

RÜZGAR ENERJİSİNDE EKSERJİ İNCELEMESİ

Serbülent YILMAZ¹, Ahmet Duran ŞAHİN²

**İstanbul Teknik Üniversitesi Uçak-Uzay Bilimleri Fakültesi Meteoroloji Mühendisliği
Bölümü 34469 İstanbul**

yilmazser32@gmail.com; sahind@itu.edu.tr

Özet

Kullanımı giderek yaygınlaşan yenilenebilir enerji kaynaklarından olan rüzgar enerjisi sistemlerinde, meteorolojik parametrelerin alansal ve zamansal değişim göstermesinden dolayı bazı teknik problemler ortaya çıkmaktadır. Temel problemler, Betz sınırı ile ilgili olup, farklı rüzgar şiddetlerine göre türbinlerin elektrik üretim kapasitesini etkilemektedir. Cut-in değerinden daha düşük ve cut-out değerinden daha yüksek rüzgar şiddeti değerlerinde rüzgar türbinleri elektrik üretememektedir. Bununla birlikte, bölgesel özellikler de türbinlerin elektrik üretim kalitesini değiştirmekte olup yeni kayıp ve kazançlara neden olmaktadır. Bu çalışmada, kinetik enerji kayıpları ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. İlk olarak, Betz limiti kayıpları çalışmada ki tüm türbinlerin güç eğrileri için gözönüne alınmış, cut-in'den daha düşük ve cut-out' dan daha yüksek değerler bulunup, ekserjetik kurallar çerçevesinde kinetik enerji kayıpları tespit edilmiştir. Ayrıca, değişen arazi koşullarına göre rüzgar profilleri çıkartılmış ve buna göre kinetik enerji kayıp ve kazançları yeni rüzgar ekserjisi eşitliğine ilave edilmiştir. Tavsiye edilen yeni formül için, Karadeniz kıyısında İstanbul yakınlarında ki bir rüzgar çiftliği verileri uygulama amaçlı kullanılmış olup, seçilen alanın topoğrafik koşullarının kazanç sağladığı ve cut-in/cut-out dışında kalan uç değerlerin de kullanılan rüzgar türbinleri için kayıplara neden olduğu görülmüştür. Son olarak, farklı türbin tiplerinin farklı rüzgar profillerinde ki enerji ve ekserji verimlilikleri hesaplanmış olup, deniz kıyısı ve karmaşık alanlar için sırasıyla %12 ile %13 arasında değiştiği görülmüştür. Rüzgar sistemleri hakkında önemli bilgiler veren yeni verimlilik formülüne göre farklı türbinlerin değişen pürüzlülük şartlarında enerji ve ekserji verimlilikleri arasındaki ortalama bağıl hata yaklaşık olarak %35 bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Enerji; Ekserji; Kapasite Faktörü; Rüzgar türbini; Pürüzlülük Uzunluğu

Abstract

Wind energy systems are the most important and swiftly developing renewable energy resources. However, wind power has some technical difficulties related to the spatio-temporal variations of meteorological parameters. Primary problems are caused by Betz Limit confinement which affects the electricity generation of wind turbines at various wind speeds. If wind speeds are less than cut-in or greater than cut-out values there will not be produced any electricity generation by wind turbines. Moreover, terrain properties also change the electricity generation quality of turbines and produce new gains or losses. In this paper, kinetic energy losses of a wind turbine are analysed. In the first stage, Betz limitation losses are taken into account for all parts of wind turbine power curve and then, kinetic energy losses less than cut-in or greater than cut-out values are considered based on exergetic rules. Additionally, kinetic energy losses/gains depend on different topographical conditions are added to new exergy equation. The suggested formulation have been applied to selected wind farm data on the coast of Black Sea in İstanbul and it is seen that especially topographical conditions cause to losses for wind turbine in selected area. Finally, energy and exergetic

efficiencies of different wind turbines at different roughness lengths are calculated and it is estimated that energy and exergy efficiencies are increased to 12% to 13% for coastal and complex areas respectively. A new exergy formula for wind energy systems is described which provides important information about the system. It is seen that average relative error between energy and exergy efficiencies are approximately 35% for different wind turbines at various topographical conditions.

