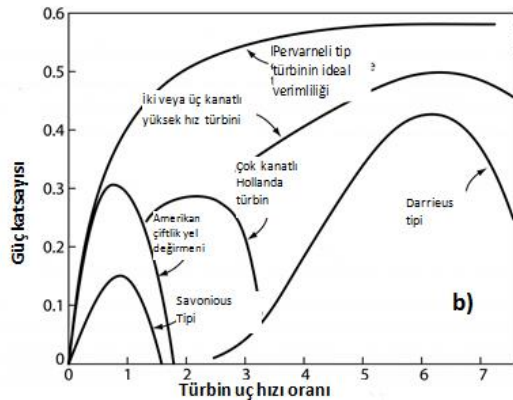
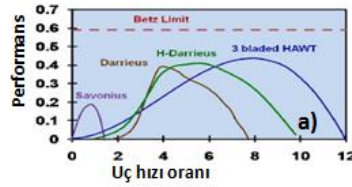
Şekil 2. Savonius tarzı düşey eksenli türbin prensip görünümü (re.energybel.by)
a) Savonius türbini b) Muhtelif Darrieus tarzı türbinler

Battisti tarafından yapılan bir çalışmada, Darrieus tarzı düşey eksenli rüzgâr türbinlerin dört farklı yapımla olabildiği belirtilmektedir. Bunlar sırasıyla H-tipi, V-tipi, Troposkien tipi ve Gorlov tipi türbinlerdir ve Şekil 3 te gösterilmiştir (Battisti, 2012)



Şekil 3. Darrieus tarzı düşey eksenli kinetik türbin varyasyonları
a) H-Tip, b) V-tip, c) Troposkien tip, d) Gorlov helisel tip (Battisti, 2012)

Battisti ve arkadaşları tarafından yapılan bir başka çalışmada muhtelif kinetik türbinlerin performans katsayıları verilmektedir Şekil 4 a kısmında verilmektedir (Battisti ve ark., 2016; people.bu.edu, 2017)
Şekli 4 b kısmında ise bir başka çalışmadaki kinetik türbinlerin performans katsayıları değişimleri verilmektedir [14].



Şekil 4. a) Farklı türdeki rüzgâr türbinleri için Kinetik performans katsayıları değişimi (Battisti ve ark., 2016; people.bu.edu, 2017)b) Muhtelif türbin dizaynına göre güç katsayıları değişimi

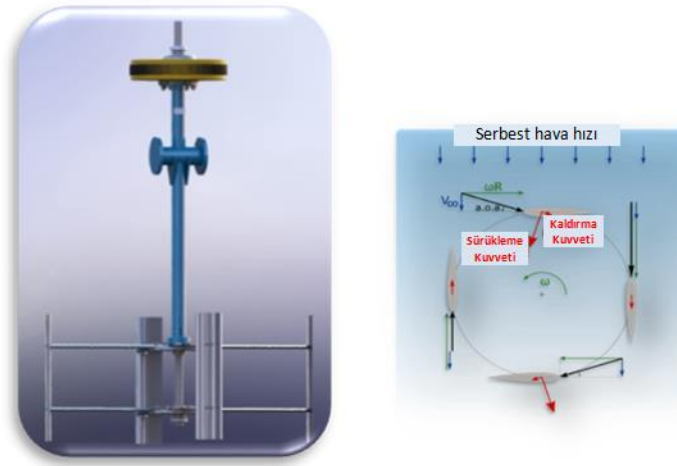
Düşey eksenli türbinlerin uygulamada karşılaşılan ve çeşitli kuruluş ve araştırmacıların üzerinde yoğun olarak çalıştıkları ve kısmen ticari ölçülere ulaşabilenleri H-Tip (çapraz akışlı), Tropostien/Darrieus ve Gorlov helisel türbinlerdir. Ayrıca, Darrieus ve Savonius tarzı türbinlerin tek bir gövdede kombinasyonlu yapımda denemiştir. Takip eden kısımlarda bunlarla ilgili bilgiler ayrı bölümler halinde verilmektedir.

