



## Rüzgar ve Güneş Enerjisi Sistemlerinin Fizibilite Analizlerinin Web Tabanında Gerçekleştirilmesi

### Implementation of Feasibility Analysis of Wind and Solar Energy on the Web Base

Yağmur ARIKAN\*<sup>1</sup>, Ertuğrul ÇAM<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kırıkkale Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 71450 KIRIKKALE

Başvuru/Received: 29/08/2016

Kabul/Accepted: 16/11/2016

Son Versiyon/Final Version: 15/01/2017

#### Öz

Bu çalışmada, rüzgâr ve güneş enerji sistemlerinin potansiyel, enerji üretimi ve ekonomik analizlerini yapmak için web tabanında bir yazılım hazırlanmıştır. Programda, örnek uygulama bölgesi olarak Amasra seçilmiştir. Bölgenin saatlik rüzgâr hızı verileri, Rayleigh istatistiksel yöntemi kullanılarak detaylı olarak incelenmiştir. Potansiyelin yatırım için uygunluğu görüldükten sonra bölgeye 600 kW'lık bir rüzgâr türbini kurulduğu takdirde bölgeden üretilecek rüzgâr enerji üretimi, türbinin kapasite faktörü, yatırımın geri ödeme süresi ve kar miktarı bulunmuştur. Üretilen temiz enerjinin çevreye katkıları sayısal olarak gösterilmiştir. Çalışmanın diğer kısmında, bölgenin aylık güneşlenme süreleri kullanılarak bölgeye 100 kWp kurulu güce sahip güneş paneli kurulduğu takdirde sistemden üretilecek güneş enerji üretim miktarı, yatırımın geri ödeme süresi ve kar miktarı bulunmuştur. Çalışmanın son kısmında, rüzgâr enerjisi ve güneş enerjisi verileri birleştirilerek, bölgeye hibrit enerji sistemleri kurulduğu takdirde, çeşitli senaryolar irdelenerek, üretilen enerji miktarları hesaplanmış ve yatırımın ekonomik analizi yapılmıştır. Bütün analizlerden elde edilen sonuçlara göre, hangi durumun bölge ve yatırımcı için daha kârlı olduğu araştırılmıştır.

#### Anahtar Kelimeler

“Rüzgar ve güneş enerjisi, Rayleigh istatistiksel metodu, ekonomik ve emisyon analizi, web tabanlı yazılım.”

#### Abstract

In this study, a software has been prepared in web base to make potential, energy generation and economic analysis of the wind and solar energy systems. In the software, the region of Amasra was selected as an application area. Wind potential of the region is analyzed with Rayleigh statistical methods by using hourly wind speed data of region and it has been found suitable for investment. If wind turbine with 600 kW is set up in the region, the amount of wind energy generation from region, capacity factor of turbine, the pay-back period and the amount of profitability are found. The contribution of generated clean energy to the environment is shown numerically. In the other part of study, amount of energy has calculated that will be generated from solar panels, if the solar panels install in the region with power of 100 kWp by using the region's sunshine duration. Then, as in the first part of the study, the economic and emission analysis has made of the investment. In the last part of study, data of wind energy and solar energy have been created for combining various hybrid systems and other analyzes are repeated for these. According to results of analysis it is found that which case is more profitable for the region and investors.

#### Key Words

“Wind and solar energy, Rayleigh statistical method, economic and emission analysis, web base software”

## 1.GİRİŞ

Rüzgâr ve güneş enerjisi ülkemiz için en önemli yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) ülkemizin kara rüzgâr potansiyeli 48.000 MW olarak belirlenmiştir. Yine MGM tarafından 10 m yükseklikte yapılan ölçümlere göre yıllık rüzgâr ortalama hızı 2.54 m/sn ve rüzgâr gücü yoğunluğu 24 W/m<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir (Makina Mühendisleri Odası, 2012), (Koç & Şenel, 2013). Rüzgâr enerjisinde olduğu gibi, ülkemizin 36-42 ° kuzey enlemleri ve 26-45° doğu boylamları arasında yer alması ve kutuplardan daha çok ekvatora yakın olması sebebiyle (ılıman kuşak) güneş enerjisi potansiyeli de yüksektir. Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nde mevcut bulunan ve 1966-1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ışınma şiddetinden yararlanarak Elektrik İşleri Etüt İdaresi tarafından yapılan çalışmaya göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7.2 saat), ortalama toplam ışınım şiddeti 1.311 kWh /m<sup>2</sup>-yıl (günlük toplam 3.6 kWh /m<sup>2</sup>) olduğu tespit edilmiştir (Çanka Kılıç, 2015).

Her iki yenilenebilir enerji kaynağının potansiyellerinin yüksek olması, çevreye dost olması, devlet tarafından teşvik alması bu kaynakların yatırımları konusunda birçok çalışmanın mevcut olduğu göstermektedir. Rüzgâr ve güneş verilerinin anlık olarak değişmesi, enerji ve maliyet hesabındaki formüllerin bu değerlerden çok etkilenmesi ve yatırım fiyatlarının çok yüksek olması nedeniyle fizibilite çalışmalarının doğru analiz edilmesini gerekli kılmaktadır. Piyasada fizibilite çalışmasını gerçekleştiren birçok ticari program bulunmaktadır. Bu programlar incelendiğinde genelde sabit ekipmanlarla analizlerin gerçekleştirildiği, kullanıcıların kendi türbin veya güneş panellerinin değerlerini kullanmadıkları, özellikle rüzgâr potansiyelini belirlemede gerekli olan istatistiksel programların kullanılmadığı ve her ne kadar çevreye dost denilse de bu enerjilerin çevreye sağladıkları katkıları sayısal olarak gösteremedikleri fark edilmiştir. Yatırımcılar ticari programları kullanan proje ve danışmanlık şirketlerine yatırımların toplam maliyetinin yaklaşık %3-4'ünü ödemektedir. Rüzgâr enerji sistemlerinin maliyetleri yaklaşık 1kW için 900-1200 € iken, güneş enerjisi için bu rakam 1800 -2000 £ civarında olduğu ve kurulu güçleri düşünüldüğünde bu şirketlere ödenen maliyetin hiç de azımsanmayacak kadar büyük olduğu görülmektedir.

