

## KISA SÜRELİ RÜZGAR ENERJİSİ TAHMİNİ

Cihan DÜNDAR  
[cdundar@dma.gov.tr](mailto:cdundar@dma.gov.tr)  
Kemal DOKUYUCU  
[kdokuyucu@dma.gov.tr](mailto:kdokuyucu@dma.gov.tr)

Kahraman OĞUZ  
[koguz@dma.gov.tr](mailto:koguz@dma.gov.tr)  
Hayreddin BACANLI  
[hbacanli@dma.gov.tr](mailto:hbacanli@dma.gov.tr)

Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü  
Araştırma Şube Müdürlüğü, 06120 Kalaba - ANKARA

### ÖZET

Artan enerji gereksiniminin karşılanmasında, fosil enerji kaynaklarından yapılan üretimle ortaya çıkan çevre kirliliği, Türkiye'nin gündemindeki en önemli sorunlardan birisidir. Diğer taraftan 1973 dünya petrol kriziyle birlikte, tüm dünyada olduğu gibi, Türkiye'de de yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına doğru bir yönelme başlamıştır. Bu kapsamda değerlendirilen ve tüm dünyada yaygın bir şekilde kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarının başında Rüzgar Enerjisi gelmektedir.

Rüzgar şiddetinin alansal ve zamansal olarak süreksizliğe sahip olması nedeniyle, rüzgar güç üretiminin kısa süreli tahmini ve planlamasına ihtiyaç bulunmaktadır. Bu çalışma ile Türkiye için yapılan 48 saatlik rüzgar tahminleri ve bu tahminlerin doğruluğu incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Rüzgar Enerjisi, Rüzgar Tahmini, Yenilenebilir Enerji.

### ABSTRACT

Environmental pollution caused mainly by use of fossil fuels in order to meet increasing demand for energy is one of the most important issue in Turkey's agenda. On the other hand, new and renewable energy sources have begun to an important alternative as in all over the world after 1973 world oil crisis. In this context, Wind Energy is one of the most important renewable energy sources that is evaluated and used widely all over the world.

The short-term forecasting of the wind power production is needed for the spatial and temporal discontinuities in the wind. Daily wind forecasts and the accuracy of these predictions for Turkey are investigated in this study.

**Keywords:** Wind Energy, Wind Forecast, Renewable.

## GİRİŞ

Ekonomik ve sosyal kalkınmanın temel gereksinimlerinden biri enerji üretimidir. Her türlü ekonomik faaliyetin temel girdisi olan enerjinin kullanım alanının artması, enerjiye olan talep artışını da beraberinde getirmektedir. Günümüzden 100 bin yıl önceki Avcı İnsana oranla, günümüzde yaklaşık olarak 40-50 kat daha fazla enerji kullanıyoruz.

*Çizelge-1. Enerji kullanımının tarihçesi (milyon kalori/gün)*

|                  |                           | <b>Gıda</b> | <b>Evsel</b> | <b>Tarım</b> | <b>Ulaşım</b> | <b>Toplam</b> |
|------------------|---------------------------|-------------|--------------|--------------|---------------|---------------|
| 100 bin yıl önce | Avcı İnsan                | 3           | 2            | -            | -             | 5             |
| İ.Ö. 5000        | İlkel Tarım İnsanı        | 4           | 4            | 4            | -             | 12            |
| İ.S. 1400        | <i>İleri Tarım İnsanı</i> | 6           | 12           | 7            | 1             | 26            |
| İ.S. 1850 – 1900 | Sanayi İnsanı             | 7           | 32           | 24           | 14            | 77            |
| İ.S. 1970 – 2000 | <i>Teknoloji insanı</i>   | 10          | 66           | 91           | 63            | 230           |

Enerji üretimi, sanayi, ulaştırma ve ısınma amaçlı olarak fosil yakıtların kullanımıyla atmosfere bırakılan karbondioksit ve diğer sera gazları, küresel ısınmaya ve buna bağlı olarak iklim değişikliğine neden olmaktadır.

Küresel ısınma ile birlikte, hava, su ve toprak kirliliği gibi yerel ve bölgesel ölçekte yaşanan çevre sorunları özellikle enerji üretiminde, çevreye karşı duyarlı, sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji üretim teknolojilerinin gelişimini hızlandırmıştır. Bu kapsamda değerlendirilen ve tüm dünyada yaygın bir şekilde uygulamaya alınan temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarının başında Rüzgar Enerjisi gelmektedir. Bunun temel nedenleri arasında, hammadde gerektirmemesi, ekonomik maliyetinin ve çevreye verdiği zararın alt düzeyde olması yatmaktadır.

