

PAPER DETAILS

TITLE: Rüzgar Enerjisi ve Çevresel Potansiyelinin Kesan Örneği Üzerinden İncelenmesi

AUTHORS: Hilal KUZGUN,Hilal ÖZTAS,Berrin KURSUN

PAGES: 41-47

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/718328>

Rüzgar Enerjisi ve Çevresel Potansiyelinin Keşan Örneği Üzerinden İncelenmesi

Analysis of Wind Energy and Environmental Potential: Keşan Case

Berrin KURŞUN¹ , Hilal ÖZTAŞ¹ , Hilal KUZGUN¹ 

¹ Marmara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi., Kimya Mühendisliği Bölümü

Öz

Enerji ihtiyacının sürekli artması, yaygın kullanılan enerji kaynaklarının kısıtlı, tükenebilir ve çevreye zararlı olması alternatif enerji kaynaklarının kullanılmasını gerekli kılmıştır. Bu çalışmada amaç, rüzgar enerjisinin mesken elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamakta ne kadar sürdürülebilir bir seçenek olduğunu incelemektir. İnceleme sonucunda, Edirne ili rüzgar türbini kurulumu için en uygun bölgelerden biri olarak belirlenmiştir. Edirne’de ekonomik olarak rüzgar enerji santrali (RES) kurulumu için uygun rüzgar hızı ve kapasite faktörü değerine sahip bölgelerinden olan Keşan ilçesi için 2018 yılı nüfusu ve nüfusun gerekli mesken elektrik ihtiyacı dikkate alındığında, 19 MW’lık bir RES yatırımının ilçenin mesken elektrik ihtiyacını karşılayacağı tespit edilmiştir. Yapılan projeksiyon çalışmaları sonucunda 2050 yılına kadar gerekli mesken elektrik ihtiyacının karşılanması için ise 165 MW’lık RES kurulması gerekmektedir. Ayrıca, çalışmamızda rüzgar enerjisinden elektrik eldesi sonucunda oluşan CO₂ salınımları ile Türkiye’de mevcut durumda elektrik üretimi sonucu CO₂ salınımları karşılaştırılmıştır. Elektrik ihtiyacının rüzgar enerjisiyle karşılanması durumunda, CO₂ salınımlarında %97,96 azalma sağlanacağı belirlenmiştir. Keşan özelinde rüzgar enerjisinin 2050 yılına kadar Keşan’daki elektrik ihtiyacını karşılama potansiyeline sahip olduğu belirlenmiş ve Türkiye’nin rüzgar enerji potansiyelini maksimum kapasitede kullanması ile ülkenin karbon salınımı azaltım hedeflerine ulaşılmasında büyük katkı sağlayabilecek düzeyde olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: yenilenebilir enerji, rüzgar enerjisi ile elektrik üretimi, rüzgar türbinleri

ABSTRACT

Increasing energy demand, limitedness of fossil fuels and adverse effects of fossil fuels necessitates the utilization of alternative energy technologies. Here the aim is to assess the sustainability of wind power to meet the domestic electricity demand. In this study, areas feasible to implement wind turbines in Turkey are evaluated according to their wind energy potential. Edirne is found to be one of the most feasible areas to implement wind turbines strategically. When the population in Keşan (one of the most feasible areas in terms of wind speed and capacity factor in Edirne) and necessary electricity quantity are considered for the base year 2018, it is found that wind turbine with a total capacity of 19 MW can meet this demand. When projection till 2050 is performed, 165 MW capacity can meet necessary demand quantity. Additionally, CO₂ emissions via electricity generation with wind and current energy mix in Turkey have been compared. %97,96 CO₂ emission reduction is found with wind electricity generation. Also, there is enough wind energy potential in Keşan to meet energy demand till 2050 and if Turkey utilizes its wind capacity to the fullest, this can contribute significantly to satisfy Turkey’s CO₂ emission reduction targets.

Keywords: renewable energy, electricity generation via wind energy, wind turbines