Bu durumlar düşünüldüğünde, bu çalışmada rüzgâr, güneş ve hibrit sistemlerin fizibilite analizi üzerine çalışılmıştır. Analizler web tabanında hazırlanmış, hazırlanan ekranın her kullanıcıya hitap edecek şekilde ve görsel olmasına dikkat edilmiştir. Yazılımdaki kaynağın verileri, yatırımcının sermaye durumu, ekonomik girdiler gibi sürekli değişken olan verileri kullanıcılar rahatlıkla değiştirilebilecektir. Bu şekilde yatırımcılara ve akademisyenlere destek mekanizması sağlanmış, sanayi, küçük tüketici ve akademisyenlere çeşitli senaryoları deneme ortamına kavuşmuşlardır.

Web sayfası hazırlandıktan sonra örnek uygulama bölgesi olarak Batı Karadeniz bölgesinde yer alan Bartın ilinin küçük bir ilçesi olan Amasra seçilmiştir. Detaylı analiz yapmak için gerekli olan veriler bu bölgede bulunduğu için bu bölge seçilmiştir. Bölgenin 2012-2013 yılları arasındaki saatlik rüzgâr hızı verileri ve Rayleigh istatistiksel yöntemi kullanılarak bölgenin rüzgâr potansiyeli detaylıca incelenmiş, ölçek parametresi, bölgede en sık görülen rüzgâr hızı, enerji yoğunluğu, toplam enerji miktarı, enerji eldesine en çok katkı yapan rüzgâr hızı değerleri bulunmuştur. Yatırım için uygunluğu tespit edildikten sonra anma gücü 600 KW'lık bir rüzgâr türbiniyle bölgeye yatırım yapıldığında bölgeden üretilebilecek enerji miktarı ve türbinin kapasite faktörü bulunmuştur. Yatırımın fiyatı piyasa araştırması sonucu öğrenilip, bu yatırımın geri ödeme süresi, sermaye geri dönüş miktarı ve bugünkü değer yöntemleriyle çeşitli yönlerden ekonomik analizi yapılmıştır. Son olarak üretilen temiz enerjinin çevreye ve yatırımcıya sağlayacağı yararlar sayısal olarak ifade edilmiştir. Çalışmanın diğer kısmında, bölgenin aylık güneşlenme süreleri kullanmış ve 100 kWp güneş enerji sisteminin bölgeye kurulması durumunda rüzgâr enerjisindeki analizler tekrarlanmıştır. Çalışmanın son kısmında ise rüzgâr ve güneş verileri kullanılarak farklı güçlerdeki rüzgâr türbini ve güneş panelleriyle oluşturulan hibrit sistemler için analizler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve bölge ve yatırımcı için en uygun seçenek bulunmuştur.

## 2. FİZİBİLİTE ANALİZLERİ

Bu çalışmada, fizibilite analizlerinde gerçekleştirilen analizler 4 ana başlıkta incelenebilir. Bunlar potansiyel analiz, enerji analizi, ekonomik analiz ve emisyon analizidir. Potansiyel analiz sadece rüzgâr verilerini ilerleyen yıllara dönük olarak gerçekleştirilmiştir.

### 2.1. Potansiyel Analiz

Bir bölgedeki rüzgâr potansiyelinin tam olarak belirlenebilmesi için bir yılda yapılan ortalama rüzgâr hızı verileri yeterli değildir. Sağlıklı bir hesaplama için bölgenin on yıllık rüzgâr hızı verisine ihtiyaç vardır. Yatırımcılar için bu süre uzun olduğundan bir yıllık rüzgâr verileri ve çeşitli istatistiksel metotlardan yararlanılarak bölgenin potansiyeli analiz edilmektedir. Bu yöntemlerden sık kullanılanları Weibull ve Rayleigh dağılımlarıdır

1930 yılında İsveçli bir fizikçi olan W. Weibull tarafından bulunan Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonu esneklik ve basitlik nedeniyle rüzgâr enerji hesaplamalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonu iki parametrelidir olup şu şekilde ifade edilmektedir (Masters, 2004), (Patel , 1999).

$$f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right] \quad (1)$$

İfadede,  $f(v)$  gözlemlenen rüzgâr hızı olasılığı,  $k$  şekil parametresi ve  $c$  ölçü parametresidir. Kümülatif dağılım fonksiyonu ise aşağıdaki gibi ifade edilir (Patel , 1999), (Masters, 2004).

$$F(v) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right] \quad (2)$$

Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonları içerisinde  $k=2$  değerine sahip olan fonksiyon daha gerçekçi bir yapıya sahip olup, birçok bölgedeki rüzgâr karakteristiği ile örtüşmektedir.  $k=2$  değerine sahip Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonu Rayleigh olasılık yoğunluk fonksiyonu olarak adlandırılır. Rayleigh olasılık yoğunluk fonksiyonu sadece  $c$  ölçü parametresi ile rüzgâr hızını karakteristiğini belirlemek için yeterli ve hassas bir yöntemdir. Bu yüzden çalışmada rüzgâr verileri Rayleigh istatistiksel yöntemiyle analiz edilmiştir. Rayleigh olasılık yoğunluk fonksiyonu Eşitlik 3'deki gibi olup (Patel , 1999), (Masters, 2004)

$$f(v) = \frac{2v}{c^2} \exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^2\right] \quad (3)$$