Rüzgar enerjisi, hem Avrupa hem de küresel düzeyde hızla gelişmektedir. Dünya rüzgar enerjisi birliği(WWEA) tarafından 2010 yılında yayımlanan rapora göre, küresel toplam kurulu güç, 1992 - 2010 yılları arasında 2,5 GW'tan 197 GW'a ulaşmıştır. Türkiye'de ise 2011 yılı Mart ayı itibariyle kurulu rüzgar santrali gücü 1414 MW'tır. 2011 yılı sonu itibariyle hizmete alınacak 749 MW güç ile toplam kurulu rüzgar santrali gücünün 2163 MW'a ulaşması beklenmektedir. Son 20 yılda türbin verimliliğinde sağlanan gelişmeler

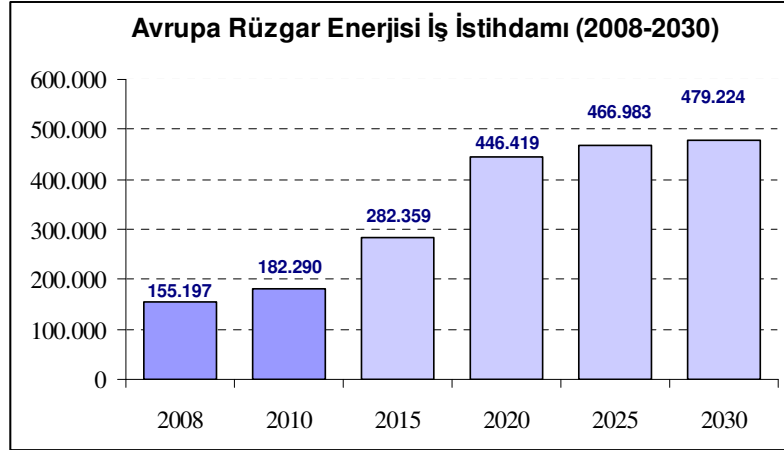
nedeniyle % 40'lık maliyet azalması gerçekleşen rüzgar enerjisinin, konvansiyonel enerji üretim sistemleri karşısındaki rekabet gücü giderek artmaktadır.

Avrupa Birliği iklim değişikliğine olan etkileri azaltmak üzere ortak enerji politikası oluşturmaya çalışmaktadır. Avrupa Birliği İstatistik Kurumunun (Eurostat), 13 Temmuz 2010 tarihli raporuna göre; 27 AB üyesinin toplam enerji tüketimindeki yenilenebilir enerji payı yüzde 10,3'tür. Bu kapsamda 2020 yılında toplam nihai enerji tüketiminin % 20'sinin temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilmesi ve CO<sub>2</sub> seviyesinin, 1990'a göre en az % 20 oranında azaltılması hedeflenmiştir (Çizelge-2).

*Çizelge-2. AB Yenilenebilir Enerji 2008 Durumu ve 2020 Hedefleri*

|    | AB Üyesi     | 2008 Yılı     | 2020 Hedefi |    | AB Üyesi    | 2008 Yılı | 2020 Hedefi |
|----|--------------|---------------|-------------|----|-------------|-----------|-------------|
| 1  | İngiltere    | 2,2 %         | 15 %        | 14 | Malta       | 0,2 %     | 10 %        |
| 2  | İrlanda      | 3,8 %         | 16 %        | 15 | Portekiz    | 23,2 %    | 31 %        |
| 3  | Danimarka    | 18,8 %        | 30 %        | 16 | Slovenya    | 15,1 %    | 25 %        |
| 4  | Fransa       | 11,0 %        | 23 %        | 17 | Finlandiya  | 30,5 %    | 38 %        |
| 5  | Hollanda     | 3,2 %         | 14 %        | 18 | Avusturya   | 28,5 %    | 34 %        |
| 6  | İspanya      | 10,7 %        | 20 %        | 19 | Litvanya    | 15,3 %    | 23 %        |
| 7  | Yunanistan   | 8,0 %         | 18 %        | 20 | Estonya     | 19,1 %    | 25 %        |
|    | <b>AB</b>    | <b>10,3 %</b> | <b>20 %</b> | 21 | Macaristan  | 6,6 %     | 13 %        |
| 8  | İtalya       | 6,8 %         | 17 %        | 22 | İsveç       | 44,4 %    | 49 %        |
| 9  | Letonya      | 29,9 %        | 40 %        | 23 | Polonya     | 7,9 %     | 15 %        |
| 10 | Belçika      | 3,3 %         | 13 %        | 24 | Slovakya    | 8,4 %     | 14 %        |
| 11 | Kıbrıs R. K. | 4,1 %         | 13 %        | 25 | Bulgaristan | 9,4 %     | 16 %        |
| 12 | Almanya      | 8,9 %         | 18 %        | 26 | Romanya     | 20,4 %    | 24 %        |
| 13 | Lüksemburg   | 2,1 %         | 11 %        | 27 | Çek Cum.    | 7,2 %     | 13 %        |

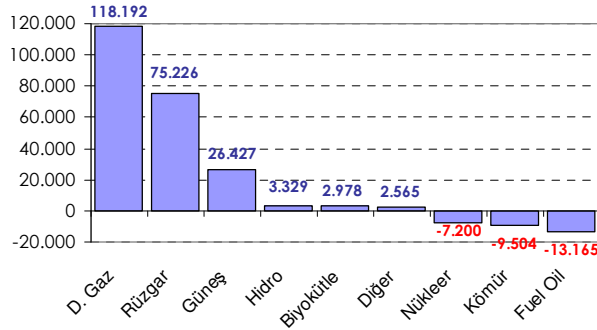
Rüzgar Enerjisi, istihdam ve kırsal bölgelere yatırım açısından da önemli fırsatlar sunmaktadır. 2010 yılında Avrupa Birliğinde rüzgar enerjisiyle doğrudan ilgili 182.290 iş yaratılmıştır. Ayrıca, rüzgar enerjisi sayesinde ham madde üreticileri ve tedarikçiler gibi dolaylı işler de yaratılmıştır. Avrupa Rüzgar Enerjisi Birliğinin hesaplamalarına göre bu sayının 2030 yılında 479.274'e çıkması beklenmektedir (Şekil-1).



