

e-ISSN:2587-2168

Year: 2022  
Vol: 8 Issue: 40  
pp 291-297Article ID  
58147Arrival  
27 January 2022  
Published  
30 April 2022**DOI NUMBER**<http://dx.doi.org/10.29228/ideas.58147>**How to Cite This Article**İnan, C. & Çelik, Ş. (2022).  
"Rüzgar Hızı Değişiminin  
Fourier Serileri İle  
Modellenmesi: Bingöl İli  
Örneği", International  
Journal of Disciplines  
Economics &  
Administrative Sciences  
Studies, (e-ISSN:2587-2168),  
Vol:8, Issue:40; pp:291-297International Journal of Disciplines  
Economics & Administrative  
Sciences Studies is licensed under  
a Creative Commons Attribution-  
NonCommercial 4.0 International  
License.**Rüzgar Hızı Değişiminin Fourier Serileri İle Modellenmesi: Bingöl İli Örneği**

Modeling Of Wind Speed Variation With Fourier Series: Example Of Bingöl Province

Cebeli İNAN<sup>1</sup> Şenol ÇELİK<sup>2</sup> <sup>1</sup> Öğr. Gör., Bingöl Üniversitesi, Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu, Finans Bankacılık ve Sigortacılık Bölümü, Bingöl/Türkiye  
<sup>2</sup> Doç. Dr., Bingöl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Zootekni Bölümü, Biyometri ve Genetik, Bingöl/Türkiye**ÖZET**

Bu çalışmada, trigonometrik fonksiyonlar yani Fourier Serileri ile Türkiye’de Bingöl ilinde 2010-2020 dönemi aylara göre rüzgar hızının seyri incelenmiştir. Yapılan analizle, rüzgar hızının Mart-Ağustos aylarında artış eğiliminde olduğu, Eylül-Şubat aylarında ise düşük değerlerde seyrettiği görülmüştür. Bu durum her yıl aynı aylarda benzer şekilde seyrederek inişli çıkışlı değişim gösterdiği görülmüştür. Yani dönem içinde rüzgar hızının sinüslü kosinüslü biçimde periyodik davranış gösterdiği saptanmıştır. Döneme ait veri üzerinde hata kareleri toplamı minimum olacak şekilde bir Fourier Serisi analizi uygulanmıştır. Analiz sonucunda, oluşturulan modelin parametre tahminleri anlamlı bulunmuştur ( $P<0.001$ ). Modellerin belirleme katsayısı ( $R^2$ ) sırasıyla 0.638 bulunmuştur. Fourier Serisi analizinin rüzgar hızını modellemede uygun bir yöntem olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Fourier serileri, periyot, rüzgar, Bingöl**ABSTRACT**

In this study, trigonometric functions, namely Fourier Series, and the course of wind speed according to months in the 2010-2020 period in the province of Bingöl in Turkey were examined. With the analysis made, it has been observed that the wind speed tends to increase in March-August, while it remains at low values in September-February. It has been observed that this situation shows a fluctuating change by following a similar course in the same months every year. In other words, it was determined that the wind speed showed a periodic behavior in a sine-cosine form during the period. A Fourier Series analysis was applied on the data of the period in such a way that the sum of the squares of the error was minimal. As a result of the analysis, the parameter estimates of the model were found to be significant ( $P<0.001$ ). The coefficient of determination ( $R^2$ ) of the models was found to be 0.638, respectively. Fourier Series analysis was found to be a suitable method for modeling wind speed.

**Key words:** Fourier series, period, wind, Bingöl**1. GİRİŞ**

Dünyadaki nüfus artışı ve buna paralel olarak gelişen dünya endüstrisi ve ekonomisi insanların enerjiye olan ihtiyacını sürekli arttırmaktadır. Halen kullanılmakta olan enerji kaynaklarının rezervleri giderek azalmakta ve bu kullanılan enerji kaynaklarının çevre üzerine olan etkileri de insan hayatını tehdit etmektedir. Bu yüzden insanlar bu enerji kaynaklarına alternatif olacak ve daha çok verim sağlayacak enerji kaynaklarını kullanma alternatiflerine yönelmektedir. İşte bu alternatif enerji kaynakları arasından en önemlisi rüzgâr enerjisidir. Rüzgâr, atmosferin ısınıp, soğuması sonucu sıcaklık ve basıncın değişmesinden dolayı oluşan devamlılığı kararlılığı ve güvenilirliği olan bir kinetik enerji kaynağı olan bir doğa olayıdır (Mert ve Karakuş, 2014).