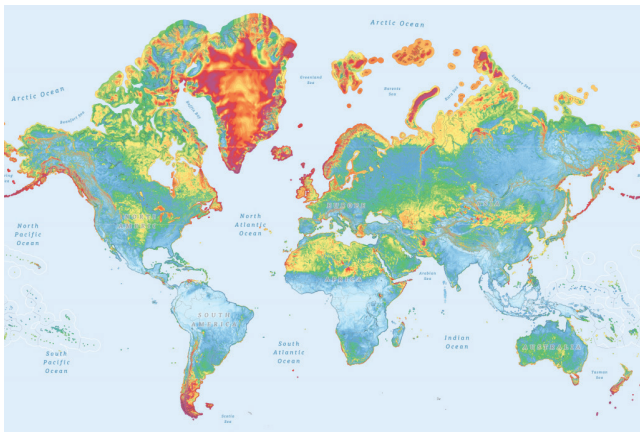
1.GİRİŞ

Enerji kalkınmanın ayrılmaz bir parçasıdır. Günümüzde enerji ihtiyacının karşılanmasında büyük oranda fosil yakıtlardan (%78) yararlanılmaktadır. Fosil kaynakların kullanımına bağlı sera gazı salınımları (%40 enerji üretimi kaynaklı), küresel ısınmanın başlıca nedenlerinden biridir [1]. Ayrıca, fosil yakıtların sebep olduğu hava kirliliği, asit yağmurları gibi çevresel problemlerin yanı sıra fosil yakıtların tükenir oluşu, fiyatlarındaki dalgalanmalar da alternatif yenilenebilir enerji kaynaklarının

kullanılmasını zorunlu hale getirmektedir [1,2]. Türkiye elektrik üretimde büyük oranda ithal ettiği doğalgaz ve kömürü kullanmaktadır. Bu da, ülkemizin enerji güvenliği ve bağımsızlığı açısından olumsuzluklar yaratmaktadır. Bu sebeplerle, Türkiye enerji güvenliği açısından ve enerji üretimine bağlı çevresel problemlerini çözmek için yerel yenilenebilir enerji kaynaklarından daha büyük oranlarda yararlanmalıdır. Bu bağlamda, yüksek potansiyeli ile rüzgar enerjisi Türkiye için en önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir [3, 4].

Yeryüzüne ulaşan güneş enerjisinin %1-2'lik kısmı rüzgar enerjisine dönüşmektedir. Farklı ısınan hava kütlelerinin düşük ve yüksek basınç bölgeleri oluşturması sonucunda, yüksek basınç bölgesinden düşük basınç bölgesine hava akımı rüzgarları oluşturur. Basınç merkezleri arasındaki basınç farkı ne kadar yüksekse rüzgar gücü o denli şiddetli olmaktadır [5]. Rüzgarın içerdiği kinetik enerji, rüzgar türbinleri ile önce mekanik enerjiye daha sonra elektrik enerjisine dönüştürülür. Gelişim aşamaları içinde pek çok rüzgar türbin tipi olmasına karşın günümüzde elektrik üretimi için genellikle üç kanatlı, yatay eksenli, rüzgarı karşıdan alan (up-wind) rüzgar türbinleri yüksek verim özellikleri nedeniyle tercih edilmektedir [6,7]

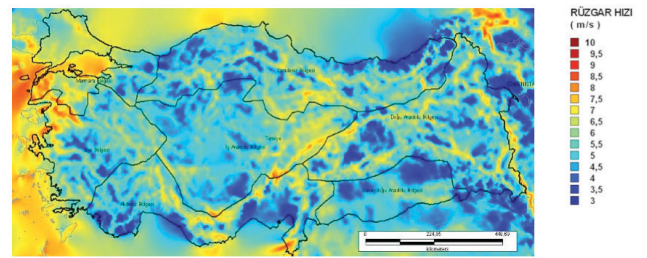
Dünya Bankası ve Danimarka Teknik Üniversitesi işbirliği ile oluşturulan küresel rüzgar potansiyeli atlası şekil 1'de görülmektedir. Buna göre, Dünya'da okyanus/deniz kıyısı ve yüksek bölgeler daha yüksek rüzgar enerjisi potansiyeline sahiptir [8]. Kurulu rüzgar gücü kapasitesi açısından Çin, Amerika Birleşik Devletleri, Almanya ve Hindistan öncü devletlerdir ve kurulu rüzgar gücü kapasitesinin %73'ü bu devletlerde bulunmaktadır [1].



Şekil 1: Küresel rüzgar enerjisi potansiyeli atlası [8].

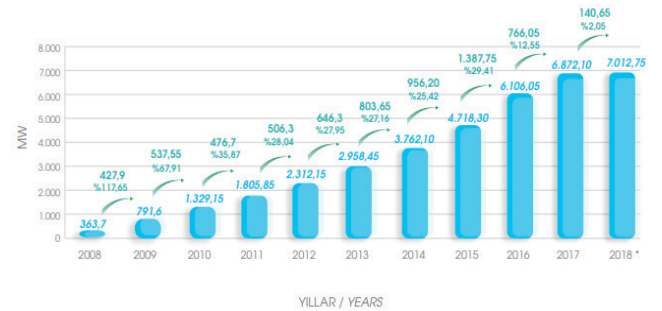
Rüzgâr enerji santrallerinin, ekonomik yatırımlar olabilmesi için 50 m'de 7 m/s üzeri rüzgar hızı, 0,35 ve üzeri