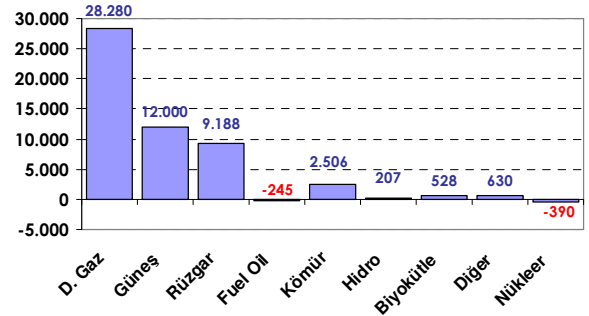
Şekil-1. AB’de rüzgar enerjisi endüstrisinde yaratılan iş (2008-2030)

Kaynak: Avrupa Rüzgar Enerjisi Birliği, EWEA-2010.

Rüzgar Enerjisi, 9.295 MW ile 2010 yılında Avrupa Birliği bünyesinde en fazla yatırım yapılan 3. enerji kaynağı olmuştur. 2010 sonu itibarıyla Avrupa Birliği toplam rüzgar kurulu gücü 84.278 MW’a ulaşmıştır (Şekil-2, Şekil-3, Şekil-4).

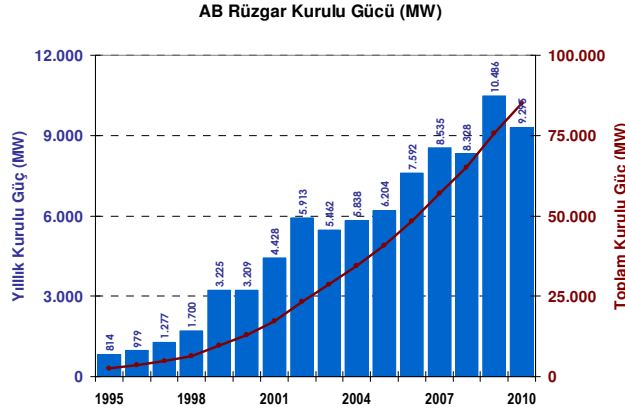


Şekil-2. AB 2000-2010 ilave kurulu gücü

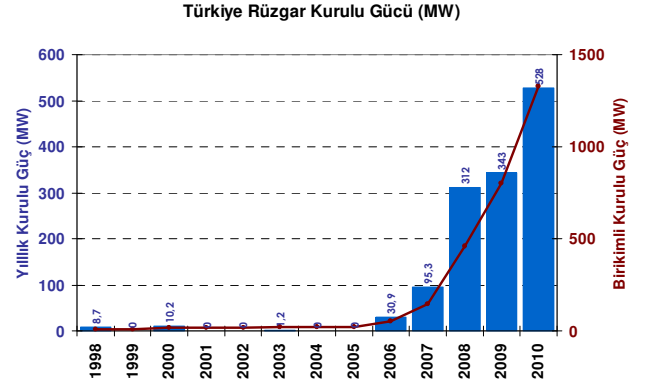


Şekil-3. AB 2010 yılı ilave kurulu gücü

Diğer taraftan, Türkiye rüzgar enerjisi kurulu gücü, 2006 yılından itibaren ivmelenen bir artış göstererek 1414 MW’a ulaşmıştır. Enerji Bakanlığı planlamalarına göre, 2023 yılına kadar elektrik enerjisi üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının payının %30’a çıkartılması ve rüzgar kurulu gücünün 20.000 MW olarak gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir (Şekil-5).



Şekil-4. AB 1995-2010 rüzgar kurulu gücü



Şekil-5. Türkiye 1998-2010 rüzgar kurulu gücü

### Rüzgar Enerjisi Tahmini

Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu (EPDK), elektrik şebekesinin Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ) tarafından etkin ve verimli bir şekilde yönetilmesi için; rüzgar santrallerinden saatlik elektrik üretim tahminini TEİAŞ'a vermeyi zorunlu kılmıştır. Rüzgar Enerjisi Üretimi, diğer konvansiyonel kaynaklardan farklı olarak, sadece rüzgar kaynağına bağlıdır. Rüzgar alansal ve zamansal olarak çok fazla değişkenlik gösterebilen bir parametre olduğu için, Rüzgar Enerjisi Üreticileri, üretecekleri elektrik enerjisi miktarını hesaplayabilmek için, 24-48 saatlik güvenilir rüzgar tahminlerine ihtiyaç duymaktadır.

