

EŞLİ OLARAK ÇALIŞAN DÜŞEY EKSENLİ RÜZGAR TÜRBİNLERİ VE FIRSAT PENCERESİ

İskender Kökey¹, Ziya Haktan Karadeniz², Alpaslan Turgut³, Sercan Acarer⁴

¹Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı

²İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü,

³Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü,

⁴İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü

¹iskender.kokey@xgen.com.tr, ²zhaktan.karadeniz@ikc.edu.tr, ³alpaslan.turgut@deu.edu.tr, ⁴sercan.acarer@ikc.edu.tr

ÖZET

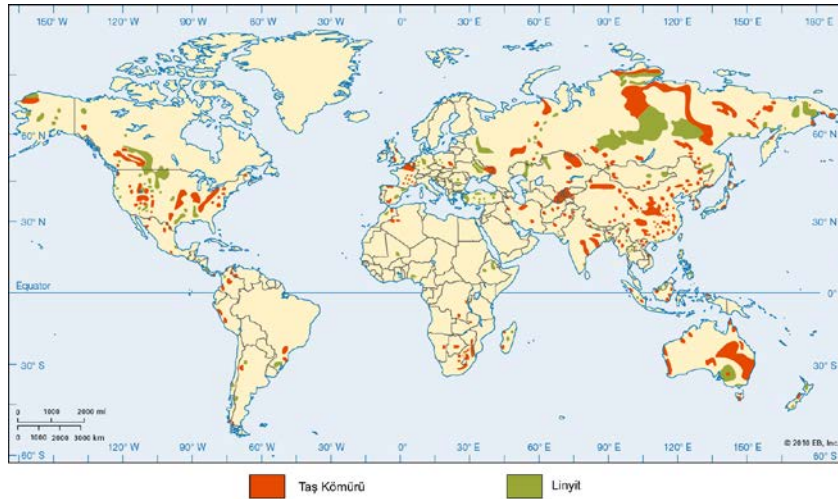
Rüzgar enerjisine olan talebin artması ve gelişen teknoloji ile birlikte yatay eksenli rüzgar türbinlerinin (YERT) süpürme alanları, kule, kanat yükseklikleri ve dolayısıyla türbin başına üretebilecekleri güç her geçen gün artmaya devam etmektedir. Bu gelişim, üretim, nakliye, kurulum, işletme ve bakım gibi süreçlerde de birçok problemi beraberinde getirmektedir. Ayrıca, birden çok YERT'in bir arada kullanılması ile oluşturulan rüzgar enerji santrallerinin (RES) önemli bir problemi ise artan kanat çapları nedeniyle her bir YERT'in oluşturduğu gölge etkisini en aza indirmek için iki türbin arasında bırakılması gereken alandır. YERT'lerin birbirleriyle olan etkileşimlerini en aza indirerek rüzgar enerjisinden maksimum faydalanmak için hakim rüzgar hızı doğrultusunda 6-10 kanat çapı, hakim rüzgar hızına dik doğrultuda ise 3-5 kanat çapı boşluk bırakılarak konumlandırılmaları gerekmektedir [1][2]. Bu durum, santral sahasında birim taban alanı başına üretilebilecek gücün metrekaare başına 3~5W aralığında sınırlanmasına neden olmaktadır. Diğer taraftan son yıllarda artarak devam eden akademik çalışmalar, düşey eksenli rüzgar türbinlerinin (DERT) eşli ve gruplar halinde kullanılması ile oluşturulan RES'lerdeki güç yoğunluğunun, YERT'ler kullanılarak oluşturulan RES'lere göre 3-4 katına çıkabileceğini göstermiştir [4]. Bu bildiri kapsamında, son yıllarda akademik çalışmalarda oluşan bu hareketlilik incelenmiş ve bu akademik çalışma sonuçlarının sektöre etkileri irdelenmiştir. 1990 yılından günümüze kadar yapılan akademik çalışmalar incelendiğinde özellikle son 10 yıllık dönemde, düşey eksenli rüzgar türbini çalışmalarının sayısında hızlı bir artış olduğu görülmüştür[5]. Bu akademik yayınlara rağmen hala DERT'lerin enerji soğurma mekanizmaları ve eşli çalışmaları durumundaki enerji etkileşimleri tam olarak açıklanabilmiş değildir. Bu çalışmada ayrıca güncel literatür ışığında ortaya çıkan yerli teknoloji geliştirme fırsatları değerlendirilmiş, yerli imalat fırsatının Türkiye'nin ihracatına koyabileceği katma değer vurgulanmıştır. Diğer taraftan akademik incelemelere konu olabilecek yeni çalışma alanlarına değinilmiştir. Ayrıca DERT'lerin, YERT'ler ile oluşturulmuş mevcut santral sahalarından daha fazla enerji üretilmesini sağlayacak şekilde kullanılmasının önünü açacak, çalı-ağaç kavramı tanıtarak RES'lere sağlayacağı avantajlar belirtilmiştir.