kapasite faktörü (rüzgardaki kinetik enerjinin ne oranda elektrik enerjisine çevrilebileceğini gösteren parametre) gereklidir. Bu bağlamda değerlendirildiğinde Türkiye'de rüzgâr enerji potansiyelinin en iyi olduğu alanların kıyı şeritleri, yüksek bayırlar ve dağların tepe noktaları olduğu gözlemlenmiştir. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM) tarafından Türkiye'de 50 m yükseklikte ölçülen rüzgâr hızlarına göre illerin rüzgâr potansiyelleri belirlenmiştir. Rüzgâr potansiyeli yüksek olan iller; Balıkesir, Çanakkale, İzmir, Manisa, Samsun, Muğla ve Tekirdağ olarak tespit edilirken, ayrıca İstanbul, Bursa, Mersin, Edirne, Hatay, Kırklareli, Tokat, Aydın gibi illerin de oldukça iyi rüzgâr potansiyeline sahip olduğu bulunmuştur [9].



Şekil 2: Türkiye'de rüzgar potansiyeli atlası [9].

Türkiye'de kurulu rüzgar gücü incelendiğinde hızlı bir artış gözlenmektedir. 2018 yılı temmuz ayı itibariyle kurulu güç 7000 MW'a yaklaşmış ve toplam elektrik tüketiminin yaklaşık %6,0'lık kısmını karşılar duruma gelmiştir. Bu halile rüzgar enerjisi Türkiye'de kurulu kapasitesi en hızlı artan yenilenebilir enerji kaynağı olmuştur [10].



Şekil 3: Türkiye'de rüzgar enerjisi santralleri kurulu gücünün yıllara göre değişimi [10].

Literatürde rüzgar enerjisine yönelik çalışmalar; rüzgar türbinlerinin üretim ve kullanımlarına yönelik yaşam döngüsü analizlerine (YDA), teknik olarak rüzgar türbinini kurulacak alanın seçiminde dikkat edilmesi gereken etmenlere ve rüzgar türbinlerinin çevresel etkilerine ve rüzgar enerjisinin

kullanılabilirliğini arttırmaya yönelik politika ve teşvik koşullarını araştırılmasına odaklanmıştır. Rüzgar türbinlerinin yaşam döngüsü üzerine yapılan çalışmalar, rüzgar türbinlerini çeşitli enerji üretim yöntemleri ile karşılaştırmaktadır [11]. Siddiqui ve Dinçer rüzgar türbinleri ile elektrik üretimini hidroelektrik ve nükleer elektrik üretimi ile karşılaştırmış. Rüzgardan elektrik üretiminin ötrifikasyon, asidifikasyon, fotokimyasal ozon oluşturma etki kategorilerinde diğer alternatiflere göre daha yüksek etki yaptığı ve bu etkilerin büyük oranda türbinlerin inşaatı (kurulumu) aşamasında meydana geldiğini bulmuşlardır. Rüzgar türbinlerinin sera gazı salınımları ise oldukça düşük (12 g CO₂ eş./kWh) bulunmuştur [11]. Diğer çalışmalar karasal [12] ve denizsel [13] rüzgar türbinlerinin yaşam döngüsünü araştırmıştır. Temel olarak, denizsel rüzgar türbinlerinin daha yüksek yaşam döngüsü etkisine sahip olması, kurulum aşamasında daha çok sabitleyici, yapıya ihtiyaç göstermesi sebebiyledir [12,13]. Ayrıca, kullanım ömrü biten rüzgar türbinlerinin bertarafı ve dönüştürülmesi de çevresel etkileri açısından önemlidir [11-14]. Bu bakımdan, rüzgar türbinlerinin ömür sonu işlemleri ve yenilenmeleri YDA ile incelenmiş ve türbinlerin ve elektrik aksamalarının yenilenmesinin çevresel etki kaynakları olduğu bulunmuştur. Ancak, bu etkiler yeniden kurulumla göre düşük olduğundan ömrünün sonuna yaklaşan rüzgar tarlalarının yenilenmesi çevresel açıdan yararlı bulunmuştur [14]. Rüzgar enerjisinin kullanımının ve rüzgar türbinlerinin kurulumunun artması ile birlikte oluşabilecek çevresel sorunlar ve bunların ortadan kaldırılması yada azaltılması için alınabilecek önlemler de çalışılmıştır [2,15]. Rüzgar türbinlerinin teknolojik ve tasarımsal olarak ilerletilmesi ve Türkiye’de kullanılan rüzgar gücü potansiyelinin artırılması için gereken destek mekanizmaları da ayrıntılı olarak incelenmiştir [3,7].

Türkiye, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ve Paris İklim Anlaşması çerçevesinde 2030 yılına kadar sera gazı salınımını normal işleyişe göre % 21 azaltma, yani 246 milyon ton CO₂ eşleniği sera gazı azaltımı taahhütünde bulunmuştur. Bunu, 2030 yılına kadar kurulu güneş gücünü 10 GW, rüzgar gücünü 16 GW’ta çıkararak ve hidroelektrik kapasitesinin hepsini kullanarak başaracağını, ayrıca elektrik iletim kayıplarını % 15’e düşüreceğini beyan etmiştir [16,17].