2.1.1 Savonius tip türbin

Savonius tarzı türbin çarkının temel itici gücü, gelen akışa bakan bir içbükey yüzey ile akışa bakan aynı geometrinin dışbükey bir yüzeyi arasındaki sürtünme kuvveti farkıdır. Bu sürüklenme farkı tork üretmekte ve türbin milinin dönmelerini sağlamaktadır (İsmail ve Batalha 2015). Düşük rüzgar hızlarında iyi başlangıç karakteristiklerine sahip olması, yapımının kolay ve ucuz olması, rüzgarın yönünden bağımsız olması ve kendi kendine ilk harekete başlaması gibi birçok üstünlüklere sahip olan Savonius tarzı dikey eksenli türbinler, aerodinamik performansları düşük olduğundan uygulama alanları; havalandırma, su pompalama gibi alanlarla sınırlı kalmıştır (emo.org.tr). Sistemde kullanılan kanat formları elde edilen gücü doğrudan etkilemektedir (İsmail ve Batalha 2015). Son yıllarda yapılan Savonius tarzı türbinin aerodinamik performansın geliştirilmesi yönünde çalışmalarda yapılmaktadır (phys.org)

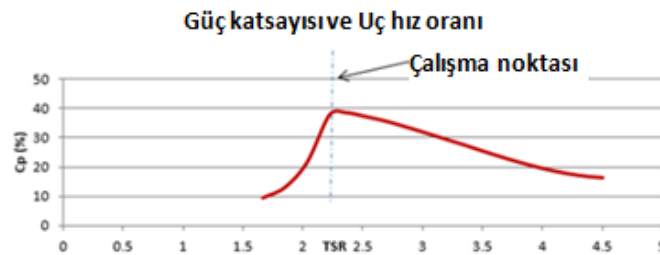
2.1.2 H-tip türbin

Bu tarz türbinler Savonius türbininden esinlenerek geliştirilmişlerdir ve bazen Savonius rotor olarak da adlandırılmaktadır. İmalatları ve montajları oldukça kolaydır. Sistem prensip görünümü Şekil 5 te verilmektedir (newenergycorp.ca)



Şekil 5. Çapraz akışlı türbin dönüşüm prensibi (newenergycorp.ca).

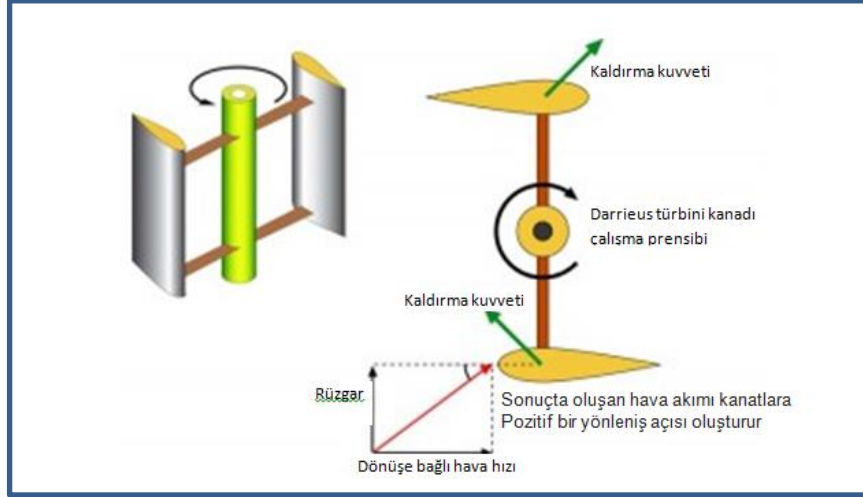
Darrieus tarzı türbinler aerodinamik kaldırma (lift) prensibiyle çalışmaktadır. Türbin rotoru su akımı içine yerleştirildiğinde, hidrofoliyolar ileri yönde bir kaldırma kuvveti vektörü üretmekte ve sonra da şaftı döndürmektedir. Hidrofoliyolar, kaldırma oluşturmak için gerekli doğrultuda girip çıkmaktadır ve böylece tork her devirde ikiye katlanabilmektedir. Dönme eksenini dik olduğundan türbin, su akımının yönüne bakılmaksızın aynı yönde döner, tipik olarak su akışındaki enerjinin% 30 ila% 40'ını yakalayabilmektedir. Türbin su hızının 2 ila 2,5 katı kadar düşük bir hızda döndüğünden sudaki balık gibi canlıların yaşam riskini en aza indirmektedir (newenergycorp.ca). Sistemin performans katsayısı tip hız oranına bağlı olarak şekil 6'daki gibi değişmektedir (phys.org)