1. GİRİŞ

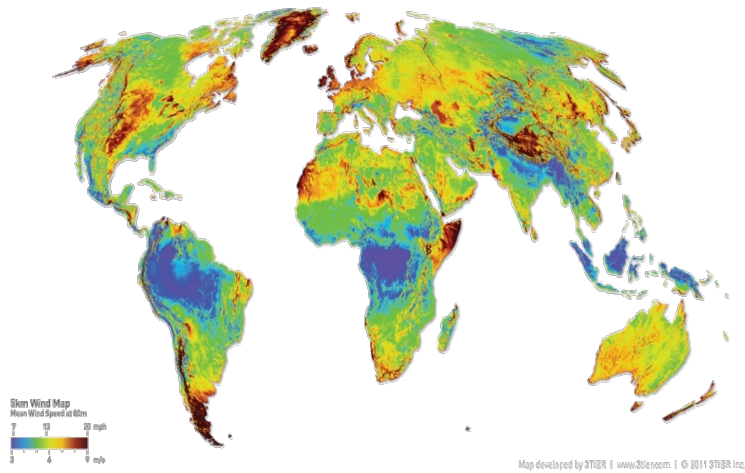
Fosil kaynakların tükendiği gerçeğinin gün yüzüne çıkması ile birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi her geçen gün artmaya devam etmektedir. Arz güvenliğinde yaşanan bu sorunun yanı sıra talep tarafındaki artış da devam etmekte dolayısı ile sürdürülebilir bir enerjiye

olan ihtiyaç sadece kaynağın tükenmesinden kaynaklı olarak değil aynı zamanda talepteki artışın sürekli olmasıyla da ortaya çıkmaktadır. Diğer taraftan her geçen gün artan politik riskler ve savaş tehditleri, enerji bağımsızlığı ve arz güvenliğini hiç olmadığı kadar önemli kılmıştır.

Yenilenebilir enerji kaynakları ile fosil temelli enerji kaynaklarını birçok açıdan kıyaslamak mümkün iken yaşanan bu gelişmeler ışığında, kaynağa erişilebilirlik açısından karşılaştırmak yerinde olacaktır. Global rezerv haritası Şekil 1’de sunulmuş, tipik bir fosil enerji kaynağı olan kömür ele alındığında yeryüzünün sadece %5’lik kısmında konumlanmış olduğu görülmektedir[7]. Bunun karşısında ise Şekil 2’de görüldüğü gibi yeryüzünün hemen her noktasında erişilebilir durumda olan, sürdürülebilir ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olan rüzgar enerjisi ile yer kürenin enerji ihtiyacının 20 katından daha fazlası, 250 trilyon Watt’lık bir güç elde etmek mümkündür[8]. 19. yy’ın ikinci yarısından bu yana, sanayi devriminin etkileri ile merkezîyetçi ve büyük kapasiteli üretim stratejilerinin sektöre yansması olarak, tek noktadan büyük güçler üretmek üzere yürütülen yoğun çalışmalar, her geçen gün artan kanat çapları ve kule yükseklikleri olarak kendisini göstermektedir. Ancak tüm gelişmelere rağmen, kurulu rüzgar gücünün çok sınırlı kalması, mevcut teknolojinin rüzgar enerji potansiyelini faydalı işe çevirmekte yetersiz kaldığını ortaya koymakta ve bu sebeple rüzgar enerjisinden yararlanma yönteminde yeni bir bakış açısına ihtiyaç duyulmaktadır.



Şekil 1. Yeryüzündeki kömür rezervlerinin dağılımı [6].