Rüzgar gücü, güneş enerjisinin dolaylı bir şeklidir. Bu güç, yeryüzünün her bölgesinin eşit bir şekilde ısınmayışı ve buna bağlı olarak oluşan alçak ve yüksek basınç merkezlerinin karşılıklı etkileşimi sürecinin eseridir. Doğası gereği kinetik enerji taşımaktadır. Rüzgarın kinetik enerjisinden rüzgar gücü türbini aracılığıyla elektrik enerjisi elde edilmektedir (Ültanır, 1996).

Rüzgâr hızının özelliklerinden biri, doğrusal olmayan dalgalanan bir fonksiyondur. Bu, rüzgâr hızındaki tahmin için normal tahmin yöntemlerinin uygulanamamasına neden olur. Gelecekteki rüzgâr hızı hakkında öngörde bulunmak için doğrusal olmayan bir yöntem uygulanması daha uygundur (Öğüt, 2014).

Günümüzde kullanılmakta olan yenilenebilir enerji kaynakları arasından, rüzgâr enerjisi kullanmanın avantajları fazladır. Rüzgâr enerjisi, yenilenebilir olması, taşıma problemi olmayan, bol ve milli olan bir enerji kaynağıdır (Güneyli, 2019).

Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde Dünya’nın her yerinde bolca bulunabilen, temiz, en gelişmiş, maliyeti düşük ve ticari açıdan en elverişli enerji türlerinden birisi de rüzgâr enerjisidir (Köse ve ark., 2004).

Rüzgâr enerjisi temiz ve çevre dostu, yenilenebilir ve sürdürülebilir, maliyetinin etkisi ve endüstriyel ve evsel tesisatı kullanması avantajları arasında sayılabilir. Rüzgâr enerjisinin elektrik sistemindeki payı arttıkça, rüzgâr enerjisi üretiminin sınırlı öngörülebilirliği de artmaktadır. En uygun yenilenebilir enerji teknolojilerinden biri rüzgâr enerjisidir. Rüzgâr enerjisi tahminlerindeki hatanın istatistiksel, dağılıma dayalı açıklamasına odaklanılmaktadır (Bruninx ve ark., 2013).

Rüzgârdan ve güneşten elde edilen enerji en değerli yenilenebilir enerji kaynaklarından. Fakat rüzgârın şiddeti ve güneşten gelen radyasyonun değişkenliği ve kontrol altında tutulamaması, bu enerjilerin kullanım sırasında güvenilirlik açısından problemlere sebep olabilmektedir. Bu nedenle rüzgâr enerjisi santrallerinin kurulmasında, en önemli unsurlar, yerin seçimi, iklim ve jeolojik yapıdır. Bundan dolayı belli bir alan için rüzgâr ve güneş enerjilerinin potansiyeli ile bu enerjilere etkide bulunan faktörlerin önceden saptanması gerekir (Gabrali, 2019).

Dünya üzerinde rüzgâr enerjisini kullanarak elektrik üretimini gerçekleştiren 100'ü aşkın ülke bulunmaktadır. En çok kurulu rüzgâr enerjisine sahip olan ülkeler olarak Çin, ABD ve Almanya'yı ilk 3 sırada sayabiliriz. Türkiye, kurulu rüzgâr enerji santrali açısından Avrupa'da 7. sırada, dünya üzerinde ise 13. ülke konumundadır (Anonim, 2020).

Rüzgâr enerjisi, Türkiye açısından yenilenebilir enerji kaynakları arasında en önemlisidir. Rüzgâr türbinleri teknolojisinde meydana gelen gelişmeler, elektrik enerjisinin üretiminde kullanılmak amacıyla kurulu rüzgâr türbinleri güçlerinin artmasına, bundan dolayı birim enerji maliyetinde azalmaya etki etmektedir. Bundan nedenle, rüzgâr türbinlerinin elektrik enerjisi üretimindeki oranı gittikçe artış göstermektedir (Gülersoy ve Çetin, 2010).

Küresel rüzgar endüstrisi için 2020, yıllık %53 büyüme ile tarihteki en iyi yıl oldu. Hem küresel tedarik zincirini hem de proje süreçlerini kesintiye uğratan zorlu bir yılda 93 GW'tan fazla rüzgâr enerjisi kurulumu, rüzgar endüstrisinin önemli derecede dayanıklılığını kanıtladı. Çin ve ABD, yeni kara rüzgar santrali kapasite artışı için dünyanın en büyük pazarları olmaya devam etti ve dünyanın iki büyük ekonomisi birlikte pazar paylarını % 15 ile % 76 artırdı (Global Wind Report, 2021).