Key Words: Energy; Exergy; Capacity Factor; Wind Turbine; Roughness Length

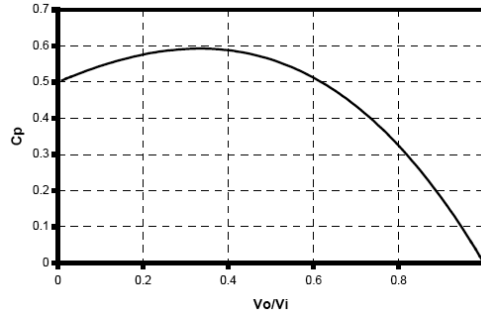
1.GİRİŞ

Bilgi ve iletişim çağının eşliğindeki dünyamızda yaşanan hızlı teknolojik gelişmeler, enerjiyi hayatımızın vazgeçilmez bir unsuru haline getirmiştir. Günümüzde kişi başına enerji tüketimi bir toplumun ulaştığı uygarlık seviyesinin önemli göstergelerinden biri olmuştur. Kalkınma aşamasındaki ülkemizde sanayileşme faaliyetleri, artan nüfus ve hayat standartlarının yükselmesi, her yıl daha fazla enerji ihtiyacına neden olmaktadır. Dünyanın enerji ihtiyacının önemli bir bölümünü karşılayan fosil yakıtların tükenerek olması, enerjinin elde edilmesi sırasında çevreye yapılan tahribat ve gelecek nesillerin de enerji ihtiyacı dikkate alındığında, yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi daha iyi anlaşılmaktadır. Bu kaynakların yaygın kullanımı, teknolojik gelişmelere ve potansiyeli belirleyecek ulusal ve uluslararası bilgi ağının oluşturulmasına bağlıdır. Öncelikli olarak göz önüne alınması gereken yenilenebilir enerji kaynaklarından biri rüzgar enerjisidir. Rüzgar enerjisi; kirlenici bir emisyonu olmayan, sonsuz ve çevreye duyarlı bir enerji kaynağı olmasından dolayı alternatif enerji kaynağı olarak tercih edilmekte ve kullanımı her geçen gün artmaktadır. Bununla birlikte bu alternatif enerji kaynağı kullanılırken bilimsel olarak ele alınması gereken bazı detaylar vardır. Rüzgar enerjisinin termodinamik özellikleri yeteri kadar anlaşılamamıştır. Bu çalışmanın amacı enerji ve ekserji kavramlarını göz önüne alarak rüzgar enerjisinde termodinamik incelenmeye yeni bir yaklaşımda bulunmaktır. Bu yeni yaklaşım rüzgar enerjisi sistemlerinde ki kinetik enerji kayıp ve kazançlarını içermektedir.

2.RÜZGAR ENERJİSİNDE ENERJİ İNCELEMESİ

Dünyanın eğriliği, dönme ekseninin eğimi ve dünya yüzeyinin homojen olmayan yapısı nedeniyle, yeryüzünün farklı bölgelerinin, güneşten gelen enerji aracılığı ile farklı ısınması sonucu meydana gelen basınç ve sıcaklık farkları, rüzgarı oluşturur. Rüzgar enerjisi, güneş enerjisinin bir biçimidir. Güneşten gelen enerjinin yaklaşık %2'si rüzgarın kinetik enerjisine dönüşür [1]. Rüzgarlar, atmosferde potansiyel enerjinin kinetik enerjiye dönüşümünün sonucu; esas olarak basınç kuvvetlerinin bir ürünüdür. Bilindiği gibi, hareket halindeki her cisim bir kinetik enerjiye sahiptir. Rüzgar da hareket halinde olan bir hava akımı olduğundan

kinetik enerjiye sahiptir. Birim zamanda birim alandaki rüzgar enerjisi, $E = \frac{1}{2} \rho v^3$ dir. Bir akışkan akışından elde edilebilecek maksimum kullanılabilir gücü konu alan makale ilk kez 1920 yılında A. Betz tarafından yayımlanmış olup, teori genellikle Betz limiti olarak bilinmektedir.



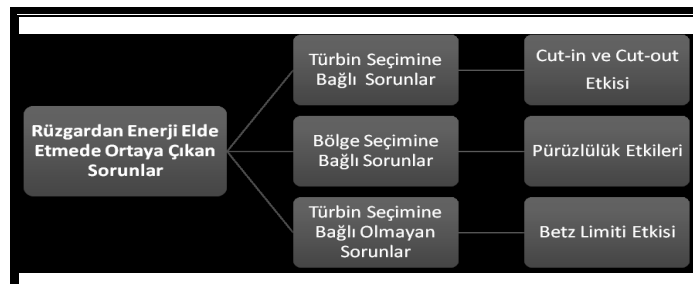
Şekil 2. Cp, Maksimum Güç Katsayısı Grafiği , [2],(Kaymak, 2007)

Buna göre bir rüzgar türbini teorik olarak, Şekil (2) gösterildiği gibi rüzgarda var olan gücün en fazla 16/27'sini kullanılabilir güce dönüştürebilir [3].