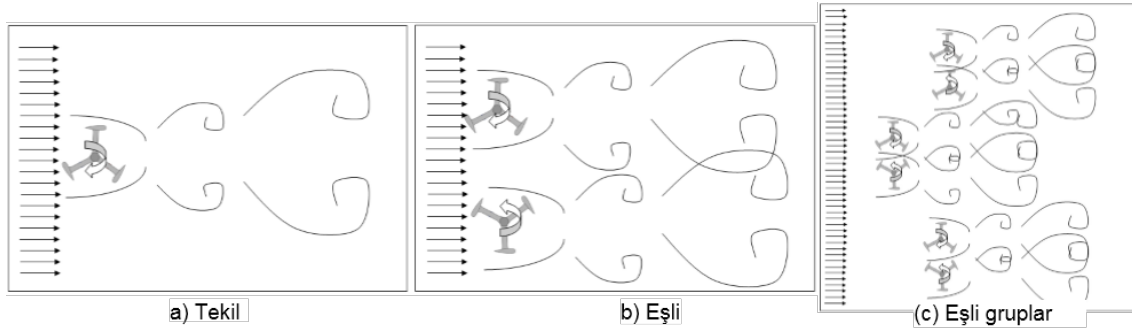


Şekil 2. Global ortalama rüzgar hızı haritası [Copyright © 3Tier Inc.]

2. RÜZGAR ENERJİ SANTRALLERİNDE TABAN ALANI BAŞINA GÜÇ YOĞUNLUĞU

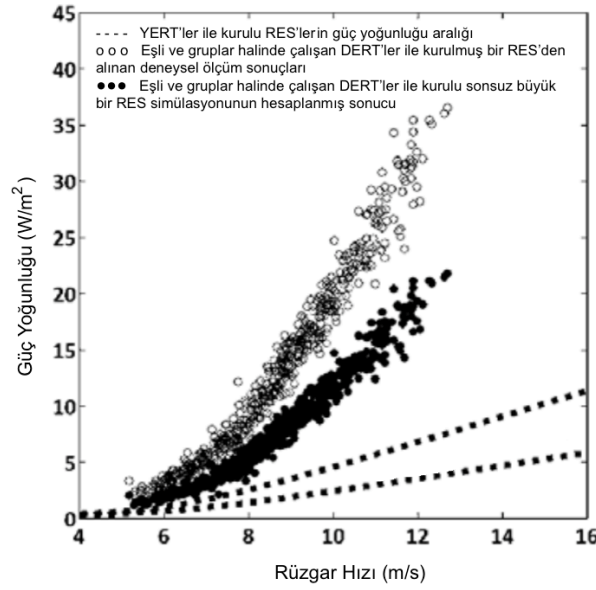
Günümüzde enerji üretimi için YERT'ler kullanılmakta ve birden fazla YERT'in aynı sahaya yerleştirilmesi ile RES'ler kurulmaktadır. Her ne kadar gelişen teknoloji ve üretim teknikleri ile YERT'lerin göbek yükseklikleri ve kanat çapları hızla artmaya devam etse bile, bu artış beraberinde bir takım uygulama sorunlarını da getirmektedir. Boyutları artan YERT'lerin üretimi, proje sahasına nakliyesi, montajı gibi operasyonel zorlukların yanı sıra, birbirleri ile olan etkileşimlerinin minimuma indirilmesi için iki YERT arasında bırakılması gereken boşluk da artmaktadır. Artan kapasitedeki RES'ler için gerekli kullanım alanının artması ise YERT'ler ile kurulmuş RES'lerin çevresel ve sosyal etkilerini de tartışma konusu haline getirmektedir. Diğer taraftan RES'lerin atmosferik akış içerisindeki kinetik enerjiyi soğurarak, serbest rüzgar hızını düşürdüğü bilinmektedir. Akışın sürdürülebilir olarak devam etmesi, atmosferin üst tabakalarından daha alt tabakalarına kinetik enerji transferi ile mümkün olmaktadır. Bu durum büyük ölçekli RES'lerin soğurabileceği kinetik enerjinin ancak belirli bir limite kadar mümkün olacağını göstermektedir. Miller ve arkadaşları 2015 yılında yaptıkları çalışma ile bu limitin $1W/m^2$ ile sınırlı olacağını göstermişlerse bile şu an için modern RES'lerin taban alanı başına güç yoğunluğunun $3 - 5 W/m^2$ mertebelerinde olduğu bilinmektedir[4][9].