Rüzgar Enerjisi Tahmin Sistemi (RETS), Türkiye'nin tamamını kapsayacak şekilde, Rüzgar Hızı, Gücü ve Enerji Üretiminin tahmini için oluşturulmuştur. RETS ile, Türkiye için 4 km yatay çözünürlükle çalışan MM5 Bölgesel Modelinin 48 saatlik tahminleri kullanılarak, belirlenen bir alan için çeşitli yüksekliklerdeki, Rüzgar Hızı, Rüzgar Gücü ve örnek bir türbinle üretilebilecek Elektrik Enerjisi Miktarı hesaplanmaktadır.

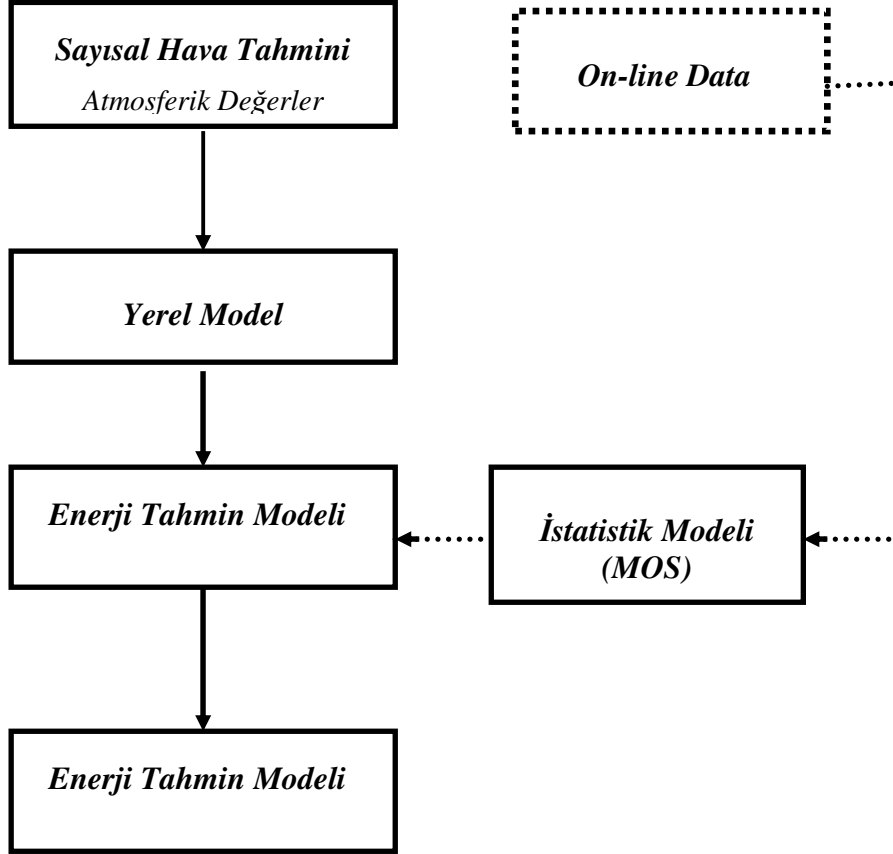
### MM5 Bölgesel Modeli

MM5 orta ölçekli tahmin modeli, NCAR (National Centre for Atmospheric Research) tarafından geliştirilen ve operasyonel olarak çalıştırılan bir modeldir. Model, çoklu iç içe geçmiş bölge yapısını desteklemesinden ve yüksek çözünürlükte kuvvetli fizik ve topoğrafya seti ile oldukça iyi sonuçlar vermesinden dolayı tercih edilmektedir.

MM5 modeli ile daha küçük ölçekte alanlar için sağlıklı ve sık zaman aralıklarında rüzgar tahmini yapmak mümkün olmaktadır.

### RETS'in dünyadaki durumu

Dünyadaki Rüzgar Enerjisi Tahmin uygulamaları incelendiğinde, genellikle aşağıdaki şekilde de görüldüğü gibi, fiziksel, istatistiksel veya her iki yöntemin entegre edildiği modellerin bir arada olduğu hibrid sistemlerin kullanıldığı görülmektedir.



Şekil-6. Rüzgar Enerjisi Tahmin Sistemi, RETS

Rüzgar Gücü tahmini için geliştirilen modeller ile, bu modellerin geliştirildiği ülke ve tahmin yöntemleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

### Rüzgar Tahmin Modelleri

| Model                   | Geliştiren Kuruluş                      | Ülke      | Yöntem        |
|-------------------------|---|-----------|---------------|
| AleaWind                | AleaSoft                                | İspanya   | İstatistiksel |
| AWPPS                   | ARMINES                                 | Fransa    | İstatistiksel |
| EPREV                   | INESC Porto/INEGI/CEsA/ CGUL            | Portekiz  | İstatistiksel |
| GH Forecaster           | Garrard Hassan                          | İngiltere | İstatistiksel |
| PowerSight              | 3TIER                                   | ABD       | İstatistiksel |
| Sipreólico              | University Carlos III of Madrid         | İspanya   | İstatistiksel |
| Visionpoint             | WindLogics Inc.                         | ABD       | İstatistiksel |
| WPMS                    | ISET                                    | Almanya   | İstatistiksel |
| WPPT                    | IMM.DTU/ENFOR                           | Danimarka | İstatistiksel |
| Casandra                | University of Castilla-La Mancha/Gamesa | İspanya   | Fiziksel      |
| MeteoLógica             | MeteoLógica                             | İspanya   | Fiziksel      |
| Precise Stream          | Precision Wind                          | ABD       | Fiziksel      |
| Prediktor               | Risø                                    | Danimarka | Fiziksel      |
| SOWIE                   | Eurowind GmbH                           | Almanya   | Fiziksel      |
| eWind                   | AWS Truewind Inc.                       | ABD       | Hibrid        |
| LocalPred/<br>RegioPred | CENER                                   | İspanya   | Hibrid        |
| Previento               | University Oldenburg/EMSYS              | Almanya   | Hibrid        |
| Scirocco                | Aeolis Forecasting Services             | Hollanda  | Hibrid        |
| WEFS                    | AMI Environmental Inc.                  | ABD       | Hibrid        |
| WEPROG                  | WEPROG                                  | Almanya   | Hibrid        |
| Zephyr                  | Risø and IMM.DTU                        | Danimarka | Hibrid        |