Şekil 6. Güç katsayısının tip hız oranıyla değişimi

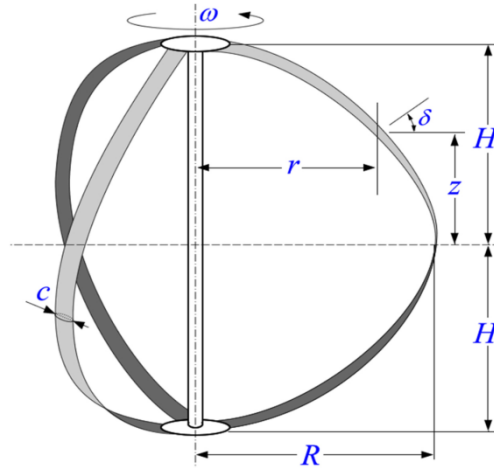
2.1.3 Troposkien (Darrieus) tip türbin

Darrieus tarzı türbinler aerodinamik kaldırma (lift) prensibiyle çalışmaktadır. Aerodinamik kaldırma ise hava folyoları seti vasıtasıyla oluşturulmaktadır. Hava folyoları ise gerçekte türbinin kanat formları vasıtasıyla oluşmaktadır. Oluşan bu hava folyoları ise türbinin oluşan rüzgar hızından daha yüksek elektrik eldesine uygun hızlara çıkabilmesini sağlamaktadır. Bu hava folyoları hava içinde ileriye doğru hareket ettiğinde bir atak açısı oluşmakta, bu ise türbin şaftının dönmesini sağlayan pozitif bir tork üretmekte ve türbinin dönmeye devam etmesini sağlamaktadır, (Şekil 7) (energybeta.com)



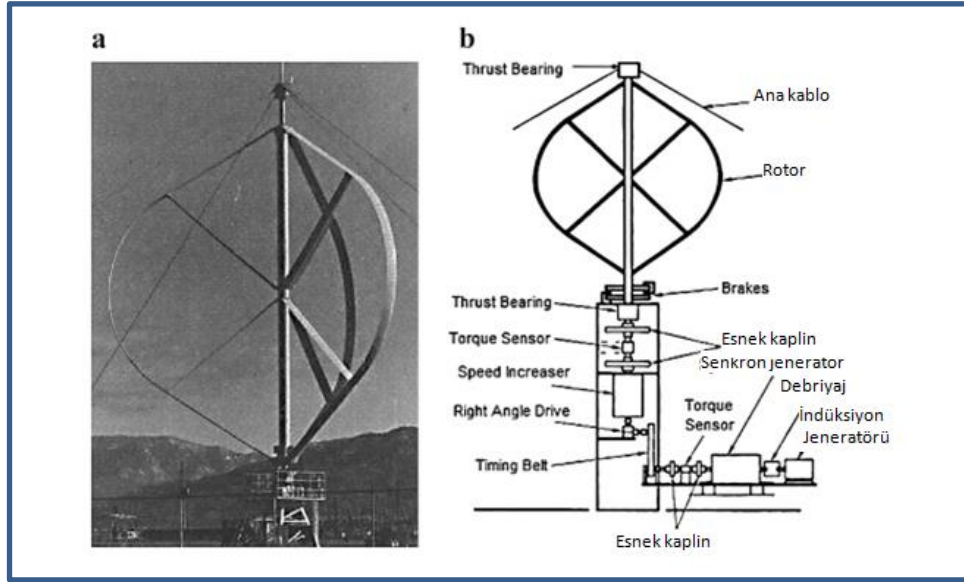
Şekil 7. Darrieus türbininin konseptsel görünümü (energybeta.com)

Bu tarz türbinler iki veya daha fazla kanatlı olarak imal edilebilmektedir ve bu kanatlar döner şafta bağlanmaktadır. Üç kanatlı bir Darrieus tarzı kinetik türbinin prensip görünümü aşağıda Şekil 8 de verilmektedir (Tchakoua ve ark., 2015). Ayrıca Tchakoua ve arkadaşları tarafından 2015 yılında yapılan bu çalışmada (Tchakoua ve ark., 2015). Darrieus tarzı türbinlerdeki güç eldesine yönelik modelleme ve matematiksel hesablama yönelik yeni bir yaklaşımda verilmektedir.