Rüzgâr enerjisi potansiyeli analizlerinde ortalama rüzgâr hızı eşitlik 4'deki gibi hesaplanır (Masters, 2004), (Patel , 1999)

$$V_m = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i^3\right)^{1/3} \quad (4)$$

Rayleigh olasılık yoğunluk fonksiyonu  $c$  şekil parametresi ile ortalama rüzgâr hızı arasındaki ilişkiyi (Masters, 2004), (Patel , 1999)

$$V_m \cong 0.886 c \quad (5)$$

veya

$$c = \frac{2}{\sqrt{\pi}} v_m \cong 1.128 v_m \quad (6)$$

denklemleri ile gösterebiliriz. Son denklemden sonucu 3 denkleminde yerine koyarak ortalama rüzgâr hızı ile Rayleigh olasılık yoğunluk fonksiyonu 7 denkleminde ifade etmek daha kolay bir yöntemdir (Masters, 2004), (Patel , 1999)

$$f_R(v) = \frac{\pi v}{2v_m^2} \exp\left[-\frac{\pi}{4} \left(\frac{v}{v_m}\right)^2\right] \quad (7)$$

Son denklemler kullanılarak herhangi bir rüzgâr hızının olasılık değeri, ortalama rüzgâr hızı kullanılarak hesaplanır ve olasılık yoğunluk fonksiyonu oluşturulur. Rayleigh dağılımından yararlanılarak bölgede en sıklıkla görülen rüzgâr hızı ve enerji eldesine maksimum katkıda bulunan rüzgâr hızı değerleri kolaylıkla bulunabilir.  $V_{f_{maks}}$ , bölgedeki en sık görülen rüzgâr hızı olup ifade edip eşitlik 8'den,  $V_{Emaks}$  ise enerji eldesine en çok katkı yapan rüzgâr hızı olup eşitlik 9'dan bulunur (Mathew, 2006)

$$V_{Fmaks} = \sqrt{\frac{2}{\pi}} V_m \quad (8)$$

$$V_{Emaks} = \sqrt{\frac{2}{K}} = 2 \sqrt{\frac{2}{\pi}} V_m \quad (9)$$

Rayleigh dağılımı ile birim zaman aralığı için birim rotor kesit alanından üretilecek enerji yoğunluğu ve herhangi bir  $T$  zaman dilimi için, toplam enerji miktarı bulunabilir. Enerji yoğunluğunu ifade edip eşitlik 10'daki gibi,  $T$  zaman diliminde üretilecek toplam enerji miktarını ifade edip eşitlik 11'deki gibi bulunur. Eşitliklerdeki hava yoğunluğunu, rotor kesit alanını ve  $V_m$  ise ortalama hızını ifade eder (Mathew, 2006)

$$E_Y = \frac{3}{\pi} \rho_a V_m^3 \quad (10)$$

$$E_T = T E_Y = \frac{3}{\pi} T \rho_a V_m^3 \quad (11)$$

## 2.2. Enerji Analizi

### 2.2.1. Rüzgârdan Enerji Üretimi

Rüzgâr gücü ile rüzgâr hızının küpüyle doğru orantılı olup eşitlik 12 yardımıyla bulunur. Eşitlikteki  $P_R$ , rüzgâr gücünü,  $\rho$  hava yoğunluğunu,  $A$  rüzgâr türbinin kesit alanı,  $V_m$  ise ortalama rüzgâr hızını ifade etmektedir.

$$P_R = \frac{1}{2} \rho A v_m^3 \quad (12)$$

Rüzgârdan elde edilen enerji üretiminde bazı faktörlerin etkisi vardır. Bu faktörlerden bazıları ve etkileri aşağıda açıklanmıştır.

- **Yükseklik**

Hellman bağıntısı, rüzgar hızı ile yükseklik arasındaki ilişkiyi ifade etmektedir. Eşitlikteki  $V_o$ ,  $H_o$  yüksekliğindeki rüzgâr hızını,  $V$ ,  $H$  yüksekliğindeki rüzgâr hızını,  $\alpha$  ise pürüzlülük katsayısını ifade etmektedir (Masters, 2004)

$$\left(\frac{v}{v_o}\right) = \left(\frac{H}{H_o}\right)^\alpha \quad (13)$$

Rüzgârdaki kinetik enerjiye önce mekanik enerjiye daha sonra elektrik enerjisine dönüştüren sistemlere rüzgâr türbini denmektedir. Rüzgâr türbinlerinin performansını belirleyen önemli özelliklerden birisi farklı rüzgâr hızlarında türbinin ürettiği güç değeridir. Rüzgâr ölçümlerinde elde edilen rüzgâr hızı değerleri ve ortalama rüzgâr hızı verisi ile bir bölgedeki belirli bir zaman aralığında esen rüzgâr hızlarının her birinin süresini bulmakta mümkündür. Rüzgâr türbini güç eğrisi ile rüzgâr hızlarının esme süresi gruplandırılıp bir araya getirilirse toplam elektrik enerjisi üretim miktarı bulunabilir (Masters, 2004).

$$E_{ruzgar} = \sum_{i=1}^{25} (Türbin\ gücü\ (i) * Rüzgar\ olasılığı\ (i) * Zaman) \quad (14)$$

Bir rüzgâr türbininin kurulacağı bölgedeki performansını gösteren önemli bir işaret kapasite faktörüdür. Kapasite faktörü eşitlik 15'de ifade edilmiştir (Masters, 2004), (Mathew, 2006).

$$K_F = \frac{\text{Üretilen toplam enerji}}{P_R \times 8760} \quad (15)$$

### 2.2.2. Güneşten Enerji Üretimi

Güneş enerjisinden elektrik üretiminde fotovoltaiklerden yararlanılmaktadır Fotovoltaikler sayesinde üretilen akım DC (Doğru Akım) olup, her bir modülün çıkış gerilimi 12- 1000 V, gücü 180-250 W aralığındadır. GES'lerin ürettikleri elektriğin çıkış gerilimleri bağlanacakları şebekenin gerilim seviyesine göre tasarlanır. Şebeke gerilimi 400 V'un üzerinde ise, 400 V/31,5 kV gibi gerilim yükseltici trafolar kullanarak şebekeyle irtibat sağlanır. DC olarak üretilen elektrik akımı ve gerilimi invertörle AC'ye (Alternatif Akım) dönüştürülür (Selekoğlu, 2012)