DERT'ler ise farklı şekillerde uygulama alanları Şekil 3'de görülebileceği gibi sahada tekil olarak kullanılabilecekleri gibi eşli olarak da konumlandırılabilirler. Ayrıca birden çok eşli DERT'in bir arada gruplar halinde de kullanılması mümkündür.



Şekil 3. Tekil, eşli ve eşli gruplar halinde çalışan DERT'lerin şematik yerleşim planı ve art izi oluşumu

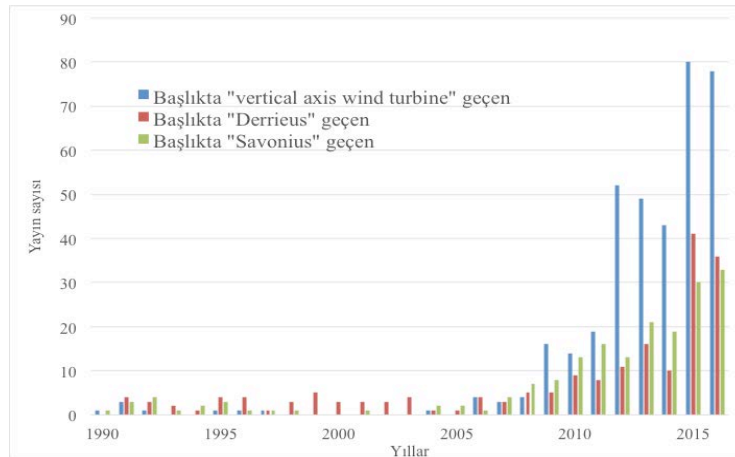
Yapılan çalışmalar, dikey eksenli Darrieus tipi rüzgar türbinlerinin *eşli* şekilde çalıştırılıp, *gruplar* halinde sahaya konumlandırılması ile oluşturulan RES'lerde taban alanı başına güç yoğunluğunun YERT'ler ile kurulan modern RES'lere oranla 3 – 4 kat daha fazla olduğunu göstermiştir. Şekil 4 ile görülebilecek bu çarpıcı sonuç, aynı santral sahasına 3 – 4 kat daha fazla güç kurulabileceğini ve taban alanı başına güç yoğunluğunun $20 W/m^2$ 'ye kadar yükseltilebileceğini ortaya koymaktadır [4].



Şekil 4. YERT'ler ile kurulmuş günümüz modern RES'leri ile eşli ve gruplar halinde çalışan DERT'ler ile kurulmuş RES'lerde oluşan güç yoğunluğu. ([4]'den uyarlanmıştır)

3. DÜŞEY EKSENLİ RÜZGAR TÜRBİNLERİ'NDE AKADEMİK VE SEKTÖREL FIRSATLAR

DERT'ler üzerine yapılan akademik çalışmalar 1930'lara kadar ulaşmasına rağmen 1990'lardan itibaren az sayıda üretilen yayımla belirgin hale gelmiş, 2009 yılı sonrasında ise yoğun bir gelişim göstermiştir. Web of Science veri tabanı üzerinde yapılan bir araştırmada başlığında "Vertical axis wind turbine", "Darrieus" ve "Savonius" terimleri geçen yayın sayılarının yıllara bağlı değişimi incelenmiş ve 2009 yılı itibariyle yaşanan hızlı gelişme ortaya konulmuştur (Şekil 5) [5].

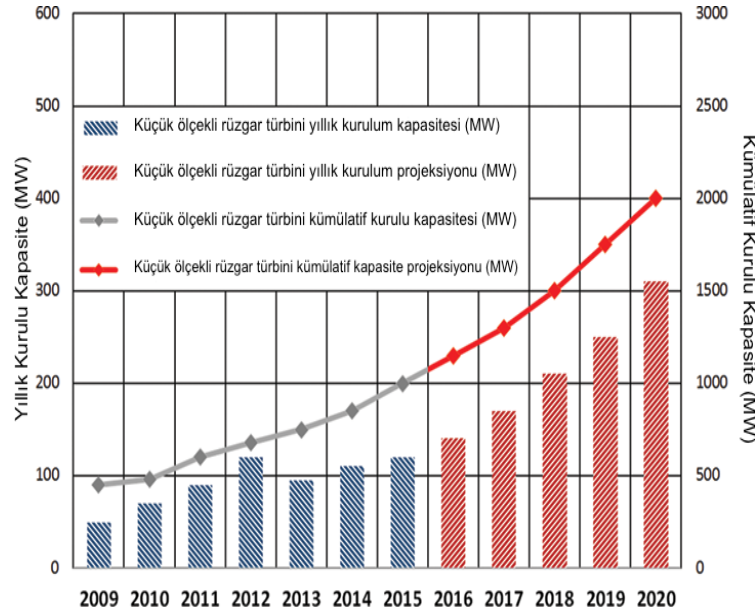


Şekil 5. DERT'lere ait yayınların yıllara bağlı değişimi.