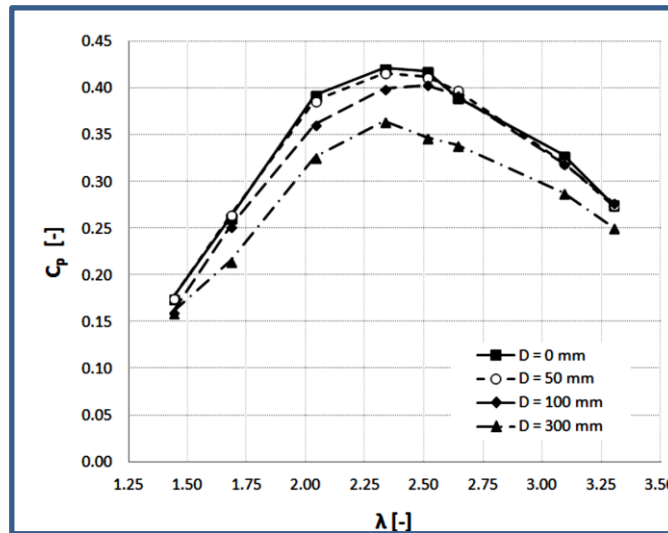
Şekil 8. Üç kanatlı Troposkien (Darrieus) tarzı türbin prensip görünümü (Tchakoua ve ark., 2015).

Şekil 9 da ise Troposkien (Darrieus) tarzı türbin sisteminin ekipman yerleşimiyle birlikte prensip görünümü verilmektedir. (Tiju ve ark., 2015).



Şekil 9. Troposkien (Darrieus) türbin sistemi yerleşim ve ekipmanlı prensip görünümü (Tiju ve ark., 2015)

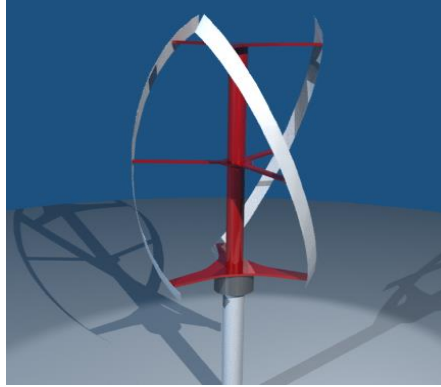
Troposkien (Darrieus) türbin performansları rotor çapına göre değişimleri incelenmiş ve Şekil 10 da verilmiştir. (Chigliaro, 2013, ; tesi.cap.unipd.it)



Şekil 10. Darrieus türbin performansları rotor çapına göre değişimleri (Chigliaro, 2013)

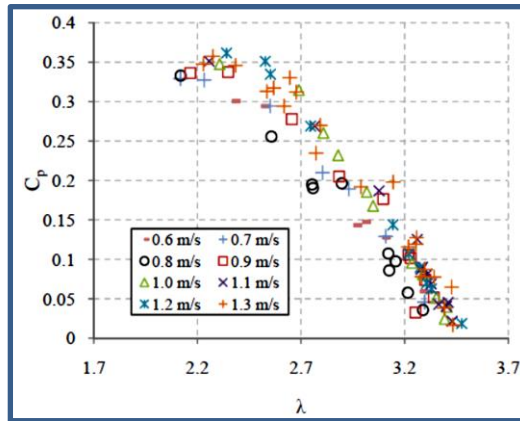
2.1.4 Gorlov helisel tip türbin

Gorlov helisel türbinleri hidrokinetik enerji dönüşümleri yapabilmek için Darrieus türbininden esinlenerek tasarlanmıştır ve helisel kanatlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma prensibi Darrieus türbinine benzer biçimdedir. Kanatların eksen boyunca kıvrılması suretiyle oluşturulan helisel yapı aynı zamanda tork eğrisinin daha düzgün yapıda oluşmasını sağlamaktadır (revolvly.com). Şekil 11 de Gorlov tarzı helisel türbinin prensip görünümü verilmektedir.



Şekil 11. Gorlov tarzı helisel türbin prensip görünümü (symscape.com)

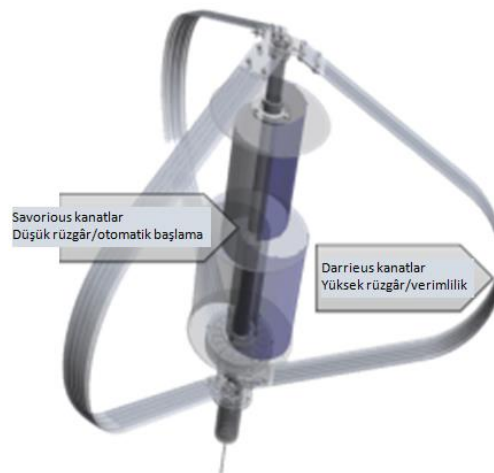
Gorlov helisel türbinlerin su içinde kullanımlarında performans katsayıları % 20 ile %35 aralığında oluşmaktadır (epo.org). Bu tarz türbinde oluşan performans katsayısı değişimi Şekil 12 de verilmektedir (tethys.pnnl.gov)