Bir güneş paneli sisteminden enerji üretimi hesabında bölgenin güneşlenme süresi, panelin verimi ve panelin kurulu gücü önemlidir. 1 kW'lık bir sistem için yaklaşık yedi metrekairelik bir alana ihtiyaç duyulmaktadır. 1 kW'lık kurulu güce sahip güneş panelleri yaklaşık günde altı saatlik güneşlenme süresine sahipse günde yaklaşık 6 kWh, yılda ise 2190 kWh elektrik enerjisi üretmiş olacaktır. Net enerji üretimi ise belirli kayıplara uğrayacaktır. Güneş panellerinden elektrik enerjisi üretim hesabı eşitlik 16 yardımıyla yapılır. Ülkemizde güneş enerjisi 1 kWh 'i piyasaya 13.3 centten satılmaktadır (Özsoy & Somer, 2013)

$$E_{güneş} = \text{Güneşlenme süresi} * \text{Toplam kurulu güç} * \text{Verim} * \text{Gün sayısı} \quad (16)$$

## 2.3. Ekonomik Analiz

Rüzgar ve güneş enerjisi yatırımları için gerekli maliyetler çıkartıldıktan sonra (tüm sistem yapılarının maliyetleri) yatırımının ekonomik olup olmadığı için bazı analizler yapılmaktadır. Bu analizler aşağıda açıklanmıştır.

- **Geri ödeme Süresi**

Bu yöntem 'sıfır' faiz oranı yatırımın getirisinin maliyeti ne kadar sürede karşılayacağıdır. Örnek verilecek olursa 10.000 YTL 'bir yatırım 1.yıl 2000 YTL, 2.yıl 3000 YTL, 3.yıl 3000 YTL, 4.yıl 2000 YTL getiriyorsa yatırım kendisini 4 sene içerisinde karşılamaktadır (Başaran, 2010).

### • Sermaye Geri Dönüş Miktarı

Yıllara yayılmış elektrik enerjisi maliyeti bir rüzgâr enerjisi santral yatırımının ekonomikliğinin tanımlandığı ana parametredir. Bir başka deyişle, nakit akışlarının ortak bir yıla indirgenmiş bir rüzgâr enerjisi santrali yatırımının ömrü boyunca tüm maliyetlerin toplamıdır. Yıllara yayılmış elektrik enerjisi maliyeti ana bileşenleri sermaye maliyeti, işletme ve bakım maliyetleri ve tahmin edilen yıllık enerji miktarıdır (International Renewable Energy Agency (IRENA), 2012).

Rüzgâr türbinden üretilen elektrik enerjisinin maliyet analizini yapmak için yıllık yatırım maliyetini yıllık enerji üretimi miktarına bölmek gerekir. Yıllık yatırım maliyetini bulmak için uygun bir katsayı kullanarak sermaye yatırımı öngörülen yatırım süresince hesap dışında tutulmalı ve sonra tahmin edilen yıllık işletme ve bakım maliyetleri eklenmelidir. Borç ile finanse edilen bir rüzgâr yatırımı için, sermaye maliyetini uygun bir sermaye geri dönüş (SGDF) faktörü kullanarak yıllara yayılmış olarak hesaplanabilir. Sermaye geri dönüş faktörü  $i$  faiz oranı ve  $n$  borçlanma süresine bağlıdır. Böyle bir borcun sermaye geri dönüş faktörü ve yıllık borç geri ödeme miktarı (Masters, 2004).

$$SGDF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (17)$$

$$YBBGM = BBM \cdot SGDF = BBM \cdot \left[ \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] \quad (18)$$

şeklinde ifade edilir. Burada; YBBGM; banka borcu yıllık geri ödeme miktarı, BBM; banka borç miktarı,  $i$  faiz oranı ve  $n$  borç ödeme süresidir.

Finansal hesaplamaların hassasiyeti istenirse daha da artırılabilir. Büyük rüzgâr santrali yatırımlarında sermaye maliyetleri öz kaynak oranında bölünür ve yatırımcı uygun bir oranda yıllık geri dönüş miktarını almak ister. Bu durumda elektrik satış fiyatı hesaplanırken alınan borç ve öz kaynak oranı da göz önünde bulundurulur. Ayrıca gelir vergisi, diğer vergiler, enflasyon, amortisman gibi diğer faktörlerde finansal hesaplamaların içine katılabilir. Yatırımın tümü borçla yapılmayacak, bir kısmı öz kaynak ile karşılanacaksa ayrıca öz kaynak için istenilen yıllık geri ödeme miktarı da hesaplanır (Masters, 2004). Bu durumda;

$$YÖKGM = GDY \times ÖKM \quad (19)$$

Burada; YÖKGM; öz kaynak yıllık geri ödeme miktarı, GDY; öz kaynak geri dönüş yüzdesi, ÖKM; öz kaynak miktarıdır. Yıllık işletme ve bakım masraflarının da hesaplama katılması durumunda toplam borcun yıllık geri ödeme miktarı (YBGÖM);

$$YBGÖM = YBBGM + YÖKGM + YİBM \quad (20)$$

şeklinde hesaplanır. Burada  $YİBM$  yıllık bakım ve işletme masraflarıdır (Masters, 2004).