Bu bağlamda çalışmamız Türkiye’nin rüzgar enerjisi ile enerji ihtiyacını karşılamak ve sera gazı azaltımı taahhütlerini tutturmakta **bu enerjiden** nasıl yararlanabileceği noktasında katkı sağlamaktadır. Burada, ekonomik bir rüzgar

enerjisi yatırımı için 50 m’de 7 m/s rüzgar hızı, 0,35 ve üzeri kapasite faktörü gerekliliklerine dayanılarak ve Edirne için rüzgar türbini kurulabilir alanlar, kapasite faktörü, rüzgar hız dağılımı, trafo merkezleri ve enerji nakil hatları ve ilçe nüfusları göz önüne alındığında Keşan ilçesinin rüzgar türbinleri kurulumu için uygun bir alan olduğu sonucuna varılmıştır. Çalışmamızda temel olarak,

- Keşan ilçesine mesken elektrik ihtiyacı rüzgar gücü ile karşılanabilir mi?
- Diğer enerji kaynaklarının kullanımı sonucu açığa çıkan sera gazı salınımları, rüzgar enerjisi ile elektrik üretimi sonucunda ne kadar azaltılabilir?

sorularının yanıtları aranmıştır. Bu bağlamda, çalışmamız rüzgar enerjisinin sera gazı salınımını azaltma potansiyeli ve Türkiye hedeflerine katkısını da araştırmaktadır. Makalenin devamı olan bölüm 2’de kullanılan yöntem ve hesaplamalar için yapılan kabuller açıklanırken, bölüm 3’te çalışma bulguları sunulmaktadır. En son bölümde ise çalışmadan çıkarılan sonuçlar ve değerlendirmeler sunulmaktadır.

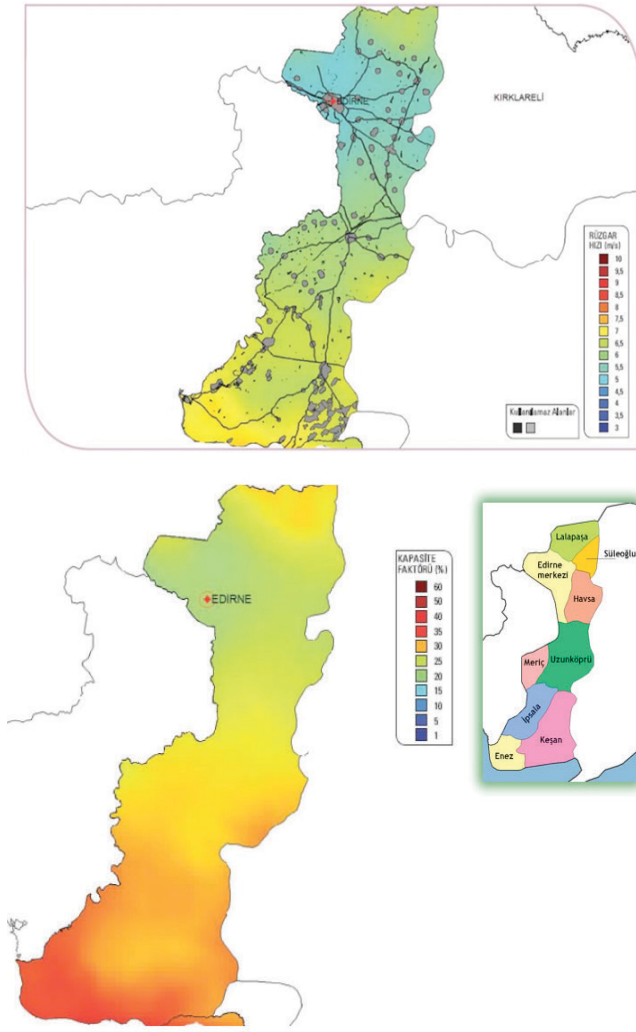
II.MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Elektrik Kullanımı ve Kurulu Güç Projeksiyonları

Şekil 4 Edirne iline ait 50 m’de ölçülen rüzgar hızı ve kapasite faktörü dağılımlarını göstermektedir. Ekonomik bir rüzgar enerjisi yatırımı için 50 m’de 7 m/s rüzgar hızı, 0,35 ve üzeri kapasite faktörü değerleri aranmaktadır [5]. Bu parametreler ve tablo 1’de [18] verilen rüzgar hızı değerleri ışığında, Edirne ilinin rüzgar türbinleri kurulumu için uygun bir alan olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca, Keşan ilçesi 0,35-0,45 arasında bir kapasite faktörüne sahip olduğundan, ilçe için ortalama 0,40 kapasite faktörü kabul edilerek [18] çalışmamızda mesken elektrik tüketiminin rüzgar enerjisi ile karşılanmasında incelenecek bölge olmasına karar verilmiştir.