DERT'lerin çalışma durumlarında oluşan akış şartları, YERT'lere göre çok daha karmaşık ve incelenmesi güçtür. Son yıllarda oluşan akademik hareketliliğin bir sebebinin bu karmaşık akış analizlerini hızlı ve ekonomik olarak gerçekleştirebilecek bilgisayar teknolojisinin gelişmesi olduğu düşünülebilir. Diğer taraftan tüm bu gelişmelere rağmen literatürün DERT'ler hakkında halen kısıtlı içeriğe sahip olması, bu konuda akademik düzeyde çalışmak isteyen bilim ekipleri için motivasyon kaynağı oluşturmaktadır.

Kentsel ve kırsal alanlarda kullanılan türbinler genel olarak küçük ölçekli rüzgar türbini (100 kW altı) sınıfındadır. Dünya Rüzgar Enerjisi Birliğinin 2015 küçük ölçekli rüzgar türbini Pazar raporunda (2015) üreticilerin çoğunun (%74) sadece YERT tasarımına odaklandığı, %18'lik kısmının sadece DERT tasarımı yaptığı ve %6'lık kısmının da her iki teknolojiye odaklandığı raporlanmıştır. Kentsel bölgelerde rüzgar enerjisinden elektrik üretiminde mevcut durum incelendiğinde kullanılan türbinlerde beklenenden düşük enerji üretimi olduğu görülmüştür [10][11]. Bunun bir nedeni; çevresel etkenlerin değişkenliği nedeniyle rüzgar enerjisi potansiyelinin düzgün tahmin edilememesi ve türbinlerin doğru konumlandırılmamasıdır. Diğer bir neden ise karmaşık rüzgar davranışlarına uygun türbin tasarlanmamasıdır [12]. Ayrıca kullanılan küçük ölçekli türbinler için kapsamlı standartların ve güvenilir karakterizasyon yöntemlerinin olmaması da bu konuda etkilidir [13]. Bu nedenle, yerleşim yerlerinde kullanılacak türbinlerin doğru tasarlanması önemlidir. Kentlerde genel olarak rüzgar hızları açık alanlara göre daha düşüktür ve türbinlerde dengesiz yükler oluşturan türbülans yoğunluğu daha fazladır. Ayrıca binaların çevresinde yerel olarak yüksek hızlı akış bölgeleri oluşabilir [14]. Bu nedenlerle kentlerde ve kırsal alanlarda DERT kullanımının daha uygun olduğu ve daha düşük gürültü seviyelerine sahip olduklarından kullanıcılar tarafından tercih edildikleri belirtilmektedir [15][16]. Tüm bu gelişmeler ışığında büyümeye devam eden küçük ölçekli rüzgar türbini pazarının Şekil 6'da görülebileceği gibi 2020 yılına kadar küresel kurulu gücünü iki katına çıkartarak 2000MW'a ulaşması beklenmektedir. Global küçük ölçekli rüzgar türbini pazarının %26'lık kısmı düşey eksenli rüzgar türbinlerinden oluşmasına rağmen pazar incelendiğinde yaygın servis ağına sahip, kendisini ispatlamış ve global olarak marka değerine ulaşmış düşey eksenli küçük rüzgar türbini üreticisinin bulunmadığı görülmektedir [17]. Önümüzdeki süreçte hızla büyümesi beklenen küçük ölçekli rüzgar türbini pazarında rekabetin görece daha zayıf ve pazarın bakir olduğu düşey eksenli küçük rüzgar türbinleri, KOBİ ölçeğinden başlayarak her büyüklükteki sanayici için büyük bir fırsat olarak gözükmekte, yüksek ihracat potansiyeli ile ülke ekonomisine katkı sağlayabilecek, uluslararası düzeyde rekabet gücüne sahip ve ulusal marka yaratılabilecek niş bir pazar fırsatı olarak görülmektedir.