3. RÜZGAR ENERJİSİNDE KAYIP VE KAZANÇLAR

Sonuz enerji kaynağı olan olan rüzgar enerjisi, rüzgarı oluşturan hava akımının sahip olduğu kinetik enerjidir. Rüzgar, sürdürülebilir yani hiç bitmeyen bir enerji kaynağı olmasına rağmen, bu enerjinin bir kısmı yararlı olan mekanik enerjiye veya elektrik enerjisine dönüştürülürken, bir kısmı da ısı olarak depolanmakta yani kullanılmamaktadır. Bu çalışmada, rüzgar enerjisinin tamamından faydalanmamıza engel olan faktörler üzerine ekserjetik açıdan yoğunlaşmış ve açıklık getirilmeye çalışılmıştır. Tablo 1, rüzgardan enerji elde etmede ortaya çıkan etmenleri göstermektedir.

Tablo 1. Rüzgardan Enerji Elde Etmede Ortaya Çıkan Problemler



3.1 Betz Limiti Etkisi

Daha öncede bahsedildiği üzere Betz Limiti rüzgardan elde edilebilecek teorik gücün, 16/27 oranında olduğunu, bir başka deyişle rüzgar gücünün 11/27'sinin kullanılamayacağını söylemektedir.

3.2 Sınır Değerlerin Etkisi

Bilindiği gibi bir rüzgar türbini cut-in ve cut-out değerleri arasında esen rüzgar şiddetlerinde elektrik üretebilir. Bu sınır değerlerin dışındaki rüzgar şiddetlerinde elektrik üretememektedir. Bununla birlikte Betz limiti, önemli kinetik enerji kayıpları oluşturan bu durumu gözönüne almayıp, bu sınır değerlerin dışında da elektrik üretilebileceğini varsaymaktadır. Bu önemli faktör gözönüne alınarak sınır değerlerin dışındaki kayıp kinetik enerji aşağıdaki gibi formüle edilebilir,

$$E_{k_{\text{cut-in}}} = \frac{1}{2} \rho A V_{\text{cut-in}}^3 \quad (V_{\text{cut-in}} < V_{\text{cut-in}}) \quad (1)$$

$$E_{k_{\text{cut-out}}} = \frac{1}{2} \rho A V_{\text{cut-out}}^3 \quad (V_{\text{cut-out}} > V_{\text{cut-out}}) \quad (2)$$

Burada $E_{k_{\text{cut-in}}}$ ve $E_{k_{\text{cut-out}}}$ sırasıyla cut-in'den küçük ve cut-out'dan büyük esen rüzgar şiddeti değerlerinde ki kinetik enerjileri göstermektedir. Ayrıca A , rüzgar türbini rotoru tarafından taranan alanı, $V_{\text{cut-in}}$, $V_{\text{cut-out}}$ 'den daha düşük esen rüzgar şiddeti değerini ve $V_{\text{cut-out}}$, $V_{\text{cut-out}}$ 'den daha büyük hızlarda esen rüzgar şiddeti değerini göstermektedir. Buna göre sınır değerlerden dolayı oluşan toplam kinetik enerji kaybı $E_{k_{\text{losses}}}$, şu şekilde yazılabilir

$$E_{k_{\text{losses}}} = \frac{1}{2} \rho A \left[\sum_{i=1}^n V_{\text{cut-in}}^3 + \sum_{i=1}^n V_{\text{cut-out}}^3 \right] \quad (3)$$

Ayrıca $E_{k_{\text{ratio}}}$, sınır değerden dolayı oluşan kinetik enerji kaybı oranı şeklinde tanımlanırsa, bu oran