Bu çalışmada, Bingöl ilinde son yıllarda ölçülen rüzgar hızının (m/s) aylara göre değişiminin Fourier Serileri analizi ile modellenmesi amaçlanmıştır.

## 2. LİTERATÜR TARAMASI

Biçer ve ark. (2005) çalışmasında, on yıllık bir zaman aralığında Elazığ ili için sıcaklık, relatif nem, rüzgar hızı, basınç, güneşlenme şiddeti ve güneşlenme süresi gibi hava şartlarını incelemiş ve Lineer Regresyon Analizi ile modellenmesi yapılmıştır. Bulunan sonuçların hava şartlarının çevre ve enerjiye etkisinin araştırılacağı bir çalışmada kullanılabileceği görülmüştür.

Bir diğer çalışmada, rüzgar hızı değerlerinin daha kararlı bir yapıya sahip olması için dalgacık dönüşümü yardımı kullanılmıştır. Bileşenlere ayrılan rüzgar hızı değerleri yapay sinir ağları ile tahmin edilmiştir (Taşcıkaraoğlu ve Uzunoğlu, 2011).

Minaz ve ark. (2013), Uyarlanabilir Sinir Bulanık Sistemi (ANFIS) ve Doğrusal Çoklu Regresyon Analizi yöntemini kullanarak, Bilecik ilinde rüzgar hızı ve bununla doğrudan etkili olan basınç ve sıcaklık verilerini tahmin etmişlerdir. Rüzgar hızı ve sıcaklık değerlerini tahminlemede Bulanık Sistem'in, basınç tahmininde ise Doğrusal Çoklu Regresyon Analizinin daha etkili olduğu saptanmıştır.

Kolhe ve ark. (2011) yaptıkları çalışmada kısa süreli rüzgar hızı tahminleri için genetik algoritma ve birlikte yapay sinir ağı (YSA) ile hibrit bir model oluşturmuşlardır. Oluşturulan model, Tayvan Rüzgar Enerjisi şirketinin gerçek operasyonel sonuçları için test ve analizinde elde edilen tahminlerin hata oranlarını düşürdüğü bildirilmiştir.

Rüzgar hızı tahmini için diğer bir çalışmada, doğrusal ve doğrusal olmayan AR-MA modelleri kullanılarak, 10 dakika aralıkla bir saatlik modeller oluşturulmuştur. Modellerin doğruluğu, Ortalama Mutlak Hata, Kök Ortalama Kare Hatası ve Ortalama Mutlak Yüzde Hatası gibi performans ölçümü ile ölçülmüştür (Lydia ve ark., 2016).

Kani ve Ardehali (2011), çok kısa zaman rüzgâr hız tahmini için yapay sinir ağı ve Markov zinciri modellerini birlikte kullandılar ve etkinliğini kanıtladılar. Tahmin hatalarının azaltılabileceği, tahminlerin belirsizliğinin ve hesaplama süresinin azaldığını tespit etmişlerdir.

Chen ve ark. (2011), Çin'in Hubei eyaletindeki, saatlik rüzgâr hızını 1 ila 4 saat önceden tahmin etmek için otoregresif entegre hareketli ortalama modelini ve yapay sinir ağını kullanmışlardır.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

Çalışmanın materyali, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün Bingöl meteoroloji istasyonundan 2010 Ocak- 2020 Aralık dönemleri arasında ölçülen aylık ortalama rüzgâr hızı (m/s) verilerinden oluşmaktadır. Bu verilere Fourier Serileri yöntemi uygulanmıştır.

#### 3.2. Yöntem

Herhangi bir  $f(x)$  fonksiyonunun Fourier serisi ile yaklaşık ifade edilebilmesi için, istenilen aralıkta sürekli olduğu her noktada fonksiyonun tek değerli olması, istenilen aralıkta sonlu ve sürekli olması, istenilen aralıkta sonlu sayıda maksimum veya minimum değerleri alması gibi şartların sağlanması gerekir (Bayram, 2002). Bu şartlar altında Fourier serileri fonksiyonunun sürekli olduğu yerde  $f(x)$ 'e yakınsar. Süreksizlik noktalarında ise seri fonksiyonun sağdan ve soldan limitlerinin aritmetik ortalamasına yakınsar (Buttkus, 2000).