Üretim teknolojilerinin hızla değişmesi ve 3B yazıcı teknolojisinin bir üretim tekniği olarak kendisini ispatlaması ile birlikte standart seri ve standart üretimden daha çok ihtiyaca yönelik tasarımların ön plana çıktığı ve üretildiği bir döneme geçilmektedir. Bu yeni dönemde üretilebilirlik kavramı önemini yitirmekte, ihtiyaca yönelik olarak geliştirilen mühendislik tasarımları ise daha önemli hale gelmektedir. Farklı coğrafyalarda, farklı rüzgar ve saha karakteristiklerinde sürekli yüksek verim noktasında çalışacak ve sahaya özel olarak tasarım parametreleri belirlenmiş düşey eksenli rüzgar türbinlerinin üretilmesi, yeni üretim teknolojilerin yaygınlaşması ile birlikte mümkündür. Mühendislik tasarımlarının daha fazla ön plana çıktığı, probleme uygun çözümlerin üretildiği bu yeni dönemde DERT pazarının hızla gelişmesini beklenmektedir.

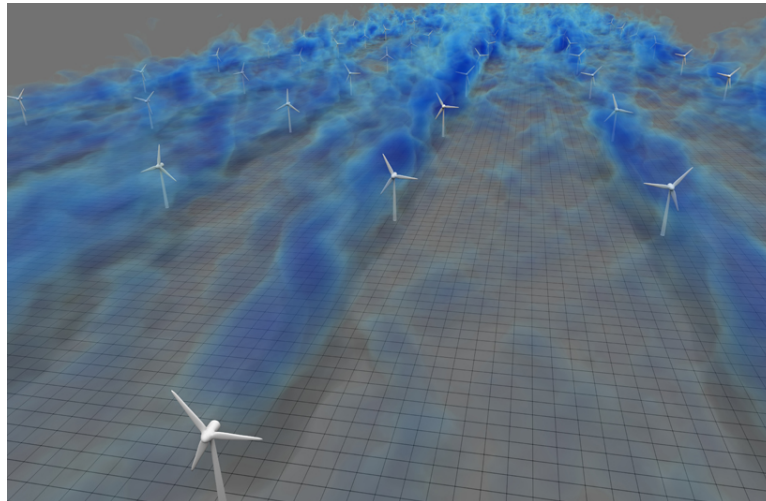


Şekil 6. Küçük ölçekli rüzgar türbini kurulu güç projeksiyonu [17]

4. RÜZGAR ENERJİ SANTRALLERİNDE ÇALI – AĞAÇ KONSEPTİ

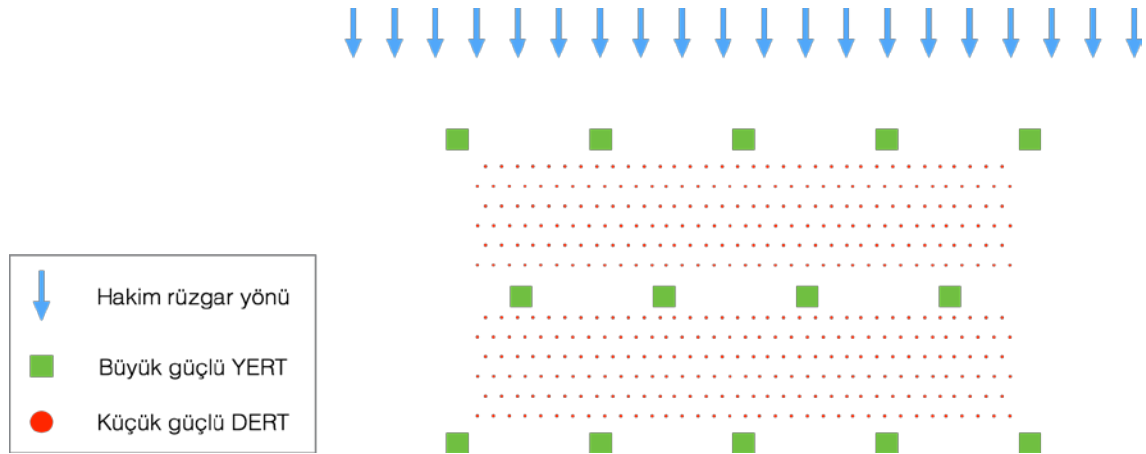
YERT'ler ile kurulmuş mevcut RES'ler içerisindeki her türbinin arkasında oluşan gölge etkisi nedeniyle türbinler arasında geniş alanlar boş olarak tutulmaktadır. Yüksek enerji yoğunluğuna sahip santral sahalarında büyük alanlar bu sebeple değerlendirilememektedir.