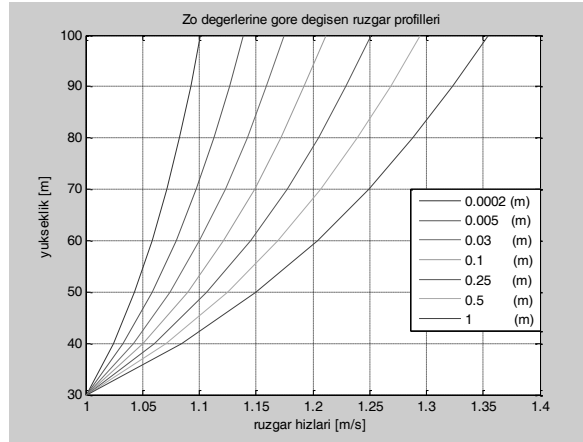
$$E_{k_{\text{ratio}}} = \frac{\frac{1}{2} \rho A \left[\sum_{i=1}^n V_{\text{cut-in}}^3 + \sum_{i=1}^n V_{\text{cut-out}}^3 \right]}{\frac{1}{2} \rho A \sum_{i=1}^n V_i^3} \quad (4)$$

şeklinde ifade edilebilir. Bu oran rüzgar türbini sisteminin kinetik enerji kaybını anlamada faydalı olmakta ve rüzgar şiddeti değerlerinin sınır değerlerin içinde olduğu durumlarda ise sifıra yaklaştığını göstermektedir.

3.3 Topografik Etkiler

Bilindiği gibi rüzgarın yükseklikle değişimi topografik şartlarla yakından ilgilidir ve bu durum arazinin karmaşıklığını ve yüzey sürtünmesini ifade eden pürüzlülük uzunluğu ile incelenir. Pürüzlülük uzunluğu deniz seviyesi şartlarını belirten 0.00001 [m]'den, yüksek ve karmaşık topografik şartları gösteren 2.5 [m]'ye kadar değişmektedir. Şekil 3'den görüldüğü gibi rüzgar profilinde, yer seviyesi ile türbinin hub yüksekliği arasında, "off-shore" şartlarda büyük farklar olmazken, kompleks arazi şartlarında ise oldukça büyük farklar görülmektedir. Rüzgar profili, verilen pürüzlülük uzunluklarına bağlı olarak aşağıdaki formülle hesaplanabilir [4].

$$V_2 = V_1 \frac{\ln(Z_2/z_o)}{\ln(Z_1/z_o)} \quad (5)$$



Şekil 3. Pürüzlülük Uzunluklarına Göre Rüzgarın Yükseklikle Değişimi

Eşitlik (24)'de V_1 ölçümlerin yapıldığı referans yüksekliğindeki rüzgar şiddetini göstermekte olup, bu çalışma için 30 [m] yüksekliği referans alınmıştır. V_2 ise, istenilen farklı hub yüksekliklerinde ki rüzgar şiddetini göstermektedir. Buna göre Eşitlik (5) gözönüne alınarak, "off-shore" şartlardan kompleks araziye gidildikçe kinetik enerji kazancının olacağı söylenebilir ve kinetik enerji farkı aşağıdaki gibi ifade edilebilir

$$\Delta Ke_{tot} = \frac{1}{2} \rho A V_{z,comp_top}^3 - \frac{1}{2} \rho A V_{z,sea_lev}^3 \quad (6)$$

Bu eşitlikte $V_{z,comp_top}$ hub yüksekliklerine ve değişen arazi şartlarına göre interpolate edilmiş rüzgar hızını ve V_{z,sea_lev} ise deniz seviyesinde türbinlerin hub yüksekliklerine göre interpolate edilmiş rüzgar hızını göstermektedir. Bu eşitlik sistemin kinetik enerji kazancını göstermektedir olup ekserjetik açıdan literatüre yeni bir yaklaşım getirmektedir.

3.4 Rüzgar Ekserjisi

Şimdiye kadar rüzgar enerjisindeki kayıp ve kazançlar detaylı bir şekilde ele alınmış olup, rüzgar türbini ekserjisi,

$$W_{tr_ex} = \frac{\frac{1}{2} \rho A V^3 - \frac{1}{2} \rho A \left[\sum_{i=1}^n V_{cut-in}^3 + \sum_{i=1}^n V_{cut-out}^3 \right] + \frac{1}{2} \rho A [V_{z,comp_top}^3 - V_{z,sea_lev}^3]}{\frac{1}{2} \rho A V_r^3} \quad (7)$$

önceki terimlerin de eklenmesiyle Eşitlik (7) daki gibi ifade edilebilir. Bu eşitlikte V_r nominal rüzgar şiddeti değerlerini, t ise ölçümlerin yapıldığı zaman aralığını göstermektedir. Bu formül farklı türbinler için ve farklı arazi şartlarında kullanılabilir ve yeni bir ekserjetik bakış açısı meydana getirmektedir. Bunun yanında kinetik enerji kayıp ve kazançlarını içerdiğinden türbinlerin elektrik üretimini değerlendirmek için de kullanılabilir.