Keşan ilçesinin incelenmesine karar verilmesiyle 2050 yılına kadar elektrik kullanım ve gerekli rüzgar gücü kurulumunun hesaplanabilmesi için TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu) verilerine göre ilçe için tahmini nüfus artışı %0,93 [19] ve ortalama yıllık kişi başı mesken elektrik tüketim artışı %6,00 olarak belirlenmiştir [20]. Buna göre, gerekli mesken elektrik üretimi **Eşitlik 1** ‘e göre hesaplanmıştır. Burada n, 2018’den 2050’ye artan yılları göstermektedir.

$$\text{Elektrik Üretimi} = \text{Kişi Başı Tüketim} * (1 + 0,06)^n * \text{Nüfus} * (1 + 0,0093)^n \quad (1)$$



Şekil 4: Edirne için 50 m rüzgar hızı ve kapasite faktörü dağılımları [18].

Tablo 1: Edirne İline Kurulabilecek RES Güç Kapasitesi [18]

50 m'de Rüzgar Gücü (W/m ²)	50m'de Rüzgar Hızı (m/s)	Toplam Alan(km ²)	Toplam Kurulu Güç (MW)
300-400	6.8-7.5	578,24	2.891,20
400-500	7.5-8.1	115,78	578,88
500-600	8.1-8.6	0	0
600-800	8.6-9.5	0	0
>800	>9.5	0	0
		694,02	3.470,08

Enerji ihtiyacının karşılanması için gerekli rüzgar gücü kapasitesi Eşitlik 2'ye göre hesaplanmıştır. Burada, kapasite faktörü rüzgardaki kinetik enerjinin ne oranda elektrik enerjisine dönüştürüldüğünü göstermektedir ve Keşan için 0,4 değeri alınmıştır [18].

$$\text{Kurulacak Rüzgar Gücü} = \text{Elektrik Üretimi} / (365 * 24 * \text{Kapasite Faktörü}) (2)$$

2.2 Sera Gazı Salınımları

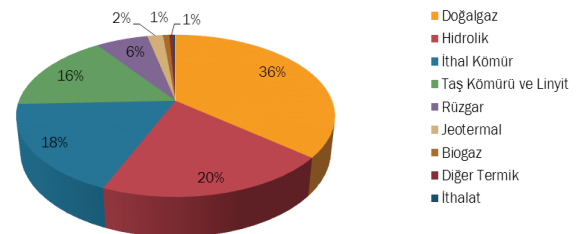
Tablo 2 çeşitli enerji kaynaklarından elektrik üretildiğinde salınan CO₂ aralıklarını ve bu üretim teknolojilerine ait ortalama salınım değerlerini göstermektedir. Buradaki ortalama salınım değerleri kullanarak ve şekil 5 de sunulan her kaynağın Türkiye elektrik kullanımına katkısı (% olarak) hesaba katılarak Eşitlik 3'e göre Türkiye elektrik sektörünün sera gazı salınımları hesaplanmıştır. Eşitlik 3'te n elektrik üretiminde kullanılan farklı enerji kaynaklarını temsil etmektedir. Burada, mevcut kullanım oranları ve salınım değerleri ile Türkiye'de elektrik enerjisi üretimi sonucu kWh başına 489 g CO₂ salınımı yapıldığı bulunmuştur. Rüzgar için ise 10 g/kWh değeri kullanılarak iki durum arasındaki fark hesaplanmış ve rüzgar ile elektrik üretiminde ne kadar CO₂ salınımının engellenebileceği hesaplanmıştır.

$$\text{Sera Gazı Salınımı} = (\sum_{k=1}^n \text{Ortalama Sera Gazı Salınımı} * \text{Kullanım Yüzdesi}) / 100 (3)$$

Tablo 2: Enerji Kaynaklarına Göre Karbon Emisyon Değerleri [21-23]

Kaynak	Min.-Max. Sera Gazı Emisyonu (ton-CO ₂ /GWh)	Ortalama Sera Gazı Emisyonu (ton-CO ₂ /GWh)	Bir Konuta Düşen Emisyon (kg-CO ₂ -yıl)
Linyit	790 – 1.372	1.054	3.689
İthal Kömür	756 – 1.310	888	3.108
Taş kömürü	756 – 1.310	888	3.108
Fuel-oil	547 – 935	733	2.566
Doğalgaz	362 – 891	499	1.747
Nükleer	2 – 130	66	231
Jeotermal		38	133
Biyokütle	10 – 101	26	91
Hidroelektrik	2 – 237	26	91
Güneş	13 – 731	23	81
Rüzgar	6 – 124	10	35