Ülkemizde ise, Elektrik İşleri Etüt İdaresi tarafından, TÜBİTAK Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü liderliğinde gerçekleştirilen “Rüzgar Enerjisi İzleme ve Tahmin Merkezi (RİTM)” kurulması projesi ile İTÜ Meteoroloji Mühendisliği Bölümü tarafından TÜBİTAK’a sunulan ve onaylanan “Kısa Süreli Rüzgar Enerjisi Tahmini” projeleri başlatılmıştır.

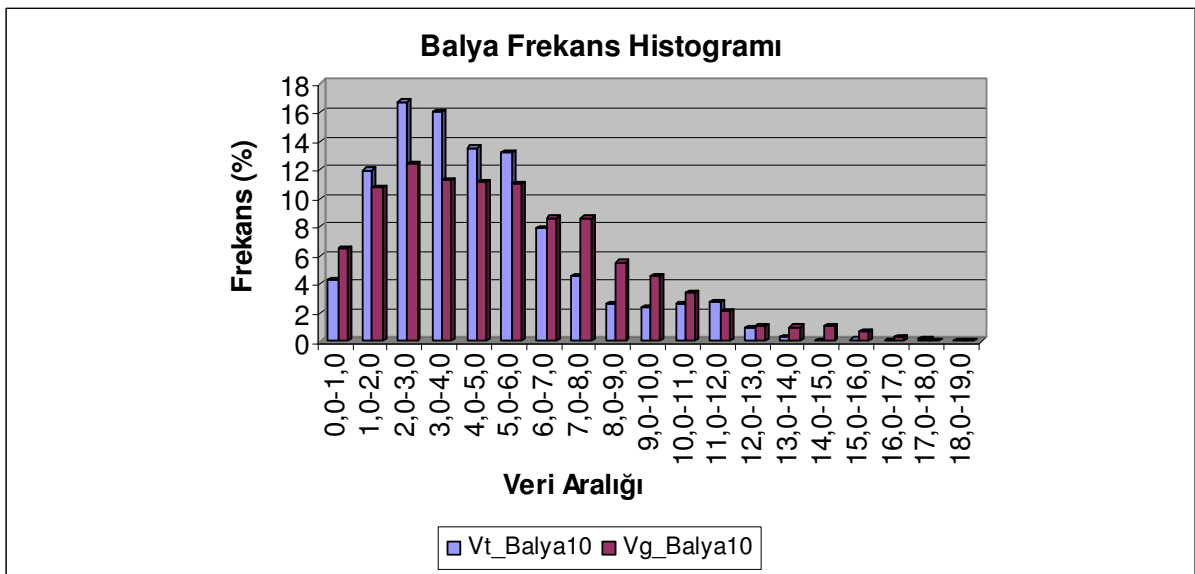
## YÖNTEM

Bu çalışmada gözlem verileri olarak, Balıkesir-Balya ve İstanbul-Çatalca meteoroloji radar sahalarında bulunan otomatik gözlem istasyonlarından alınan saatlik veriler kullanılmıştır.

DMİ’de mevcut sayısal hava tahmin modelleri ile grid bazlı rüzgar tahmini yapılmaktadır. Mevcut sistemde çalıştırılan MM5 modeli çözünürlüğü Türkiye için 4 km’dir. Türkiye’nin tamamını kapsayacak şekilde, Rüzgar Hızı, Gücü ve Enerji Üretiminin tahmini için Rüzgar Enerjisi Tahmin Sistemi (RETS) oluşturulmuştur. RETS ile, Türkiye için 4 km yatay çözünürlükle çalışan MM5 Bölgesel Modelinin 48 saatlik tahminleri kullanılarak, belirlenen bir alan için çeşitli yüksekliklerdeki, Rüzgar Hızı, Rüzgar Gücü ve örnek bir türbinle üretilebilecek Elektrik Enerjisi Miktarı hesaplanmaktadır.