$f(x)$  fonksiyonu  $(-L,L)$  aralığında tanımlı ve bu aralık dışında  $f(x+2L) = f(x)$  ile tanımlanmış olsun, yani  $2L$  periyoduna sahip olsun.  $f(x)$ 'e karşılık gelen Fourier serisi

$$\frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left( a_n \cos \frac{n\pi x}{L} + b_n \sin \frac{n\pi x}{L} \right) \quad (1)$$

ile verilir. Burada  $a_0$ ,  $a_n$  ve  $b_n$  Fourier katsayıları

$$a_0 = \frac{1}{L} \int_{-L}^L f(x) dx \quad (2)$$

$$\begin{cases} a_n = \frac{1}{L} \int_{-L}^L f(x) \cos \frac{n\pi x}{L} dx \\ b_n = \int_{-L}^L f(x) \sin \frac{n\pi x}{L} dx \end{cases} \quad n = 0,1,2, \dots$$

ile verilir. Eşitlik 2'deki sabit terim

$$\frac{a_0}{2} = \frac{1}{2L} \int_{-L}^L f(x) dx$$

e eşittir. Bu, bir periyot üzerinde  $f(x)$ 'in ortalamasıdır. Eğer  $L=\pi$  ise fonksiyon  $2\pi$  periyoduna sahiptir (Spiegel, 1963).

Bu özellikler göz önüne alınarak herhangi bir  $f(x)$  fonksiyonu,

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos nx + b_n \sin nx) \quad (3)$$

şeklinde Fourier serisine açılabilir. Bu şekildeki seriye trigonometrik seri denir (Khuri, 2003). Fourier serisi üzerinde  $[-\pi, \pi]$  aralığında terim terime integral alınarak ve Eşitlik 4'te verilen ortogonalite bağıntıları da dikkate alınarak  $a_n$  ve  $b_n$  katsayıları

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \cos n\pi dx \quad (n = 0,1,2, \dots)$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \sin n\pi dx \quad (n = 0,1,2, \dots)$$

şeklinde hesaplanır (Rudin, 1953).  $a_0$  katsayısı ise

$$a_0 = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) dx$$

dir.

Eğer  $f(x)$  fonksiyonu sürekli olmayıp,  $n$  tane eşit aralıklı ayırık noktalardaki değerleri olarak verilirse toplam sembolleri kullanılır. Özellikle  $x$  değişkeninin artan değerleri karşısında  $y$  değişkeninin değerleri periyodik bir değişim gösteriyorsa, matematiksel model olarak kesikli Fourier serisi seçilir. Serinin herhangi bir parametresindeki yıllık periyodun etkisi ile oluşan periyodik bileşen, Eşitlik 4 ile açıklanır.

$$y_i = a_0 + \sum_{k=1}^m \left[ a_k \cos\left(\frac{2\pi}{T} k_{xi}\right) + b_k \sin\left(\frac{2\pi}{T} k_{xi}\right) \right] + \varepsilon_i \quad (4)$$

şeklinde olur. Burada  $y_i$ : Parametrenin ortalama değeri,  $m$ : Önemli harmonik sayısı,  $a_k$  ve  $b_k$ : Fourier katsayıları,  $T$ : periyottur (Salas ve Yevjevich, 1972). Eşitlik 4'te verilen  $\varepsilon_i$  olan  $i$  zamandaki artık (hata) değeridir (Bloomfield, 2000).

Bir seride hem trend hem de mevsimsel dalgalanma varsa, uygulanacak regresyon modeli

$$Y_t = a + \sum_{i=1}^m b_i t^i + \sum_{i=1}^{\lfloor s/2 \rfloor} \left[ c_i \sin\left(\frac{2\pi i t}{s}\right) + d_i \cos\left(\frac{2\pi i t}{s}\right) \right] + \varepsilon_t \quad (5)$$

şeklinde olur. Burada  $m$ , serinin polinom derecesidir. Burada,  $\sum_{i=1}^m b_i t^i$  toplamı ile serinin trend bileşeni açıklanmaktadır. Bu eşitlikte  $s$ , periyot olmak üzere  $\lfloor s/2 \rfloor$  periyodun yarısının tamsayı kısmıdır. Burada  $j$  indisli toplam serinin mevsimsel bileşenidir. Bu bilgilere göre sinüs ve kosinüs fonksiyonu çiftine harmonik denir.

Mevsimsel serilere uygulanan regresyon analizinde katsayılar en küçük kareler yöntemi kullanılarak

$$\beta = (X'X)^{-1} X'Y$$

formülüyle bulunur. Toplamsal modelde, doğrusal trend ve bir harmonik olduğunda,

$$\beta = \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{bmatrix}$$

ve

$$X = \begin{bmatrix} 1 & 1 & \sin(2\pi/s) & \cos(2\pi/s) \\ 1 & 2 & \sin(4\pi/s) & \cos(4\pi/s) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & T & \sin(2\pi T/s) & \cos(2\pi T/s) \end{bmatrix}_{T \times 4}$$

şeklinde olur (Kadılar, 2009).