4.Yapılan Uygulama

Rüzgar enerjisi potansiyelini hesaplamak için, İstanbul'un kuzey kısmında, 40.97 doğu boylamı ve 29.08 kuzey enleminde ki alanda, Mayıs 2001 ile Mayıs 2002 yılları arasında 30 [m]'de 10'ar dakika ara ile ölçülmüş rüzgar şiddeti değerleri kullanılmıştır. Bununla birlikte türbinlerin hub yükseklikleri 30 [m]'den fazla olduklarından, rüzgar şiddetleri Eşitlik (5)'e göre istenilen hub yüksekliği için interpolate edilmiştir. Bu çalışmanın verileri, Karadeniz ile Terkos gölü arasında konuşlanmış bir rüzgar çiftliği projesi verileri olup, arazinin pürüzlülük uzunluğu 0.005 alınmıştır. Çalışmada farklı hub yüksekliklerinde, kapasite ve güçlerde 6 ticari türbin kullanılmış ve her bir türbin harflendirilmiştir (Tablo 2). Her bir türbinin güç eğrisine, cut-in ve nominal hız arasına ayrı bir eğri ve nominal hızdan cut-out hızına kadar ayrı bir eğri uydurulmuştur ve temsili eğrilerin R^2 (korelasyon katsayısı) değerlerinin 0.97 ile

$$\Delta \tilde{K}e_{tot} = \frac{1}{2} \rho A V_{z,comp_top}^3 - \frac{1}{2} \rho A V_{z,sea_lev}^3 \quad (6)$$

Bu eşitlikte $V_{z,comp_top}$ hub yüksekliklerine ve değişen arazi şartlarına göre interpolate edilmiş rüzgar hızını ve V_{z,sea_lev} ise deniz seviyesinde türbinlerin hub yüksekliklerine göre interpolate edilmiş rüzgar hızını göstermektedir. Bu eşitlik sistemin kinetik enerji kazancını göstermektedir olup ekserjetik açıdan literatüre yeni bir yaklaşım getirmektedir.

3.4 Rüzgar Ekserjisi

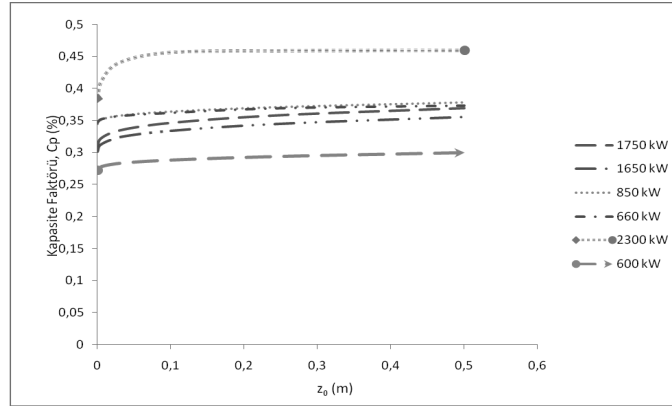
Şimdiye kadar rüzgar enerjisindeki kayıp ve kazançlar detaylı bir şekilde ele alınmış olup, rüzgar türbini ekserjisi,

$$W_{tr_ex} = \frac{\frac{1}{2} \rho A V^3 - \frac{1}{2} \rho A \left[\sum_{i=1}^n V_{lcut-in}^3 + \sum_{i=1}^n V_{lcut-out}^3 \right] + \frac{1}{2} \rho A [V_{z,comp_top}^3 - V_{z,sea_lev}^3]}{\frac{1}{2} \rho A t V_r^3} \quad (7)$$

önceki terimlerin de eklenmesiyle Eşitlik (7) daki gibi ifade edilebilir. Bu eşitlikte V_r nominal rüzgar şiddeti değerlerini, t ise ölçümlerin yapıldığı zaman aralığını göstermektedir. Bu formül farklı türbinler için ve farklı arazi şartlarında kullanılabilir ve yeni bir ekserjetik bakış açısı meydana getirmektedir. Bunun yanında kinetik enerji kayıp ve kazançlarını içerdiğinden türbinlerin elektrik üretimini değerlendirmek için de kullanılabilir.