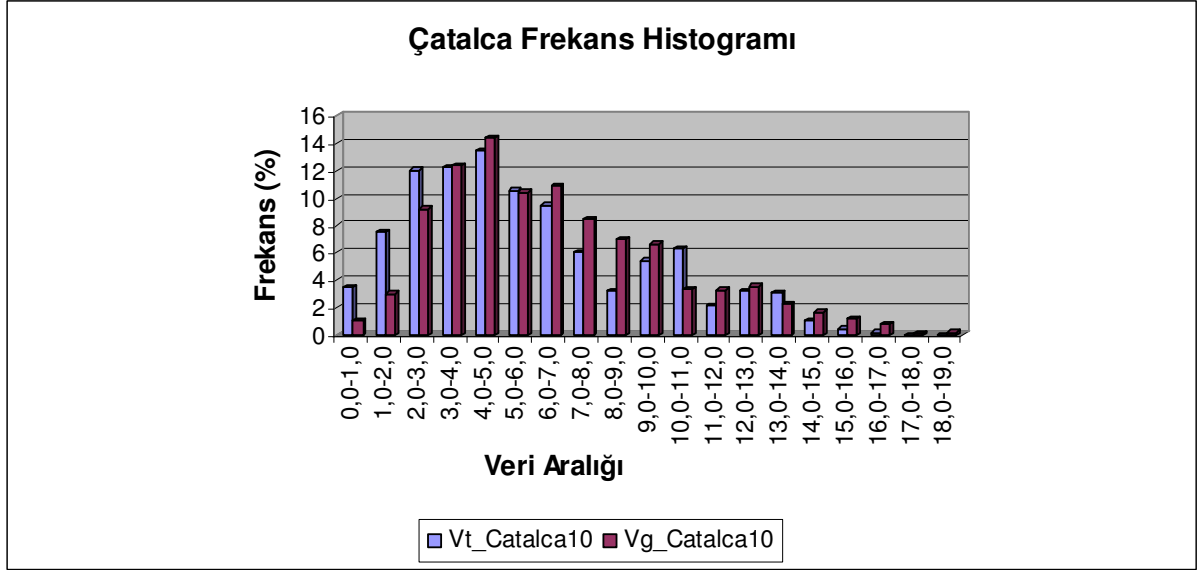
## HESAPLAMALAR ve SONUÇLAR

Veri analiz işlemi, ölçüm istasyonundan alınan rüzgar hız verilerinin frekans dağılımları incelenerek yapılır. Böylece hangi rüzgar hızı değerinin bölgede sık gözlemlendiği belirlenebilir. Şekil-7 ve Şekil-8, rüzgar şiddeti verileri ile oluşturulmuş, Balya ve Çatalca bölgelerine ait gözlem ve tahmin değerlerinin hız dağılımını gösteren bir histogramdır. Balya ve Çatalca için belirlenen ve gözlenen rüzgar verileri değerlendirilerek günlük ortalama rüzgar hızlarının değişimi Şekil-9 ve Şekil-10’daki gibi olup, dönemsel ortalamaları Çizelge-3’de verilmiştir.