#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bingöl ilinin aylara göre rüzgâr hızı (m/s) için ortalama, standart sapma, standart hata, minimum ve maksimum değerlerden ibaret olan tanımlayıcı istatistikler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Bingöl ili aylık ortalama rüzgâr hızı (m/s) tanımlayıcı istatistikler

| Aylar   | $\bar{X}$ | ss    | $S_{\bar{x}}$ | Min. | Max. |
|---------|-----------|-------|---------------|------|------|
| Ocak    | 0.573     | 0.142 | 0.043         | 0.30 | 0.80 |
| Şubat   | 0.645     | 0.137 | 0.041         | 0.40 | 0.80 |
| Mart    | 0.900     | 0.179 | 0.054         | 0.70 | 1.10 |
| Nisan   | 0.936     | 0.136 | 0.041         | 0.70 | 1.10 |
| Mayıs   | 0.864     | 0.092 | 0.028         | 0.70 | 1.00 |
| Haziran | 0.891     | 0.145 | 0.044         | 0.70 | 1.20 |
| Temmuz  | 0.864     | 0.163 | 0.049         | 0.60 | 1.20 |
| Ağustos | 0.800     | 0.155 | 0.047         | 0.50 | 1.00 |
| Eylül   | 0.682     | 0.125 | 0.038         | 0.40 | 0.80 |
| Ekim    | 0.573     | 0.156 | 0.047         | 0.40 | 0.90 |
| Kasım   | 0.464     | 0.121 | 0.036         | 0.30 | 0.70 |

|        |       |       |       |      |      |
|--------|-------|-------|-------|------|------|
| Aralık | 0.500 | 0.077 | 0.023 | 0.40 | 0.60 |
| Genel  | 0.724 | 0.211 | 0.018 | 0.30 | 1.20 |

$\bar{X}$ : Ortalama, ss: Standart sapma,  $s_x$ : Standart hata, Min.: Minimum, Max.: Maksimum

Tablo 1 incelendiğinde, Bingöl’de ortalama rüzgar hızının en fazla olduğu aylar sırasıyla Nisan (0.936), Mart (0.900) ve Haziran (0.891) aylarıdır. En düşük rüzgar hızının görüldüğü aylar ise sırasıyla Kasım (0.464), Aralık (0.500) ve Ekim (0.573) aylarıdır. 2010 Ocak-2020 Aralık döneminde bu durum benzer şekilde periyodik olarak devam etmiştir.

2010 Ocak-2020 Aralık döneminde ortalama rüzgar hızı ile ilgili olarak

$$y_i = a_0 + a_1 \sin \theta_i + a_2 \cos \theta_i$$

şeklinde bir eğri uyumu yapılacaktır. Serinin periyodu  $T=12$ ’dir.

$$\theta_i = \frac{2\pi}{12} t_i = \frac{\pi}{6} t_i, \quad i = 1, 2, \dots, 12$$

dönüşümü yapılır. Dönüşüm sonucu elde edilen  $\sin \theta_i$  ve  $\cos \theta_i$  değerleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2.  $t_i$  değerlerine göre oluşturulan sinüs ve kosinüs değerleri

| $t_i$           | 1       | 2       | 3       | 4        | 5        | 6     | 7        | 8        | 9        | 10       | 11        | 12     |
|-----------------|---------|---------|---------|----------|----------|-------|----------|----------|----------|----------|-----------|--------|
| $\theta_i$      | $\pi/6$ | $\pi/3$ | $\pi/2$ | $2\pi/3$ | $5\pi/6$ | $\pi$ | $7\pi/6$ | $4\pi/3$ | $3\pi/2$ | $5\pi/3$ | $11\pi/6$ | $2\pi$ |
| $\sin \theta_i$ | 0,5     | 0,87    | 1       | 0,87     | 0,5      | 0     | -0,5     | -0,87    | -1       | -0,87    | -0,5      | 0      |
| $\cos \theta_i$ | 0,87    | 0,5     | 0       | -0,5     | -0,87    | -1    | -0,87    | -0,5     | 0        | 0,5      | 0,87      | 1      |

Buna göre Tablo 2’deki değerler rüzgar hızı değerleri ile birlikte kullanıldığında elde edilen trigonometrik eğriye ait parametre tahminleri Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Bingöl ilindeki rüzgar hızı için oluşturulan trigonometrik eğriye ait parametre tahmini