Şekil 12. Gorlov helisel türbin performans katsayısı (tethys.pnnl.gov)

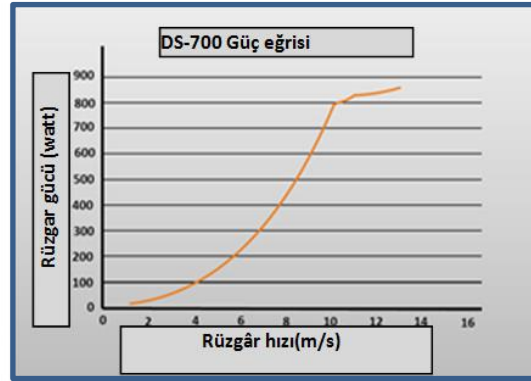
2.1.5 Darrieus-Savonius tarzı kanatların tek gövdede uygulanması

Tek başına kullanılan Darrieus tarzı türbinlerdeki kendiliğinden enerji üretmeye başlayamama sorununa ve Savonius tarzı türbinlerdeki düşük performans değerlerine çözüm bulmaya yönelik olarak tek gövdeye entegreli bileşik yapı tasarımı yapılmıştır. (Şekil 13) (hivawt.com.tw)



Şekil 13. Tek gövdede Darrieus ve Savonius tarzı kanatlı türbin uygulanması prensip görünümü (hivawt.com.tw)

Bu yaklaşım ile rüzgâr gücünün elektrik enerjisine dönüştürülmesinde rüzgâr alanı daha efektif kullanılarak sistem performans değerleri artırılabilir (Şekil 14) (hi-vawt.com)



Şekil 14. Darrieus-Savonius kombinasyonlu türbinin rüzgâr hızı güç eğrisi (hi-vawt.com)

3. Tartışmalar ve Sonuç

Hidrokinetik enerji dönüşüm sistemleri rüzgâr enerjisi dönüşüm sistemlerine çok benzemektedir. Rüzgâra göre güç tahminleri daha öngörülebilir sistemlerdir. Özellikle değirmen kanalları gibi hidrokinetik kanallar oluşturmak suretiyle elektrik enerjisine dönüştürülebilme imkânları artırılabilir. Hidrokinetik kanallarda bir yandan su hızları normal nehir sediment yapılarına kıyasla çok daha hızlı olurken, diğer yandan su akış rejimleri de daha denetlenebilir ve öngörülebilir hale getirilebilir. Bu ise istenen frekans ve voltaj değerlerinin daha basit yöntemlerle tutturulabilmesini sağlayacaktır.

Hidrokinetik enerji dönüşüm sistemleri yatay veya düşey eksenli türbinler kullanarak yapılabilmektedir. Düşey eksenli türbinlerin türbin çarkları dışındaki diğer tüm kısımları su seviyesinin üstünde tutulabilmektedir. Bu ise daha kolay yöntemlerle elektrik üretilebilmesi imkanını yaratmaktadır ve ilk yatırım maliyetlerinin düşmesini sağlamaktadır. Ayrıca hidrokinetik kanalların daha girişlerinde balık ve diğer nehir canlıları için giriş engelleyici önlemler kolaylıkla alınabilecektir. Düşey eksenli türbinlerin ulaşabildikleri en yüksek performans katsayıları yatay eksenlilerden bir miktar düşük görünmektedir. Ancak nehir kenarında oluşturulacak hidrokinetik kanallarda oluşacak su hızlarını belirleyebilmek mümkündür ve bu hızlarla oluşacak TSR değerlerinin uygun aralıklarına gelecek biçimde düşey eksenli türbinlerden uygun olanını seçmek suretiyle uygulamada daha yüksek performans katsayılarına ulaşabilmek mümkündür. Makale yazarlarının görüşlerine göre montajları, bakımları ve ilk yatırım maliyetleri bakımından avantaj arz etmeleri beklenmelidir.

Referanslar

Battisti L. Gli impianti motori eolici, Battisti Editore, (2012)

F. Tanier-Gesner, C. Stillinger, A. Bond, P. Egan, and J. Perry, "Design, build and testing of a hydrokinetic H-Darrieus turbine for developing countries" PES General Meeting Conference & Exposition, IEEE, pp. 1-5, 2014.