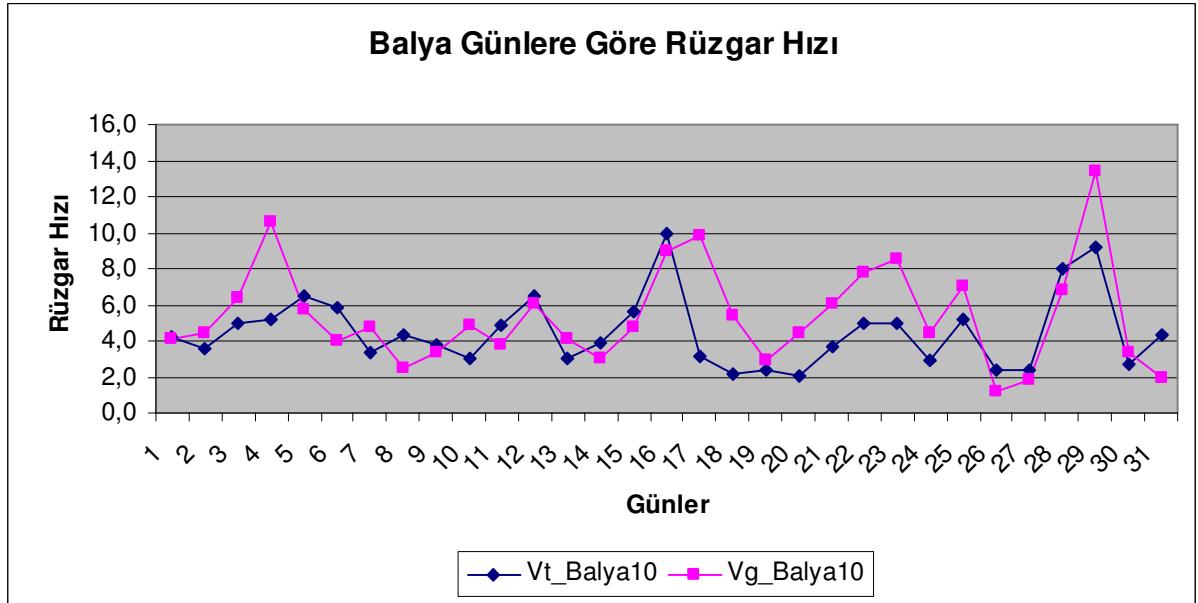


Şekil-7. Balya’ya ait Tahmin ve Gözlem Verilerinin Frekans Histogramu

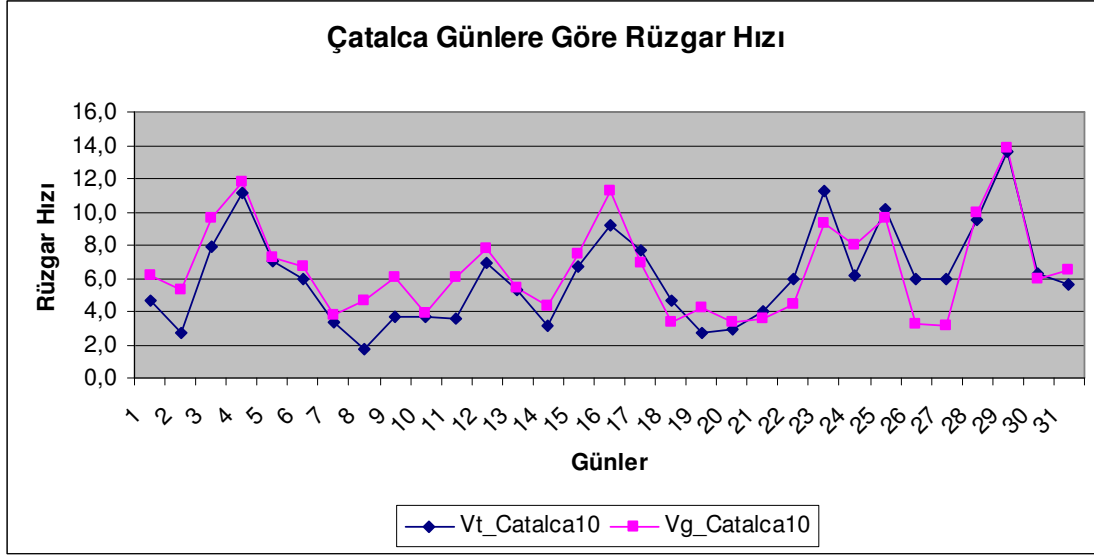




Şekil-8. Çatalca'ya ait Tahmin ve Gözlem Verilerinin Frekans Histogramı



Şekil-9. Balya için Günlük Ortalama Rüzgar Hızlarının Değişimi

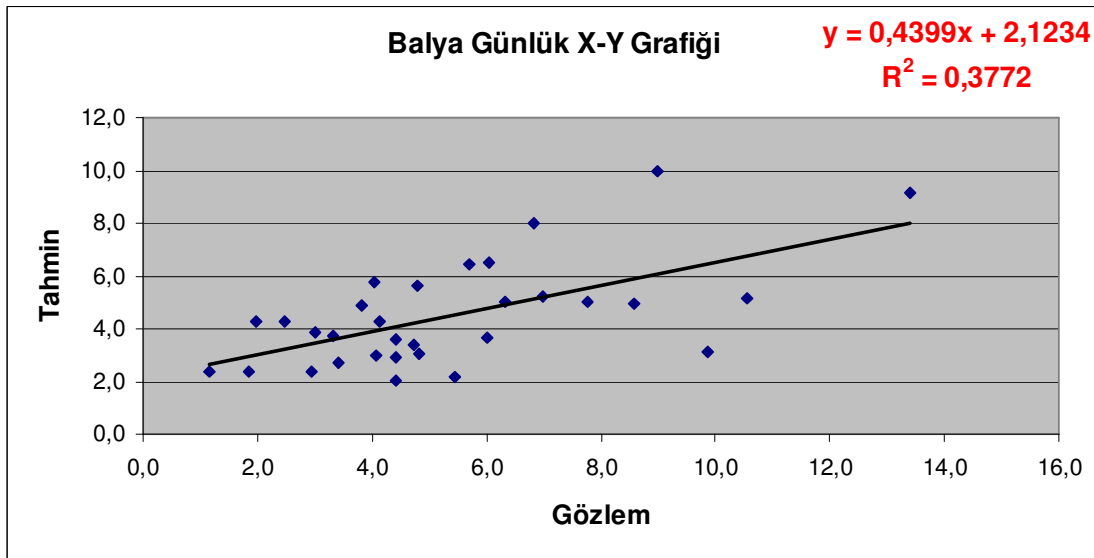


Şekil-10. Çatalca için Günlük Ortalama Rüzgar Hızlarının Değişimi

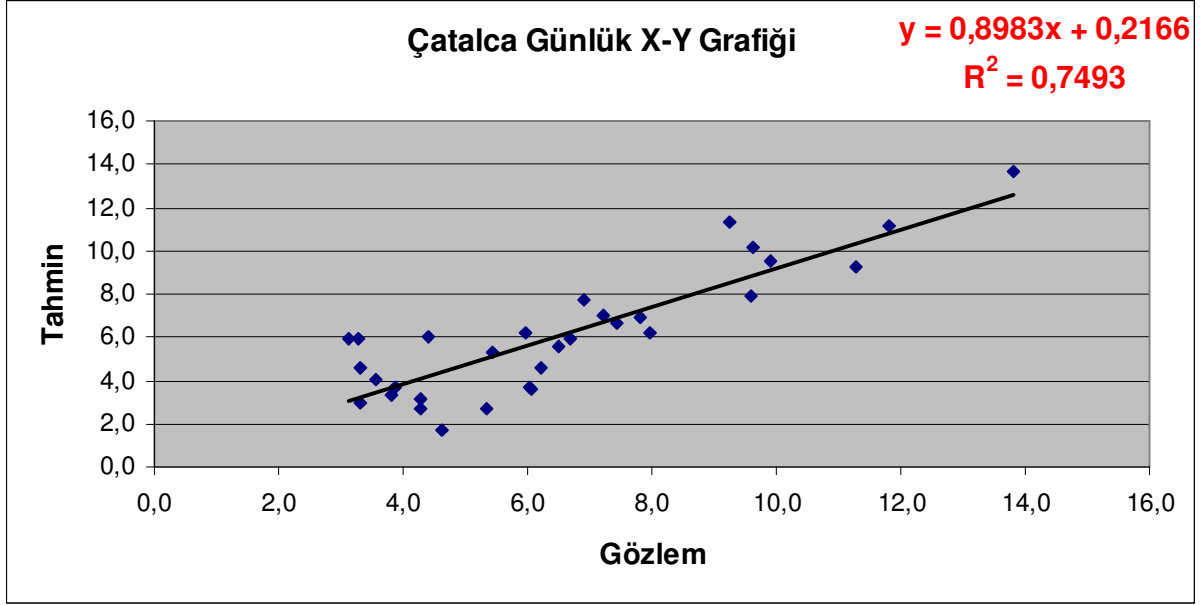
Çizelge-3. Tahmin Edilen ve Gözlenen Rüzgar Hızlarının Dönemsel Ortalamaları

| Balya  |        | Çatalca |        |
|--------|--------|---------|--------|
| Tahmin | Gözlem | Tahmin  | Gözlem |
| 4.5    | 5.2    | 5.8     | 6.5    |

Korelasyon, iki yada daha fazla değişken arasındaki ilişkinin bulunup-bulunmadığını, eğer ilişki varsa bu ilişkinin gücünü göstermek için kullanılır. Şekil-11 ve Şekil-12, sırasıyla Balya ve Çatalca için gözlem ve tahmin verilerinin dağılım grafiğini, belirleme katsayısını ve regresyon denklemini göstermektedir.



Şekil-11. Balya Gözlem ve Tahmin Verilerinin Dağılım Grafiği



Şekil-12. Çatalca Gözlem ve Tahmin Verilerinin Dağılım Grafiği

## SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ÖNERİLER

Çalışma henüz deneme aşamasındadır.

Tahmin ve gözlemler arasındaki korelasyonlar genel olarak yüksek bulunmuştur.

Tahmin Modeli (MM5) topoğrafyayı her 4 km'de bir tanıdığı için, düz arazilerdeki tahminlerin tutarlılığı karmaşık arazilere göre daha yüksek olmaktadır. Örneğin; topoğrafif yapısı daha karmaşık olan Balya için elde edilen tahmin tutarlılığı, Çatalca'ya göre daha düşük elde edilmiştir.