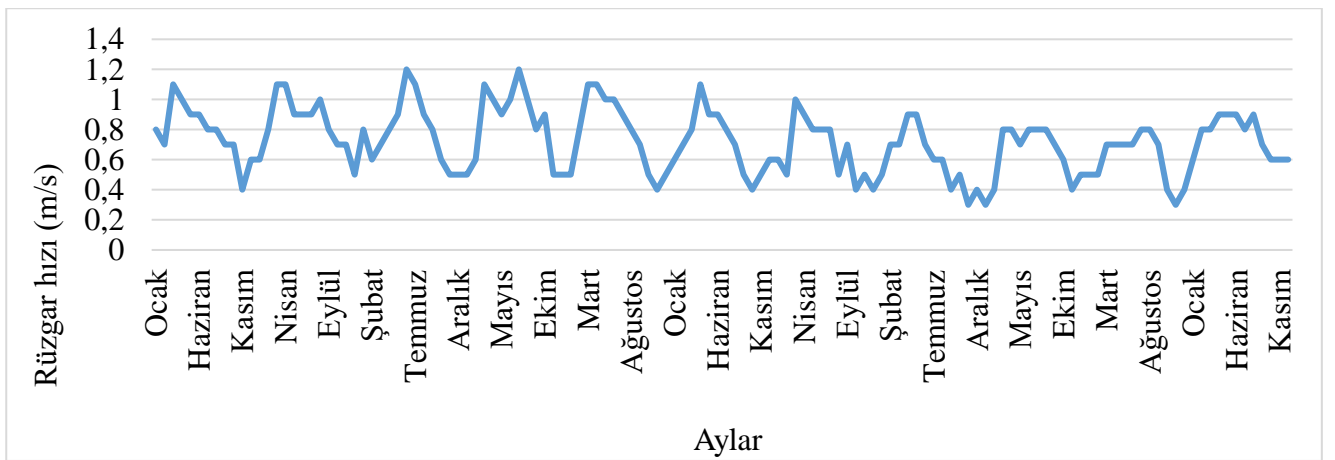
| Parametre       | Katsayı | Std. Hata | t       | p     |
|-----------------|---------|-----------|---------|-------|
| Sabit           | 0.83    | 0.023     | 36.884  | 0.001 |
| t               | -0.002  | 0.000     | -5.41   | 0.001 |
| $\sin \theta_i$ | 0.07    | 0.016     | 4.403   | 0.001 |
| $\cos \theta_i$ | -0.206  | 0.016     | -13.074 | 0.001 |

Tablo 3 incelendiğinde, elde edilen trigonometrik eğriye ait bütün parametre tahminleri anlamlı bulunmuştur ( $p < 0.001$ ). Buna göre

$$Y = 0.83 - 0.002t + 0.07 \sin\left(\frac{2\pi t}{12}\right) - 0.206 \cos\left(\frac{2\pi t}{12}\right) + \varepsilon$$

şeklinde trigonometrik eğri yazılabilir. Modelin genel anlamlılığı incelendiğinde  $F=75.28$  ve  $p < 0.001$ ’dir. Belirleme katsayısı ( $R^2$ ) 0.638 bulunmuştur. Bu durumda rüzgar hızı bağımsız değişkenler yani trend, sinüs ve kosinüs tarafından %63.8 oranında açıklanabilmektedir.

Elde edilen trigonometrik eğri Şekil 1’de daha net görülmektedir.



Şekil 1. 2010-2020 yılları arası aylara göre rüzgar hızı (m/s)

Şekil 1’de görüldüğü gibi rüzgar hızı (m/s) değerleri Mart ayı ile Ağustos ayları arasında daha yüksek iken, Eylül ayı ile Şubat ayları arasında daha düşük seyretmiştir. Bu durum ilerleyen yıllarda da benzer şekilde seyrederek periyodik bir şekilde devam etmiştir.

Farklı yer ve zamanlarda rüzgar hızı değerleri ile ilgili olarak istatistik analiz kullanılarak yapılmış bazı çalışmalar aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

Mert ve Karakuş (2015) çalışmalarında Hatay ili Antakya bölgesinde 2006-2009 yılları arasındaki rüzgâr hızı verileri kullanılarak günlük, aylık ve yıllık ortalama rüzgâr hızları analiz edilmiştir. Antakya bölgesindeki rüzgâr hızının dağılım eğrileri, ortalama rüzgâr hızları ve rüzgâr güç yoğunluğu değerleri Log-normal ve Gamma dağılımları kullanılarak elde edilmiştir. Anderson-Darling test, Belirleme Katsayısı ve Ortalama Karesel Hatanın Karekökü dağılımların uyum iyiliği testleri için kullanılmıştır. Bölgenin rüzgâr gücü yoğunluğunun düşük olduğu saptanmıştır. Rüzgar hızını modellemede Gamma dağılımı en uygun dağılım olarak seçilmiştir.