YERT'ler ile kurulmuş bir RES'de türbinlerin art alanında oluşan türbülanslı akışın bir sonraki sırada yer alan türbinin giriş alanındaki akışı bozmaması ve türbinler arasındaki etkileşimin minimum olması istenmektedir. Bu amaçla tipik bir santral sahasında YERT'ler hakim rüzgar hızı doğrultusunda 6-10 kanat çapı, hakim rüzgar hızına dik doğrultuda ise 3-5 kanat çapı boşluk bırakılarak konumlandırılmaları gerekmektedir [3][4]. Kanat çapları ve kule yükseklikleri her geçen gün artan YERT'ler dolayısı ile çok büyük boş alanlardan oluşan RES sahalarına sahip olmaktadır (Şekil 7).



Şekil 7. YERT'ler ile kurulu bir RES'de gölge etkisi simülasyonu [18]

Büyük güçlü YERT'lerin kule yükseklikleri 85m – 150m arasında değişirken küçük güçlü DERT'lerin kule yükseklikleri 10 – 15m aralığında değişmektedir. YERT'ler ile kurulu RES'lerde bulunan boş sahalara, türbinlerin akış alanlarını etkilemeyecek şekilde DERT kurulumları gerçekleştirilerek santralin aynı taban alanında çok daha yüksek kurulu güçlere ulaşması sağlanabilir. Şekil 8 ile şematik şekilde gösterilmiş olan, 2004 yılında Robert Nason Thomas tarafından patentlenmiş, büyük güçlü YERT'ler ile küçük güçlü DERT'lerin bir arada kullanıldığı RES konseptine *çalı-ağaç RES* adı verilmektedir [19]. Çalı – ağaç konsepti ile yüksek rüzgar potansiyeline sahip sahalarda YERT'ler kullanılarak kurulmuş mevcut işletmedeki santrallerin güçleri arttırılabileceği gibi, yeni projelendirilen RES sahalarda daha yüksek güçlere erişebilmek mümkündür.



Şekil 8. Çalı-ağaç konseptine sahip bir RES sahasının şematik gösterimi.

5. SONUÇ

1990'lerden itibaren yapılan akademik çalışmalar incelendiğinde DERT'ler hakkında yapılan yayınların son 10 yıl içerisinde parabolik olarak arttığı görülmektedir. Gerek bilgisayar teknolojisindeki gelişim gerekse rüzgar enerjisinden yararlanma yöntemlerinin çeşitlendirilmesine olan ihtiyaç bu gelişmenin motivasyonunu oluşturmaya rağmen literatür halen kısıtlı bir içeriğe sahiptir. Rüzgar enerjisi üzerine akademik olarak çalışmak isteyen bilim grupları için DERT'lerin hala bakir bir alan olduğu söylenebilir.

Global küçük ölçekli rüzgar türbini pazarı büyümeye devam etmesine rağmen kendisini ispat etmiş, yaygın satış ve servis ağına sahip bir DERT üreticisi bulunmamaktadır. Yüksek ihracat potansiyeli ile ülke ekonomisine katkı sağlayabilecek, uluslararası düzeyde rekabet gücüne sahip bir ulusal markanın yaratılabileceği DERT pazarı niş bir alan olarak yerli ürün geliştirme fırsatları sunmaktadır.

DERT'lerin proje sahalarda eşli çalışacak şekilde gruplar halinde kurulması ile oluşturulacak RES'lerin, geleneksel yöntem olan YERT'ler ile kurulu RES'lere oranla 3-4 kat daha fazla birim taban alanı başına kurulu güce sahip olduğu görülmüştür. Özellikle son yıllarda artan güçleri nedeniyle çok daha büyük kule yüksekliği ve kanat çapına sahip YERT'ler ile kurulu

santral sahalarında gölge etkisini minimize etmek için iki türbin arasında bırakılması gereken boş alanlar DERT'ler ile değerlendirilebilir. Bu sayede işletmedeki santrallerin performanslarını düşürmeden kapasitelerini arttırabilecek dolayısı ile aynı santral sahasından çok daha fazla güç üretililecek *çalı-ağaç* konseptindeki santrallerin geliştirilmesi mümkündür.