### 2.4. Emisyon Analizi

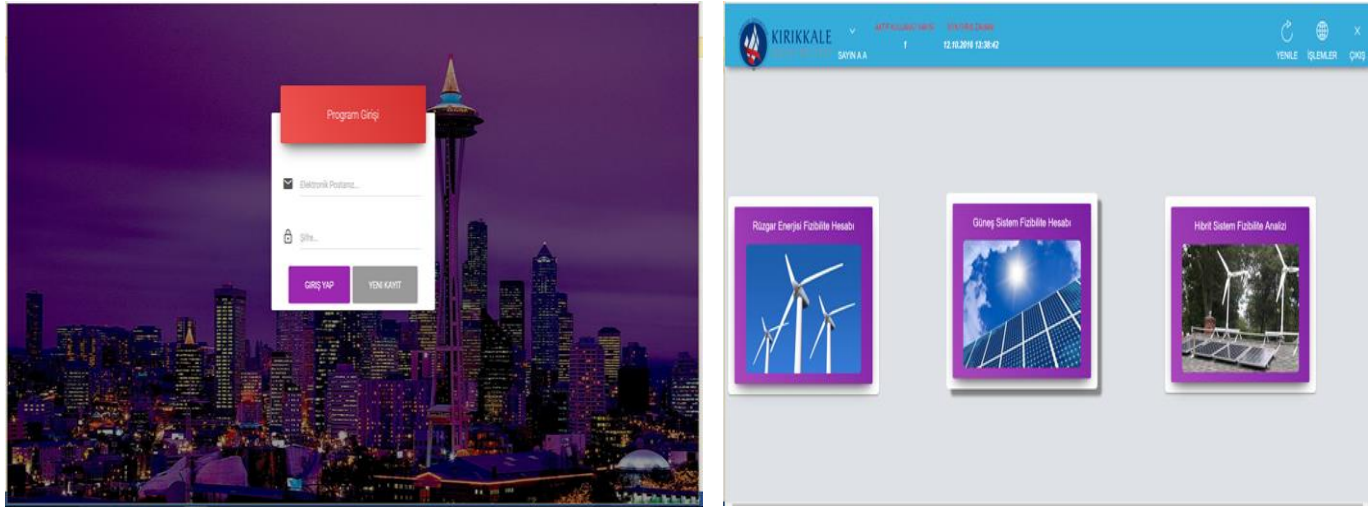
Rüzgâr ve güneş enerjisinin çevreye sağladığı en büyük avantaj fosil kaynaklı yakıtların aksine sera gazı emisyonları azaltmasıdır. Karbon piyasaları ikiye ayrılmaktadır. Bunlar Kyoto protokolünü imzalayan ülkeler zorunlu piyasalar, protokolü imzalamayan ülkeler gönüllü piyasalar olarak adlandırılmaktadır. Gönüllü piyasalarda bir ton karbon 4.5-5.5 euro/dolar arasında karşılık bulurken, zorunlu piyasalarda bu değer 12-15 euro/dolar arasında karşılık bulmaktadır. Ülkemiz Kyoto protokolünü imzalayan ülkeler arasındadır fakat şu ana kadar sayılaştırılmış sera gazı azaltılması yükümlülüğüne sahip değildir (Doğan, Çolakoğlu, & Kıncaç, 2012), (Anonim, Enerji Verimliliği ve Karbon Salınımı Konferansı). 1 ton CO<sub>2</sub> miktarının azalması, yaklaşık olarak 429.6 litre tüketilmeyen benzine, 227.6 dönüm karbon emen araziye ve 344.9 ton geri kazanılan atık miktarına eş değerdir.

### 3. YATIRIM İÇİN WEB SAYFASININ HAZIRLANMASI

Web sayfası ASP.NET program dilinde framework 4S ile gerçekleştirilmiştir. Sistem incremental model kullanılarak geliştirilmiştir. Sistemde ayrıca jquery ve bootstrap açık kaynak kodlu kütüphane de kullanılmıştır. Bu özelliklerden en önemlisi float point sayılar ve recursive yapı kullanılmıştır. Veri tabanı olarak MSSQL kullanılmıştır. Bunun için gerekli bağlantı protokolü kullanılmış ve tüm işlemler ve log kayıtları burada tutulmuştur.

Kullanıcılar programa ilk girdikleri anda Şekil 1.a.'daki kayıt ekranı ile karşılaşacaklardır. Programı ilk defa kullanan kişiler yeni kayıt ekranına yönlendirilecektir. Kişiye ait bilgiler kaydedildikten sonra kullanıcılar e-mail adresleri ve şifreleriyle analizleri gerçekleştirilebilecekleri ana ekrana yönlendirilecektir. Bu işlemleri tamamlayan kullanıcılar, rüzgâr, güneş ve hibrit enerji sistemlerinin fizibilite analizlerini gerçekleştirilebilecekleri ana ekrana (Şekil 1.b.) yönlendirilecektir. Bu ekrandaki 3 butondan

herhangi birine basarak istedikleri kaynağın fizibilite analizini gerçekleştirebilirler. Bu ekranda kullanıcı sayısı, kullanıcının son giriş zamanı gibi bilgilerle ekran görüntüsü zenginleştirilmiştir.



(a)

(b)

Şekil 1. (a) Web sayfası kayıt ekranı (b) 3 farklı analiz için ana ekran görüntüsü

Rüzgar enerjisi için fizibilite analizi yapmak isteyen kullanıcı Rüzgar enerjisi fizibilite analizi butonuna bastığında Şekil 3'deki gibi bir ekranla karşılaşacaktır. Bu ekranda kullanıcı bölgeye ait sıcaklık, yükseklik, yeryüzü yapısı gibi bilgileri, bölgeye ait aylık ortalama rüzgar hızı verilerini, kullanmak istedikleri türbin güç eğrisi parametrelerini, sermaye durumuna ilişkin bilgileri rahatlıkla girebilecektir. Güneş enerjisi ve hibrit sistem içinde benzer ekranlar hazırlanmıştır.