Green power technology comparison, www.hgenenergy.com 06.04.2010 ,

<https://www.frmartuklu.org/konu/t%C3%BCrkiyenin-ortalama-y%C3%BCkseltisi-ka%C3%A7-metredir.258534/> 18.07.2017.

http://www.fsl.orst.edu/geowater/FX3/help/8_Hydraulic_Reference/Manning_s_Equation.htm 10.07.2017

<https://www.frmartuklu.org/konu/t%C3%BCrkiyenin-ortalama-y%C3%BCkseltisi-ka%C3%A7-metredir.258534/> 18.07.2017.

http://www.uaf.edu/files/acep/State_of_the_Art_Hydrokinetic.pdf 10.07.2010

<http://www.anew-institute.com/darrieus-wind-turbines.html> 11.07.2017

<http://people.bu.edu/dew11/liftanddrag.html> 10.07.2017

http://www.emo.org.tr/ekler/4986d86a17424ee_ek.pdf 18.07.2017

http://www.ursi.org.tr/2014_Kongre/bildiriler/TAM_107.pdf 18.07.2017

<http://fens.sabanciuniv.edu/tr/energy-research-in-fens/vertical-axis-wind-turbines> 11.07.2017

<http://re.energybel.by/en/renewable-energy-technologies/wind/#!/prettyPhoto> 12.07.2017

<http://people.bu.edu/dew11/turbineperformance.html> 11.07.2017

<https://phys.org/news/2016-05-savonius-turbine-captures-cities.html> 18.07.2017

<http://www.newenergycorp.ca/technology.html> 10.07.2017

<http://www.energybeta.com/windpower/windmill/wind-power-from-the-darrieus-wind-turbine/>
11.07.2017

http://tesi.cab.unipd.it/45196/1/Tesi_completa_-_Micol.pdf 12.07.2017

https://www.revolv.com/topic/Gorlov%20helical%20turbine&item_type=topic 11.07.2017

http://www.symscape.com/blog/vertical_axis_wind_turbine 12.07.2017

<http://www.epo.org/learningevents/european-inventor/finalists/2011/gorlov.html> 11.07.2017

<https://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/Bachant-and-Wosnik-2011.pdf> 11.07.2017

http://www.hivawt.com.tw/en/feature_benefit.html 12.07.2017

<http://www.hi-vawt.com.tw/en/ds700w.html> 12.07.2017

K. A. Ismail and T. P. Batalha, “ A comparative study on river hydrokinetic turbines blade profiles”. Int. Journal of Engineering Research and Applications ,Cilt 5, Issue 5, (Bölüm -1) pp.01-10 (2015).

L. Battisti, A. Brighenti, E. Benini and M. R. Castelli “Analysis of Different Blade Architectures on small VAWT Performance”. In Journal of Physics: Conference Series, Cilt 753, No. 6, p. 062009, (2016)

M. S. Güney, and K. Kaygusuz, Hydrokinetic energy conversion systems: A technology status review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Cilt 14(9), 2996-3004, (2010).

M. Chigliaro, “Effect of shaft diameter on darrieus wind turbine performance” , Enginnering faculty, University of Padova, Lecutre notes.(2013).

M. J. Khan, M. T. Iqbal, and J. E. Quaicoe “River current energy conversion systems: Progress, prospects and challenges”. Renewable and Sustainable Energy Reviews”, Cilt 12(8), 2177-2193, (2008).

P. Tchakoua,, R. Wamkeue, M. Ouhrouche, T. A. Tameghe and G. Ekemb, “A new approach for modeling Darrieus-type vertical axis wind turbine rotors using electrical equivalent circuit analogy: Basis of theoretical formulations and model development” Energies, Cilt 8(10), 10684-10717. (2015).

T. Yavuz, B. Kilkis, H. Akpınar, O Erol. "Performance analysis of a hydrofoil with and without leading edge slat". Proceedings of the 10th International Conference on Machine Learning and Applications and Workshops, (Cilt 2), p. 281-285, DOI:10.1109/ ICMLA.2011.113. (2011).

W. Tjiu, T. Marnoto, S. Mat, M. H. Ruslan and K. Sopian, "Darrieus vertical axis wind turbine for power generation I: Assessment of Darrieus VAWT configurations". Renewable Energy, Cilt 75, 50-67. (2015).