Sunulan eşli çalışan Düşey Eksenli Rüzgar Türbini (DERT) yaklaşımı, geleneksel rüzgar türbini gelişim sürecinden (sürekli olarak daha büyük Yatay Eksenli Rüzgar Türbini (YERT) üretmek) farklı olarak, daha küçük boyutlardaki türbinlerden daha fazla sayıda üretilmesi sonucunu doğuracağı için KOBİ'lerin bu dönüşümde hızlıca yer alması mümkün olacaktır. Büyük ölçekli YERT'lere göre DERT'ler üretim, kurulum ve işletme teknolojileri açısından daha basit olmaları nedeniyle DERT'lerin yerli olarak üretilmesi ve küçük alanlarda kurulacak yüksek verimli DERT sistemleri pazarında söz sahibi olunması mümkündür.

KAYNAKLAR

- [1] **Hau E** 2006 Wind Turbines 2nd ed (New York: Springer)
- [2] **Sørensen B** 2004 Renewable Energy: Its Physics, Engineering, Use, Environmental Impacts, Economy, and Planning Aspects (New York: Academic)
- [3] **D. J. C. MacKay**, *Sustainable Energy—Without the Hot Air* (UIT Cambridge Ltd., Cambridge, UK, 2009).
- [4] **Dabiri, J. O., Greer, J. R., Koseff, J. R., Moin, P., & Peng, J.** (2015). A new approach to wind energy: Opportunities and challenges. In AIP Conference Proceedings (pp. 51–57). <http://doi.org/10.1063/1.4916168>
- [5] **Karadeniz Z.H.**, Düşey eksenli rüzgar türbini araştırmalarında son gelişmeler, 8. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, 151-155, Adana, 2015
- [6] <http://media.web.britannica.com/eb-media/14/105414-050-2AB4F88F.gif>
- [7] World Energy Council, Survey of Energy Resource 2010 and Energy Information Administration
- [8] **Jacobson, M. Z., and Cristina L. A.** “Saturation wind power potential and its implications for wind energy.” Proceedings of the National Academy of Sciences 109.39 (2012): 15679-15684
- [9] **Miller, L. M., Brunsell, N. A., Mechem, D. B., Gans, F., Monaghan, A. J., Vautard, R., Kleidon, A.** (2015). Two methods for estimating limits to large-scale wind power generation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(36), 11169–11174. <http://doi.org/10.1073/pnas.1408251112>
- [10] **James, P. A.B., M. F. Sissons, J. Bradford, L.E. Myers, A. S. Bahaj, A. Anwar, and S. Green.** 2010. "Implications of the UK field trial of building mounted horizontal axis micro-wind turbines." *Energy Policy* 38 (10): 6130-6144.
- [11] **Drew, D. R., J. F. Barlow, T. T. Cockerill, and M. M. Vahdati.** 2015. "The importance of accurate wind resource assessment for evaluating the economic viability of small wind turbines." *Renewable Energy* 77: 493–500
- [12] **Drew, D. R., J. F. Barlow, and T. T. Cockerill.** 2013. "Estimating the potential yield of small wind turbines in urban areas: A case study for Greater London, UK." *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 115: 104-111
- [13] **Kühn, P.** 2010. "Introduction to Small Wind Turbines." International Seminar Basics of Small Wind Turbines. Tarragona. 1-9.

- [14] **Silva, F. T., A. C. Santos, and M. C. Gil.** 2013. "Urban wind energy exploitation systems: Behaviour under multidirectional flow conditions-Opportunities and challenges." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 24: 364-378
- [15] **Reigler, H.** 2003. "HAWT versus VAWT. Small VAWTs find a clear niche." *Refocus*, Temmuz/Ağustos: 44-46
- [16] **Eriksson, S., H. Bernhoff, and M. Leijon.** 2008. "Evaluation of different turbine concepts for wind power." *Renewable & Sustainable Energy Reviews* 12: 1419–1434
- [17] Small Wind World Report, New Energy, 2015.
- [18] Visualization made by David Bock (NCSA (National Center for Supercomputing Applications) and XSEDE (Extreme Science and Engineering Discovery Environment)) as part of the Extended Collaborative Support Services of XSEDE
- [19] Patent-Coupled vortex vertical axis wind turbine. (2004)