Tablo 2. Bölgenin rüzgar potansiyeli sonuçları

Aylar	$V_m$ (m/sn)	c	$E_y$ (w)	$E_t$ (w)	$V_{fmaks}$ (m/sn)	$V_{emaks}$ (m/sn)
Ocak	6.78	7.65	363.80	270670.11	5.41	10.81
Şubat	5.86	6.61	235.29	158117.24	4.67	9.35
Mart	3.71	4.19	59.64	44374.31	2.96	5.92
Nisan	4.72	5.33	123.17	88684.95	3.77	7.54
Mayıs	4.98	5.62	144.66	107627.58	3.98	7.95
Haziran	6.41	7.24	308.26	221947.00	5.12	10.23
Temmuz	4.95	5.58	141.55	105311.24	3.95	7.89
Ağustos	6.08	6.86	262.42	195238.60	4.85	9.70
Eylül	5.77	6.51	224.50	161639.58	4.60	9.20
Ekim	5.45	6.15	189.17	140741.99	4.35	8.69
Kasım	5.47	6.17	191.47	137858.62	4.36	8.73
Aralık	7.29	8.23	452.86	336928.30	5.82	11.63
Yıllık ort.	5.77	6.51	224.73	167.20	4.60	9.21

<b>Bölge Özellikleri</b> Yer: 1 Yükseklik: 200 Sıcaklık: 15 Yeryüzü Yapısı: Uzun cimli Toprak	<b>Emisyon Analizi</b> Rüzgar Emisyon Katsayısı: 0,62 1 ton sera gazı azalması egdeğeri(Euro): 13 Euro Kuru(Tl): 2,85	<b>Enerji Analizi</b> Ölçüm Yüksekliği: 10 Kule Yüksekliği: 40 Anma Gücü(kW): 600 Süpürme Alanı: 1452	<b>Ekonomik Analiz</b> Maliyet: 2147260 Özkaynak(%): 3 Yurtiçi Banka borç oranı: 2 Yurtdışı Banka borç oranı: 5 Borç Ödeme Süresi: 10 Elektrik birim satış fiyatı (Cent): 7,5 Özkaynak Faiz(%): 15 Yurtiçi Faiz (%): 9 Yurtdışı Faiz (%): 65 Dolar Kuru: 2,14 Faiz Faktör: 8 HESAPLA
<b>Layout Group</b> 1: 0    2: 0    3: 2 4: 17    5: 45    6: 72 7: 124    8: 196    9: 277 10: 364    11: 444    12: 533 13: 584    14: 618    15: 619 16: 618    17: 619    18: 620 19: 610    20: 594    21: 592 22: 590    23: 580    24: 575 25: 570	<b>Rüzgar Hızları m/sn</b> Ocak: 6,77 Şubat: 5,85 Mart: 3,7 Nisan: 4,72 Mayıs: 4,98 Haziran: 6,41 Temmuz: 4,95 Ağustos: 6,07 Eylül: 5,77 Ekim: 5,45 Kasım: 5,47 Aralık: 7,28		

Şekil 2. Rüzgar enerjisi için gerekli veri giriş ekranı

## 5. UYGULAMA SONUÇLARI

Bu programa göre, aylara göre elde edilmiş potansiyel analiz sonuçları, Tablo 2'de verilmiştir. Çizelgedeki  $V_m$  ortalama rüzgar hızını,  $c$  ölçek parametresini,  $E_y(w)$  enerji yoğunluğu,  $E_t$  toplam enerji miktarını,  $V_{fmax}$  en sık görülen rüzgar hızını,  $V_{emaks}$  ise enerji eldesine en çok katkı yapan rüzgar hızını ifade etmektedir. 10 m yükseklikte bölgenin rüzgar hızı ortalaması 3.71 m/sn ile 7.29 m/sn arasında değişmekte olup, yıllık rüzgar hızı ortalaması 5.77 m/sn'dir. Rayleigh metodu kullanıldığı için şekil parametresi her zaman ikiye eşittir. Ölçek parametresi 4.19 ile 8.23 arasında değişmektedir. Mart ayında en düşük değere, aralık ayında en yüksek değere sahiptir. Ortalama hız da en düşük ve en yüksek değerlerini aynı aylarda almıştır, bu da ölçek parametresi ile ortalama hız arasındaki doğrudan ilişkiyi göstermektedir.

Aylar içindeki en sık görülen rüzgâr hızı değerleri 2.96 m/sn ile 5.82 m/sn arasında değişmekte iken, enerji eldesine maksimum katkı yapan rüzgâr hızı değerleri 5.92 m/sn ile 11.63 m/sn arasında değişmektedir. En düşük değere mart ayında, en yüksek değere aralık ayında rastlanmaktadır. Rayleigh istatistiksel metoduyla yapılan potansiyel analiz sonucunda, bölgenin rüzgâr enerjisi bakımından zengin olduğu ve yatırım için bölgenin uygun olduğu ortaya konmuştur.

Çalışmanın bu kısmında, bölgenin rüzgâr potansiyelinden yararlanarak enerji üretimi yapabilmek için gücü 600 kW olan Nordex 43 türbini verileri kullanılmıştır. Türbinin kule yüksekliği farklı seçenekler arasında 40 m olarak kabul edilmiştir. Enerji analizinde ilk olarak sıcaklık ve yükseklik değerlerine bağlı olarak hava yoğunluğu hesaplanmış, 10 m yükseklik için ortalama hız değeri, bölgeden elde edilebilecek rüzgâr gücü ve bölgenin yıllık enerji potansiyeli bulunmuştur. Sıcaklık 15°C, yükseklik ise 200 m alınmış olup, istenirse değiştirebilir. 10 metredeki yıllık ve mevsimsel olarak bulunan ortalama rüzgâr hızının kullanılan türbinlerin kule yüksekliğine göre Hellman bağıntısı yardımıyla dönüştürülmüştür. Hesaplamalarda pürüzlülük katsayısı bölgenin özelliğine göre 0.15 olarak alınmıştır, Bu değer, programda kullanıcıdan isteniyor olup istenildiği takdirde değiştirebilir. Bölgenin güneşlenme süreleri kullanılarak, 100 kWp kurulu güçlü bir sistem kurulacağı düşünülmüştür. Buna göre bölgeden rüzgâr, güneş enerjisinden üretilebilecek enerji miktarları, türbinin kapasite faktörü ve paneller için gerekli alan Tablo 3'deki hesaplanmıştır.