2017 Yılı Elektrik Üretimine Kaynaklara Dağılımı (Birim Değer MWh)

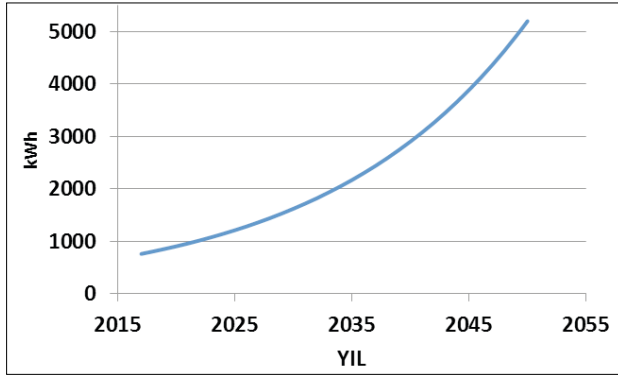


Şekil 5: 2017 Yılı Elektrik Üretimine Kaynaklara Dağılımı (Birim Değer MWh) [24].

III.BULGULAR VE TARTIŞMA

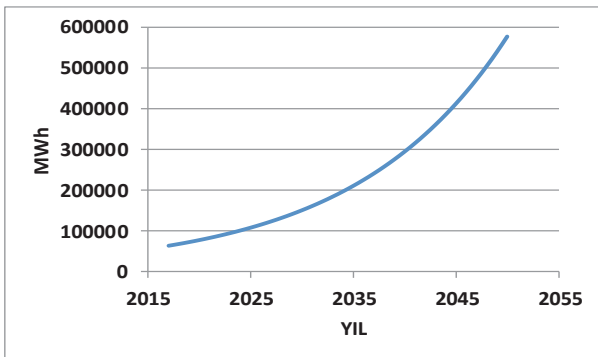
3.1 Elektrik Kullanımı ve Kurulu Güç

Şekil 6, 2018-2050 yılları arasında Keşan ilçesi için belirlenen kişi başı elektrik kullanım artışı göz önüne alınarak hesaplanan mesken elektrik kullanımındaki değişimi gösterilmektedir. Buna göre, Keşan ilçesinde 2018 yılında kişi başı mesken elektrik tüketimi 806 kWh iken 2050 yılında bu tüketimin 5200 kWh değerlerine yükseleceği hesaplanmıştır. Bu artışın, artan teknoloji ile birlikte artan kişisel elektronik eşyaların ve iklimlendirme cihazlarının kullanımına bağlı olduğu düşünülmektedir.



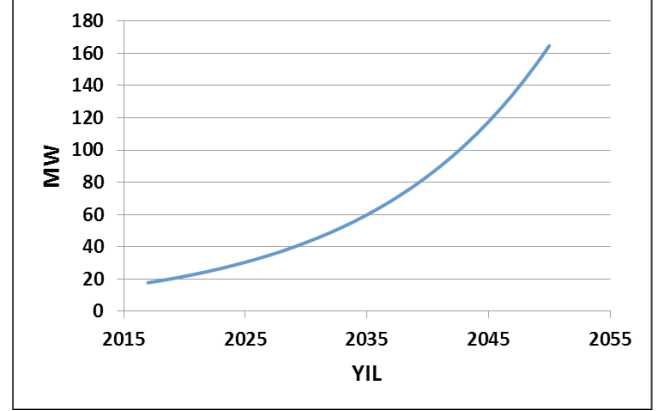
Şekil 6: Keşan ilçesi'nde 2050 yılına kadar kişi başına mesken elektrik kullanımının değişimi

Şekil 7'de 2018-2050 yılları arasında Keşan ilçesi için belirlenen nüfus artış hızı ve kişi başına elektrik kullanım artışı göz önüne alınarak hesaplanan toplam mesken elektrik kullanımındaki değişimi göstermektedir. 2018 toplam mesken elektrik tüketimi yaklaşık 62000 MWh iken 2050'de bu tüketimin 577000 MWh civarında olacağı hesaplanmıştır. Kişi başı elektrik kullanımına benzer şekilde bu artışa esas olarak artan yaşam standardına dayanan enerji kullanım artışının sebep olacağı düşünülmektedir.