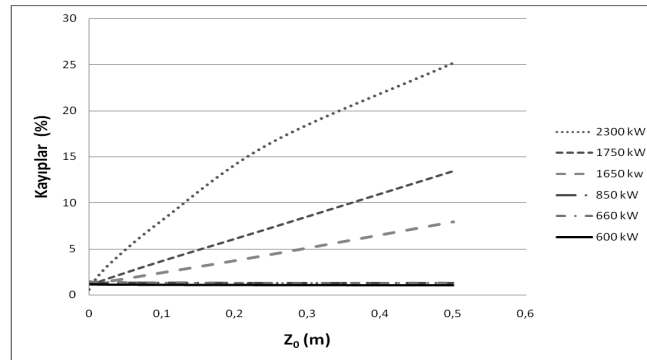
4.Yapılan Uygulama

Rüzgar enerjisi potansiyelini hesaplamak için, İstanbul'un kuzey kısmında, 40.97 doğu boylamı ve 29.08 kuzey enleminde ki alanda, Mayıs 2001 ile Mayıs 2002 yılları arasında 30 [m]'de 10'ar dakika ara ile ölçülmüş rüzgar şiddeti değerleri kullanılmıştır. Bununla birlikte türbinlerin hub yükseklikleri 30 [m]'den fazla olduklarından, rüzgar şiddetleri Eşitlik (5)'e göre istenilen hub yüksekliği için interpolate edilmiştir. Bu çalışmanın verileri, Karadeniz ile Terkos gölü arasında konuşlanmış bir rüzgar çiftliği projesi verileri olup, arazinin pürüzlülük uzunluğu 0.005 alınmıştır. Çalışmada farklı hub yüksekliklerinde, kapasite ve güçlerde 6 ticari türbin kullanılmış ve her bir türbin harflendirilmiştir (Tablo 2). Her bir türbinin güç eğrisine, cut-in ve nominal hız arasına ayrı bir eğri ve nominal hızdan cut-out hızına kadar ayrı bir eğri uydurulmuştur ve temsili eğrilerin R^2 (korelasyon katsayısı) değerlerinin 0.97 ile



Şekil 5. Farklı pürüzlülük uzunluklarına göre değişen kapasite faktörleri

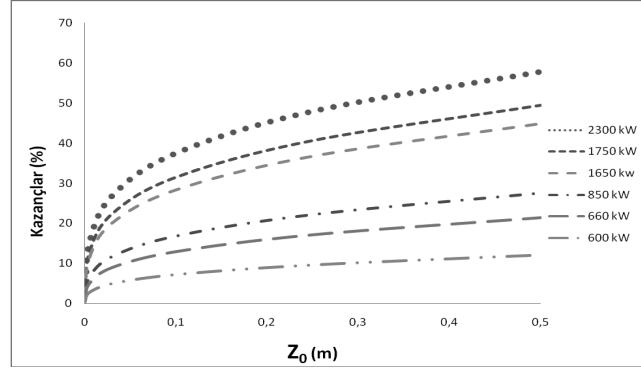
Ekserji eşitliğinin ikinci kısmı ise daha önce bahsedildiği gibi, Betz Limi ve sınır değerlerin dışındaki rüzgar şiddeti değerlerinden dolayı olan kayıpları içermektedir. Kullanılan 6 türbinin 5 tanesinin sınır hızları aynı olmasına rağmen, farklı nominal güçlere sahip olduğundan dolayı, her bir türbinin kaybettiği enerji kapasitesi farklı olmaktadır. Özellikle 1650, 1750 ve 2300 [kW]'lık nominal güçlere sahip türbinler için oldukça fazla kinetik enerji kayıpları olduğu görülmektedir. Başka bir deyişle rüzgar türbini kapasitesi arttıkça sınır değerlere bağlı olarak kinetik enerji kayıpları da artmaktadır. Yapılan hesaplamalara göre farklı türbinler için değişen topografik şartlarda kayıpların %25'e kadar çıktığı Şekil (6)'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Farklı türbin ve pürüzlülük uzunluklarına göre değişen kinetik enerji kayıpları