**Tablo 3.** Rüzgar ve güneş enerjisinden elde edilen enerji miktarları

<b>Rüzgardan üretilen enerji</b>	<b>1647.84</b>
<b>Rüzgar Türbinin Kapasite Faktörü (%)</b>	<b>31.35</b>
<b>Güneşten Üretilen Enerji (kWh)</b>	<b>98692</b>
<b>Gerekli Panel Alanı (m<sup>2</sup>)</b>	<b>700</b>

Bölge için en iyi yatırımı yapabilmek ve bölgeye en uyumlu olabilecek türbini bulabilmek için enerji analizi yapıldıktan sonra ekonomik analizler yapılmıştır. Ekonomik analizlerde doğru rakamlara ulaşabilmek için çalışma öncesinde piyasa araştırması yapılmış, yatırım için gerekli olan maliyetlerde doğru ve güncel rakamlara ulaşılmaya çalışılmıştır. Bu araştırmalar sonucunda Nordex 43 türbininin maliyeti 2147260 TL, 100 kWp güneş panelinin maliyeti 140000 € alınmış, 1kwh rüzgar enerjisinin 7.5 centten 1kwh güneş enerjisinin piyasaya 13.3 centten piyasaya satılacağı düşünülmüştür. Her iki yatırım için ekonomik koşullar düşünülerek, beş türbin için de yatırım tutarının, yüzde otuzunun öz kaynak, yüzde ellisinin dış kredilerden ve yüzde yirmisinin yurt içi ticari kredilerden sağlandığı düşünülmüştür. Güncel rakamlar olması nedeniyle, öz kaynak bono faizi %15, yurt içi ticari faiz oranı %9 ve yurt dışı kredi faiz oranı %6.5 alınmış, borç ödeme süresi 10 yıl olarak kabul edilmiştir. Bu rakamlar program sırasında değiştirilebilir ve güncellenebilir. Buna göre yazılım sonucu elde edilen değerler Tablo 4'de verilmiştir.

**Tablo 4.** Rüzgar ve güneş enerjisinin ekonomik analiz sonuçları

	<b>Rüzgar Enerjisi</b>	<b>Güneş Enerjisi</b>
<b>Geri Ödeme Süresi</b>	6	10
<b>Yıllara yayılmış elektrik birim satış fiyatı</b>	0.190	0.58
<b>Kar miktarı</b>	8.190.096,0	449435

Rüzgar enerjisinin çevreye sağladığı en büyük avantaj fosil kaynaklı yakıtların aksine sera gazı emisyonları azaltmasıdır. Türkiye için rüzgar emisyon katsayısı 1 kWh için 0,62 kg güneş emisyon katsayısı 0.628 kg alınmıştır Rüzgar ve güneş enerjisinin çevreye sağladığı katkıları sayısal göstermek için Bu yüzden, 1 ton karbondioksit salınımı azaltılması miktarı yaklaşık 13 Euro olarak kabul edilmiş, 1 ton CO<sub>2</sub> miktarının azalması, yaklaşık olarak 429.6 l tüketilmeyen benzine, 227.6 dönüm karbon emen araziye ve 344.9 ton geri kazanılan atık miktarına eş değerdir. Elde edilen sonuçlar Tablo 8'de gösterilmiştir.

**Tablo 5.** Rüzgar ve güneş enerjisi için emisyon analizi sonuçları

	<b>Rüzgar Enerjisi</b>	<b>Güneş Enerjisi</b>
<b>Net yıllık sera gazı azalması (Tc02)</b>	1021.66	63.952
<b>Piyasa Değeri (Tl)</b>	37852.5	2369.44
<b>Net tüketilmeyen benzin (tl)</b>	438905	27474
<b>Orman Arazi (dönüm)</b>	232530	14555.6
<b>Geri Kazanılan Atık (ton)</b>	352371	22057.2

Çalışmanın son kısmında, iki önemli yenilenebilir enerji kaynağı olan rüzgâr ve güneş enerjisiyle ilgili hibrit bir sistem kurulup yatırım yapıldığı takdirde, yatırımın sağlayacağı enerji miktarı ve üretilen enerjinin bölgenin enerji ihtiyacını karşılama oranı bulunmuştur. Bu orana göre çeşitli durumlarda bölge için en yararlı ve yatırımcı için en kârlı durum bulunmaya çalışılmıştır.

Bu sistem için hazırlanan programda, daha farklı seçeneklerde denenebilir.

1. durum: 2300 Mw'lık 57 m kule yüksekliğine sahip Enercon-44 türbininden 1 adet ve 1 adet 45 m kule yüksekliğine sahip 900 kW'lık Enercon-44 türbini ve 300 kWp güce sahip güneş paneli
2. durum: 2500 MW'lık 60 m kule yüksekliğine sahip Nordex-N80 türbini ve 600 MW'lık 40 m kule yüksekliğine sahip Nordex-43 türbininden bir adet ve 500 kWp güce sahip güneş paneli
3. durum: 3000 MW'lık 78 m kule yüksekliğine sahip Enercon-82 rüzgar türbinden 1 adet ve 200 kWp güce sahip güneş paneli
4. durum: 4.durum 2500 MW'lık Nordex-N80 türbini ve 1000 kWp güce sahip güneş paneli



Durumlara bağılı olarak üretilen enerji üretim miktarları, üretilen enerji geliri, geri ödeme süresi, kar miktarı ve yıllara yayılmış elektrik enerjisi birim satış fiyatı Tablo 6'da verilmiştir.