Akpınar ve Balpetek (2019) çalışmalarında Elazığ ili için 2005-2014 yılları arasında ölçülen rüzgâr hızı verileri ile rüzgâr gücü yoğunluğunu ve rüzgârın hız dağılımı parametreleri Weibull ve Rayleigh dağılımları ile modelleme yapmışlardır.  $R^2$ ,  $\chi^2$  ve  $RMSE$  istatistiklerine göre değerlendirme sonucunda Elazığ ilinin rüzgâr verileri analizlerinde Weibull dağılımın daha uygun olduğu görülmüştür.

Bir başka çalışmada, Erzincan, Kars, Van illerindeki sıcaklık, nem, rüzgâr hızı, basınç gibi hava şartları ve rüzgâr gücü 10 yıllık bir periyotta (1994-2003) regresyon analizi ile incelenmiştir. Hava şartlarının modellenmesinde lineer regresyon analizi kullanılıp yıllık ortalama rüzgâr gücü üzerinde sıcaklık, nispi nem ve basıncın etkisi non-lineer regresyon metodu kullanılarak araştırılmıştır. Geliştirilen modellerin hava şartları ve bu şartların çevre ve enerji üzerindeki etkileri ile ilgili herhangi bir çalışmada kullanılabileceği belirtilmiştir (Kayakapınar ve ark., 2005).

Bir diğer çalışmada, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğüne ait, Menemen bölgesi için 2008-2009 yıllarına ait saatlik rüzgâr hızları ve esme yönleri verileri incelenmiştir. Bölgeye kurulacak rüzgâr türbinleri için rüzgâr hızlarının Weibull veya Rayleigh dağılım fonksiyonuna uyumları araştırılmıştır. Weibull modeli ile elde edilen değerler, Rayleigh modeli ile elde edilen değerlere göre daha iyi sonuçlar vermiştir (Gülersoy ve Çetin, 2010).

Bu çalışmada ise diğer çalışmalardan farklı olarak Fourier Serisi analizi kullanılarak rüzgar hızı modeli oluşturulmuş rüzgar hızının belli bir dönem içinde artan ve azalan bir seyir ile periyodik şekilde devam ettiği saptanmıştır.

Regresyon analizi kullanılarak oluşturulan modellerde Polinom, Eksponansiyel, Fourier Serisi, Gauss, Lineer Uydurma, Rasyonel, Sinüs Toplamı denklem modelleri kullanarak rüzgar hızının tahmini yapılmıştır. En uygun modelin polinom regresyon modeli olduğu saptanmıştır (Demir, 2019).

## 5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada Fourier serileri kullanılarak Bingöl ilinde 2010 Ocak-2020 Aralık döneminde aylık ölçülen rüzgar hızı (m/s) verileri analiz edilmiştir. Verilere trigonometrik eğri (sinusoidal eğri) uydurulmuştur. Trigonometrik fonksiyonlar ile rüzgar hızı modeli elde edilmiştir. Modelin parametre tahminleri anlamlı bulunmuştur ve  $R^2=0.638$  olup, rüzgar hızı %63.8 ile bağımsız değişkenler tarafından açıklanmıştır. Bingöl ili rüzgâr hızı potansiyeli aylara göre ortalama 0.30 m/s ve 1.20 m/s arasında değişmektedir. Rüzgar hızı Mart-Ağustos arası dönemde en yüksek seyrederken, Eylül-Şubat arası dönemde en düşük seyretmiştir. Rüzgar hızının yüksek ve düşük olduğu aylar dikkate alınarak ilgili araştırmacılara amaçlarına göre gerekli öneriler yapılabilir. Fourier Serilerinin rüzgar hızını modellemede uygun bir yöntem olduğu ortaya çıkmıştır.

## KAYNAKÇA

Akpınar, E.K., Balpetek, N. (2019). Weibull ve Rayleigh dağılımlarına göre Elazığ ilinin rüzgâr enerjisi potansiyelinin istatistiksel analizi. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 34(1), 569-580.

Anonim, (2020). Enerji Atlası. Ülkelere Göre Rüzgar Enerjisi. <https://www.enerjiatlası.com/ulkelere-gore-ruzgar-enerjisi.html> (Erişim tarihi: 02.01.2022).

Biçer, Y., Kavakpınar, E., Özbey, F. (2005). Elazığ’daki Hava şartları ve Güneşlenme şiddetinin Modellenmesi. Tesisat Mühendisliği Dergisi, 90, 54-61.