Şekil 7: Keşan ilçesi'nde 2050 yılına kadar toplam mesken elektrik kullanımının değişimi

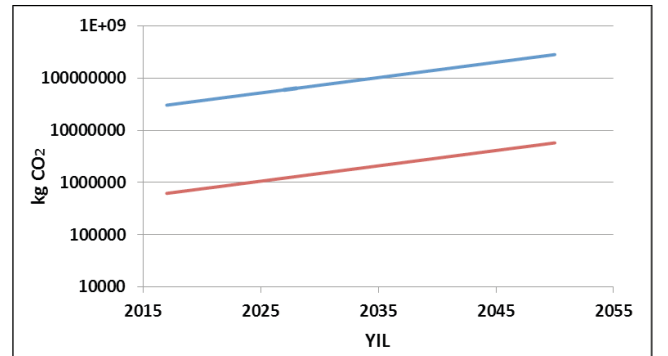
Şekil 8, Keşan'da 2050 yılına kadar mesken elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayabilmek için gerekli rüzgar gücü kurulumunun değişimini göstermektedir. Buna göre, 2018 enerji ihtiyacı 3'er MW'lık yedi adet rüzgar gülü ile karşılanabilirken 2050 elektrik ihtiyacı için aynı kapasitede 55 adet rüzgar gülü kurulumu gerekmektedir. Keşan bölgesinde rüzgar türbini kurulabilecek alanlar ve mevcut kapasite (Tablo 1'den 3470 MW) incelendiğinde, rüzgar enerjisi ile 2050 yılına kadar bu ihtiyacın karşılanabileceği bulunmuştur.



Şekil 8: Keşan ilçesi'nde 2050 yılına kadar gerekli kurulu rüzgar gücünün değişimi

3.2 Rüzgar Gücüne Bağlı Sera Gazı Salınımı Azalması

Şekil 9 logaritmik olup Türkiye'de mevcut kaynaklarla elektrik üretimi sonucu oluşan CO₂ salınımı ile rüzgar enerjisinden faydalanılarak elektrik üretildiğinde oluşan CO₂ salınım değerlerini Keşan özelinde karşılaştırmaktadır. Buna göre, rüzgar ile elektrik üretimi Keşan'da enerji üretimine bağlı CO₂ salınımlarında %97,96'lık bir azalma sağlamaktadır. Ayrıca, 2018'de engellenebilecek CO₂ salınımı 30 bin ton iken hesaplamalarımıza göre bu sayı 2050'de 275 bin tona çıkacaktır.



Şekil 9: Keşan ilçesi'nde mevcut kaynaklar ve rüzgar ile elektrik üretimi ile CO₂ salınım değişimleri. Mavi: Mevcut kaynaklar; Kırmızı: Rüzgar

IV.SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Çalışmamızda öncelikli olarak, ekonomik rüzgar türbini yatırımları için gerekli olan rüzgar hızı ve kapasite faktörü parametreleri ile trafo merkezleri ve enerji nakil hatları ve ilçe nüfusları gözönüne alınarak Edirne ili Keşan ilçesinin rüzgar türbini kurulumu için uygun bir bölge olduğu sonucuna varılmıştır. Daha sonra, artan hayat standardı ile birlikte, ilçede yıllık %6'lık elektrik kullanım artışı ile 2018-2050 yılları arasında kişi başı mesken elektrik tüketiminin 806 kWh'ten 5200 kWh değerlerine yükseleceği bulunmuştur. Türkiye'nin sera gazı salınımı azaltım taahhütlerinde belirttiği gibi, Türkiye'de enerji kullanımı yılda %6-7 oranında artış göstermektedir. Yine Keşan için ortalama %0,93 nüfus artış hızı da göz önüne alındığında, ilçedeki toplam mesken elektrik tüketiminin 2018-2050 yılları arasında yaklaşık 62000 MWh'tan 577000 MWh'e çıkacağı bulunmuştur. İlçede mevcut durumda 3'er MW'lık yedi adet rüzgar türbini ile mesken elektrik enerjisi ihtiyacı ile karşılanabilirken 2050 yılında bu ihtiyacın karşılanabilmesi için 3'er MW'lık 55 adet rüzgar türbininin kurulumu gerekmektedir. Keşan bölgesinde rüzgar gücü kurulabilecek alanlar ve mevcut kapasite incelendiğinde, rüzgar enerjisi ile 2050 yılına kadar bu ihtiyacın karşılanabileceği görülmektedir.