**Tablo 6.** Hibrit sistem sonuçları

	HS-1	HS-2	HS-3	HS-4
<b>Elektrik Enerjisi Üretimi</b>	8845.09	8907.34	8836.27	7752.42
<b>Geri Ödeme Süresi</b>	7	7	7	8
<b>Kar miktarı</b>	19.685.600,0	19.824.200,0	15.926.600,0	15.926.600,0
<b>Yıllara yayılmış elektrik enerjisi birim satış fiyatı</b>	0.244	0.246	0.243	0.28

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Tübitak 1001 kodlu 115E406 sayılı 'Rüzgar ve Güneş Enerji Sistemlerinde Web Tabanlı Noktasal Karar Destek Sistem Yazılımı' başlığı altındaki proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Verilen bu destek nedeniyle Tübitak'a teşekkürlerimizi sunarız.

## ÇIKARIMLAR

Bu çalışmada, yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgar ve güneş enerji sistemlerinin potansiyel ve ekonomik analizlerini yapmak için web programında bir yazılım hazırlanmıştır. Hazırlanan programda, örnek uygulama bölgesi olarak Bartın ilinin Amasra ilçesi seçilmiştir. Bölgenin, bir yıllık süreyle ölçülen saatlik rüzgar hızı verilerine Rayleigh istatistiksel metodu uygulanmış, bölgenin 10 metre yükseklikteki yıllık ortalama rüzgar hızı 5.77 m/sn olarak bulunmuştur. Kış aylarında ortalama hızların yüksek olduğu, buna bağılı olarak ölçek parametresinin de yüksek olduğu, ilkbahar aylarında ise ortalama rüzgar hızının düşük olduğu buna bağılı olarak ölçek parametresinin de düşük olduğu görülmüştür. Bölgenin rüzgar hızı ve güneşlenme süreleri kullanılarak farklı güçteki rüzgar türbini ve güneş panelleri için enerji analizi, ekonomik analiz ve emisyon analizi yapılmıştır. Her üçü için yapılan analiz sonuçları karşılaştırıldığında, bölge için en uygun yatırımın rüzgar enerjisinden elde etmek olduğu görülmüştür. Bölge için henüz güneş enerjisi yatırımının uygun olmadığı, fakat öz kaynak miktarının artırılması, güneş panellerinin verimliliklerinin artması ve ilk maliyetlerinin azalması durumunda yatırımın gerçeğe dönüşebileceği söylenebilir. Fakat bu durum, Amasra bölgesi için geçerli olup, herhangi bir yerde daha farklı olabilir. Bu yüzden bölgelerin rüzgar ve güneş potansiyelleri önemlidir.

## KAYNAKLAR

Anonim. (tarih yok). *Amasra Kaymakamlığı*. <http://www.amasra.gov.tr/iklim.html>, (Erişim tarihi: 30.08.2016).

Anonim. (tarih yok). *Enerji Verimliliği ve Karbon Salınımı Konferansı*. [http://www.turktelekomakademi.com.tr/kurumsal50/Specific/TELEKOM/Upload/media/ek-1\\_Akademi\\_Enerji\\_VerimlilikiveKarbonSalinimi.pdf](http://www.turktelekomakademi.com.tr/kurumsal50/Specific/TELEKOM/Upload/media/ek-1_Akademi_Enerji_VerimlilikiveKarbonSalinimi.pdf).

Anonim. (tarih yok). *Rüzgar Hızı ve Yönü İstatistiksel Bilgiler, Meteoroloji Genel Müdürlüğü*. <http://www.dmi.gov.tr/site/bilgi-edinme.aspx?r=d>, (Erişim tarihi: 02.08.2016).

Başaran, B. (2010). Rüzgar Enerjisi Santrali Esentepe Yerleşkesi Örneği . *Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*. Sakarya.

Çanka Kılıç, F. (2015). Güneş Enerjisi, Türkiye'deki Son Durumu ve Üretim Teknolojileri. *Mühendis ve Makina*, 56(671), s. 28-40.

Doğan, B., Çolakoğlu, A., & Kincay, O. (2012). RETScreen Analiz Programı ile Hatay'da Rüzgar Enerji Santrali Fizibilite Analizi. *Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği, Makine Mühendisleri Odası*, 131, 22-27.

International Renewable Energy Agency (IRENA). (2012). *Renewable Energy Technologies: Cost Analysis Series*.

Koç, E., & Şenel, M. C. (2013). *Dünya'da ve Türkiye'de Enerji Durumu-Genel Değerlendirme*. *Mühendis ve Makina*: 54(639),32-44.

Makina Mühendisleri Odası. (2012). *Türkiye'nin Enerji Görünümü*. Ankara: TMMOB Makina Mühendisliği Odası Yayınları.

- Masters, M. (2004). Renewable and Efficient Electric Power Systems. M. Masters içinde, *John Wiley & Sons, Inc.* (s. 334-379). U.S.A.
- Mathew, S. (2006). *Wind Energy Fundamentals, Resource Analysis and Economics*. Netherlands: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Özsoy, İ., & Somer, H. (2013). *Afyonkarahisar'daki İşletmeler Gücünü Güneş Enerjisinden Alıyor Projesi 100 kWp, 50 kWp, 25 kWp, Güçlerde Güneş Enerjisinden Elektrik Enerjisi Üretimi Sistemi Fizibilite Raporları*.
- Patel , M. (1999). Patel , M.R;. W. a. Systems. içinde, *CRC Press* (s. 40-65). USA.
- Selekoğlu, M. (2012). Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimine Genel Bir Bakış ve Uygulama. *Enerji Mühendisliği ve Enerji Yönetimi Danışmanlığı* .