Gözlem-Tahmin sonuçları arasındaki ilişki incelenerek, tahmin tutarlılığının artırılmasına yönelik çalışmalar devam etmektedir.

## KAYNAKLAR

- Adekoya, L. O. and Adewale, A. A. 1992. Wind energy potential of Nigeria, Renewable Energy, 2, 35-39.
- Dündar C., Arıkan Y., “Enerji, Çevre ve Sürdürülebilirlik”, TMMOB Türkiye IV. Enerji Sempozyumu, 2003, Ankara.
- Dündar C., Canbaz M., Akgün N., Ural G., (2002) “Türkiye Rüzgar Atlası”, DMİ ve EİE ortak yayını, Haziran 2002, Ankara.
- “EÜAŞ Elektrik Üretim Sektör Raporu”, 2008, Ankara.
- “IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007”, Cambridge University Pres, New York, USA
- Monteiro C., Bessa R., Miranda V., Botterud A., Wang J. and Conzelmann G., “Wind Power Forecasting: State-of-the-Art 2009”, Argonne National Laboratory, 2009, USA.
- Oguz K., “Akçakoca Bölgesindeki Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin ve Rüzgar Akış Alanının Modellenmesi”, İstanbul Teknik Üniversitesi Merkez Kütüphanesi, 2011, İstanbul..
- Taylor P. A. and Teunissen H. W. (1987). The Askervein Hill Project: Overview and background data. Boundary-Layer Meteorology, 39, 15-39.
- “Wind energy and the job market”, 2009, European Wind Energy Association (EWEA).
- “Wind energy, finance and economics”, 2009, European Wind Energy Association (EWEA).
- “World Energy Outlook 2009”, International Energy Agency (IEA), November 2009, Paris.
- Yanıktepe B., Kaplan Y. A., “Rüzgar Enerjisi: Türkiye ve AB’nin Politik Karşılaştırılması ve Önemi”, 2. Rüzgar Sempozyumu, 2009, Samsun.
- <http://www.eie.gov.tr>
- <http://www.energy.eu/#renewable>
- <http://www.ikv.org.tr>
- <http://wwindea.org/home/index.php>