Türkiye'de mevcut kaynaklarla elektrik üretimi yapılırken ağırlıklı olarak fosil yakıtlardan (özellikle ithal doğalgaz ve kömür) yararlanılmakta ve 1 kWh elektrik enerjisi üretilirken 489 g CO₂ eşleniği sera gazı salınımı yapılmaktadır. Mevcut kaynaklarla elektrik üretimi sonucu oluşan CO₂ salınımı ile rüzgar enerjisinden faydalanılarak elektrik üretilirken oluşan CO₂ salınım değerlerini Keşan özelinde karşılaştırıldığında enerji üretimine bağlı CO₂ salınımlarında %97,96'lık bir azalma görülmüştür. Ayrıca, 2018'de engellenebilecek CO₂ salınımı 30 bin ton iken hesaplamalarımıza göre bu sayı 2050'de 275 bin tona kadar yükselmektedir. Bu farklılık seviyeleri tam kapasite ile kullanıldığında, rüzgar enerjisinin Türkiye'nin sera gazı salınımlarını azaltma hedeflerine önemli katkılar sağlayabileceğini göstermektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Kumar Y., Ringenberg J., Deparu S.S., Devabhaktuni V.J., Lee J.W., Nikolaidis E., Andersen., Afjeh A. (2016). Wind energy: Trends and enabling technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 53, 209-224.
- [2] Dai K., Bergot A., Liang C., Xiang W.N., Huang Z. (2015). Environmental issues associated with wind energy: A review. *Renewable Energy* 75, 911-921.
- [3] Kaplan Y. A. (2015). Overview of wind energy in the World and assessment of current wind policies in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 43, 562-568.
- [4] İlkilic C. (2012). Wind energy and assessment of wind energy potential in Turkey.. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16, 1165-1173.
- [5] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Ruzgar>. Şubat 2018 tarihinde ulaşıldı.
- [6] Burton T., Jenkins N., Sharpe D., Bossanyi E. (2011) *Wind Energy Handbook*. West Sussex, United Kingdom. WILEY, Second Edition.
- [7] Manwell J.F., McGowan J.G., Rogers A.L. (2009). *Wind Energy Explained: Theory, Design and Application*. Sussex, United Kingdom. WILEY.
- [8] Global Wind Atlas. <http://www.vindenergi.dtu.dk/english/news/2017/11/mapping-the-worlds-wind-energy-potential?id=aa03a611-1b4c-44b0-b453-c4c2e6adf3b8>. Ekim 2018 tarihinde ulaşıldı.
- [9] Türkiye Rüzgar Enerjisi Atlası. http://www.yegm.gov.tr/YEKrepa/REPA-duyuru_01.html. Şubat 2018 tarihinde ulaşıldı.
- [10] Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği. Türkiye Rüzgar Enerjisi İstatistik Raporu Temmuz 2018. https://www.tureb.com.tr/files/tureb_sayfa/duyurular/2018/08/istatistik_raporu_temmuz_2018.pdf. Ağustos 2018 tarihinde ulaşıldı.
- [11] Siddiqui O., Dincer I. (2017). Comparative assessment of the environmental impacts of nuclear, wind and hydro-electric power plants in Ontario: A life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production* 164, 848-860.
- [12] Xua L., Panga M., Zhanga L., Poganietz W.R., Marathe S.D. (2018) Life cycle assessment of onshore wind power systems in China. *Resources, Conservation & Recycling* 132, 361-368.
- [13] Huang Y.F., Gan X.J., Chiueh P.T. (2017). Life cycle assessment and net energy analysis of offshore wind power systems. *Renewable Energy* 102, 98-106.
- [14] Martineza E., Latore-Bielb J.I., Jimenez E., Sanza F., Blanco J. (2018). Life cycle assessment of a wind farm repowering process. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 93, 260-271.
- [15] Abbasi T., Premalatha M., Abbasi T.A., Abbasi S.A. (2014). Wind energy: Increasing deployment, rising environmental concerns. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 31, 270-288.
- [16] Küresel Karbon Atlası. <http://www.globalcarbonatlas.org/en/CO2-emissions>. Ekim 2018 tarihinde ulaşılmıştır.
- [17] Türkiye Cumhuriyeti Ulusal Katkı Taahhüdü https://www4.unfccc.int/sites/submissions/INDC/Published%20Documents/Turkey/1/The_INDC_of_TURKEY_v.15.19.30.pdf. Ekim 2018 tarihinde ulaşıldı.
- [18] Edirne İli Rüzgar Potansiyel Atlası. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü. <http://www.eie.gov.tr/YEKrepa/EDIRNE-REPA.pdf>. Aralık 2017 tarihinde ulaşıldı.

- [19] Türkiye İstatistik Kurumu Temel İstatistikleri , Nüfus Projesiyonları
<http://www.tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=temelist>. Nisan 2018 tarihinde ulaşıldı.
- [20] Türkiye İstatistik Kurumu Temel İstatistikleri, Çevre ve Enerji
<http://www.tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=temelist>. Nisan 2018 tarihinde ulaşıldı.
- [21] Melikoglu M. (2013). Vision 2023: Feasibility analysis of Turkey's renewable energy projection. *Renewable Energy* 50, 570-575.
- [22] Comparison of lifecycle greenhouse gas emissions of various electricity generation sources, World nuclear association report, World nuclear association (WNA), London,UK. http://www.worldnuclear.org/uploadedFiles/org/WNA/Publications/Working_Group_Reports/comparison_of_lifecycle.pdf
- [23] Savacool B.K. (2008). Valuing the greenhouse gas emissions from nuclear power: A critical survey. *Energy Policy* 36, 2950 – 2963.
- [24] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Kaynaklarına Göre Elektrik Üretimi
<http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik>. Nisan 2018 tarihinde ulaşıldı.