Ekserji eşitliğinin bu kısmını göz önüne alarak, kinetik enerji kayıplarının en aza indirmek için mümkün olduğunca düşük cut-in değerleri, yüksek cut-out değerleri kullanılmalıdır. Başka bir deyişle, ekserjetik yaklaşımın temel amacı, maksimum verime yaklaşmak ve kayıpları

minimize etmektir. Rüzgar sistemleri için önerilen yeni ekserjetik formülasyonun son terimi ise, topografik etkilerden dolayı meydana gelen kayıp ve kazançları dikkate almaktadır. Topografik etkiler kısmında bahsedildiği gibi, atmosferik sınır tabakada arazinin kompleksliği arttıkça rüzgar profilinde ani artışlar görülmekte ve kinetik enerji kazançları oluşmaktadır (Şekil 7).



Şekil 7. Rüzgar Enerjisinde Kazançlar

Buna göre türbinin hub yüksekliği ve arazinin karmaşıklığı arttıkça kinetik enerji kazancının artacağı söylenebilir ancak tabiki bu arazi şartlarında türbülans ve “gust” etkilerinin baskın olacağı ve kayıplara yol açacağı aşikar olup, yapılan çalışmada kullanılan data türbülans ve “gust” etkilerini anlamada yetersiz kaldığından, bu etkiler çalışmanın metodolojisi dışında tutulmuştur. Sonraki çalışmalarda bu durumun dikkate alınması gerekmektedir.

5. Sonuçlar

Farklı türbin ve topografik koşullar için enerji ve ekserji verimlilikleri hesaplanmış ve sistemin kayıp ve kazançları dikkate alındığında gerçek verimlilik değerlerinin azaldığı görülmüştür. Bir başka deyişle bilinenin aksine elektrik üretimi esnasında bir çok kaybın ortaya çıktığı söylenebilir. Özellikle düşük kapasiteli rüzgar türbinlerinde kayıpların kazançlardan daha fazla olduğu, enerji ve ekserji verimleri arasındaki bağıl hataların, yüksek kapasiteli türbinlere nazaran fazla olduğu görülmektedir (Tablo 3). Buna göre nominal gücü artan bir türbinin kinetik enerji kapasitesi de artmaktadır.

Pürüzlülük Uzunluğu (m)	600 kW			660 kW			850 kW			1650 kW			1750 kW			2300 kW		
	Enerji Verimi (%)	Ekserji Verimi (%)	Bağlı Hata (%)	Enerji Verimi (%)	Ekserji Verimi (%)	Bağlı Hata (%)	Enerji Verimi (%)	Ekserji Verimi (%)	Bağlı Hata (%)	Enerji Verimi (%)	Ekserji Verimi (%)	Bağlı Hata (%)	Enerji Verimi (%)	Ekserji Verimi (%)	Bağlı Hata (%)	Enerji Verimi (%)	Ekserji Verimi (%)	Bağlı Hata (%)
0.0002	27	16	40.7	34	20	41.2	34	20	41.2	30	18	40	30	18	40	38	23	39.5
0.005	27	16	40.7	35	21	40	35	21	40	31	19	38.7	32	20	37.5	41	25	39
0.03	28	17	39.3	35	22	37.1	35	22	37.1	32	21	34.4	33	22	33.3	44	28	36.4
0.1	28	17	39.3	36	23	36.1	36	23	36.1	33	23	30.3	34	24	29.4	45	30	33.3
0.25	29	18	37.9	36	24	33.3	37	24	35.1	34	24	29.4	35	26	25.7	45	30	33.3
0.5	29	18	37.9	37	25	32.4	37	26	29.7	35	26	25.7	36	28	22.2	45	33	26.7
ortalama	28	17	39.3	35.5	22.5	36.7	35.7	22.7	36.5	32.5	21.8	33.1	33.3	23	31.4	43	28.2	34.7

6. Kaynaklar

1. Şahin, A., D., 1994, *Rüzgar Enerjisi Hesaplamalarında Geliştirilmiş Bir Yöntem*, İTÜ.
2. Kaymak, M., K., 2007, *Hibrit Sistemler*, Lisans Tezi, Şubat 2007, İTÜ
3. Golding, E., W., 1955, *"The Generation of Electricity by Wind Power"*, E&F., N., Spon Limited: London
4. Stull R. 2000. *Meteorology for Scientists and Engineers*. Brooks/Cole Thomson Learning, Second Edition: Belmont, California