- Bloomfield, P. (2000). *Fourier analysis of Time Series an Introduction*. John Wiley Sons, Inc, 9-14.
- Bayram, M. (2002). *Fen ve Mühendisler İçin Nümerik Analiz*. Aktif Yayınevi, İstanbul, 374-377.
- Bruninx, K., Delarue, E., & D'haeseleer, W. (2013). Statistical description of the error on wind power forecasts via a Lévy  $\alpha$ -stable distribution.
- Buttkus, B. (2000). *Spectral Analysis and Filter Theory in Applied Geophysics*. Springer.
- Chen, L., & Lai, X. (2011). Comparison between ARIMA and ANN models used in short-term wind speed forecasting. In *2011 Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference*. March 2011, 1-4.
- Demir, İ. (2019). *Farklı Regresyon Modelleri Kullanarak Etkin Parametrelere Göre Rüzgar Hızı Tahminlemesi*. Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Gabrali, D. (2019). *Yapay sinir ağları ile rüzgar ve güneş enerjisi potansiyelinin modellenmesi ve dalgacık dönüşümü ile analizi* (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Global Wind Report, GWEC. (2021). *2021 Küresel Rüzgar Raporu*.  
<https://www.dunyaenerji.org.tr/2021-kuresel-ruzgar-raporu/> (Erişim tarihi:03.01.2022).
- Güler, Ö. (2005). *Dünyada ve Türkiye'de rüzgâr enerjisi*. V. Enerji Sempozyumu, 161-167.
- Gülersoy, T., Çetin, N. S. (2010). Menemen bölgesinde rüzgar türbinleri için Rayleigh ve Weibull dağılımlarının kullanılması. *Politeknik Dergisi*, 13(3), 209-213.
- Güneyli, A. (2019). *Rüzgar Ekonomisi*. 5. İzmir Rüzgâr Sempozyumu, 3-5 Ekim, İzmir, 211.
- Kadılar, C. (2009). *SPSS Uygulamalı Zaman Serileri Analizine Giriş*. Bizim Büro Kitabevi, s299, Ankara.
- Kani, S. P., & Ardehali, M. M. (2011). Very short-term wind speed prediction: A new artificial neural network–Markov chain model. *Energy Conversion and Management*, 52(1):738-745
- Kavakakpınar, E., Biçer, Y., & Erdoğan, B. (2005). Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki Bazı İllerin Hava Sartları ve Rüzgâr Gücünün Modellenmesi. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 89, 58-64.
- Khuri, A.I. (2003). *Advanced Calculus with Applications in Statistics*. John Wiley Sons, Inc., Canada, 471.
- Kolhe, M., Lin, T.C., Maunuksela, J. (2011). GA-ANN for Short-Term Wind Energy Prediction. *Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC)*, 1-6.
- Köse, K., Özgür, M., Arif, E.O., & Tugcu, A. (2004). The analysis of wind data and wind energy potential in Kutahya, Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 8:277–288.
- Lydia, M., Suresh Kumar, S., Selvakumar A. I., Prem Kumar, G. E. (2016). Linear and non-linear autoregressive models for short-term wind speed forecasting. *Energy Conversion and Management*, 112, 115–124.
- Mert, İ., & Karakuş, C. (2015). Antakya Bölgesinde rüzgâr gücü yoğunluğu ve rüzgâr hızı dağılımı parametrelerinin istatistiksel analizi. *Politeknik Dergisi*, 18(1), 35-42.
- Minaz, M.R., Gün, A., Kurban, M., İmal, N. (2013). Bilecik İlının Farklı Yöntemler Kullanılarak Basınç, Sıcaklık ve Rüzgar Hızı Tahmini. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 1(3), 100-111.
- Öğüt, V. (2014). *Rüzgâr Hızının Sinirsel Bulanık Yöntemle Tahmini* (Yüksek Lisans tezi). İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Rudin, W. (1953). *Principles of Mathematical Analysis*. McGraw-Hill Book Company, Inc., USA, 154.
- Salas, J.D., Yevjevich, V. (1972). *Stochastic Structure of Water Use Time Series*, Hydrology Papers, No. 52, Colorado State University, Fort Collins-Colorado, 71.
- Spiegel, M.R. (1963). *Advanced Calculus*. Mc-Graw Hill Inc., New York, 298-300.
- Taşçıkaraoğlu, A., Uzunoğlu, M. (2011). Dalgacık Dönüşümü ve Yapay Sinir Ağları ile Rüzgar Hızı Tahmini. *Elektrik Mühendisleri Odası Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu (Tam Metin Bildiri)*, 106-111.
- Ültanır, M.Ö. (1996). Şimdi Rüzgar Çiftliği Zamanı. *Enerji Dergisi*, 1(5):48-57.