**T.C.**
**HARRAN ÜNİVERSİTESİ**
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

# TÜRKİYE'DE GÜNEŞ VE RÜZGÂR ENERJİSİ POTANSİYELİ İNDEKSİNİN BELİRLENMESİ VE RÜZGÂR TÜRBİNİ TASARIMI

**Hande Nur ALP**

**ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ŞANLIURFA**
**2022**

**T.C.**
**HARRAN ÜNİVERSİTESİ**
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

# TÜRKİYE'DE GÜNEŞ VE RÜZGÂR ENERJİSİ POTANSİYELİ İNDEKSİNİN BELİRLENMESİ VE RÜZGÂR TÜRBİNİ TASARIMI

**Hande Nur ALP**

**ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ŞANLIURFA**
**2022**

# İÇİNDEKİLER

**Sayfa No**


ÖZET ..... i
ABSTRACT ..... ii
TEŞEKKÜR ..... iii
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... iv
ÇİZELGELER DİZİNİ ..... v
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ ..... vii
1. GİRİŞ ..... 1
1.1. Yenilenebilir Enerji ..... 4
1.1.1. Rüzgâr enerjisi ..... 6
1.1.2. Hidrolik (hidroelektrik) enerji ..... 11
1.1.3. Jeotermal enerji ..... 12
1.1.4. Biyokütle enerjisi ..... 13
1.1.5. Güneş enerjisi ..... 14
1.1.6. Hidrojen enerjisi ..... 16
1.1.7. Dalga (gel-git) enerjisi ..... 16
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR ..... 17
3. MATERYAL ve YÖNTEM ..... 20
3.1. Materyal ..... 20
3.1.1. Dikey rüzgâr türbini tasarımı ..... 20
3.1.1.1. Tasarım kısıtları ..... 21
3.1.1.2. Performans ölçütleri ..... 22
3.1.2. Program yazılımı ..... 23
3.2. Yöntem ..... 25
3.2.1. Rüzgâr'dan enerji üretimi ..... 25
3.2.2. Güneş'ten enerji üretimi ..... 27
3.2.3. Rüzgâr enerji sistemleri için hava yoğunluğunun hesaplanması ..... 28
3.2.3.1. Uluslararası ölçüm standartları yöntemi ..... 28
3.2.3.2. Mühendislik yöntemi ..... 29
3.2.4. İstatistiksel analizler ..... 30
3.2.4.1. K-Ortalamalar kümeleme yöntemi ..... 30
3.2.4.2. Anova, Post Hoc ve regresyon analizi ..... 31
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA ..... 32
4.1. Türkiye'de Güneş ve Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli İndeksinin İstatistiksel Analizle Belirlenmesi ..... 32
4.2. İllerin Sıcaklık Değerleri Analizi ..... 39
4.3. İllerin Nem Değerleri Analizi ..... 42
4.4. İllerin Hava Basıncı (Pd) Değerleri Analizi ..... 45
4.5. İllerin Hava Basıncı (Pv) Değerleri Analizi ..... 48
4.6. İllerin Hava Yoğunluğu Değerleri Analizi ..... 51
4.7. İllerin Rüzgâr Hızı Değerleri Analizi ..... 54
4.8. Regresyon Modeli ..... 57
4.8.1. Sıcaklık ile yoğunluk arasındaki ilişki ..... 58
4.8.2. Nem ile yoğunluk arasındaki ilişki ..... 60
4.8.3. Pd ile yoğunluk arasındaki ilişki ..... 61
4.8.4. Pv ile yoğunluk arasındaki ilişki ..... 63
4.9. Rüzgâr Türbini Gücü Analizi ..... 65
4.9.1. Rüzgâr türbini gücü regresyon modeli ..... 69
4.9.1.1. TB1 ile rüzgâr hızı arasındaki ilişki ..... 69
4.9.1.2. TB2 ile rüzgâr hızı arasındaki ilişki ..... 70

4.9.1.3. TB3 ile Rüzgâr Hızı Arasındaki İlişki ..... 72
4.10. Rüzgâr Potansiyel İndeksinin Belirlenmesi ..... 74
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER ..... 78
KAYNAKLAR ..... 80
EKLER ..... 84
EK 1 İllerin sıcaklık dağılımının istatistiksel (ANOVA) analizi ..... 84
EK 2 İllerin nem (%) dağılımının istatistiksel (ANOVA) analizi ..... 86
EK 3 İllerin hava basıncı (Pd) dağılımının istatistiksel (ANOVA) analizi ..... 88
EK 4 İllerin hava basıncı (Pv) dağılımının istatistiksel (ANOVA) analizi ..... 90
EK 5 İllerin hava yoğunluğu dağılımının istatistiksel (ANOVA) analizi ..... 92
EK 6 İllerin rüzgâr hızı dağılımının istatistiksel (ANOVA) analizi ..... 94
EK 7 İllerin güç dağılımının istatistiksel ANOVA analizi ve çoklu karşılaştırma testi olarak TUKEY testi sonucu ..... 96
EK 8 Aydın, Manisa, İzmir, Çanakkale, Balıkesir İllerinin Yıllara Göre Türbin Bazında Analizi 98

# ÖZET

**Yüksek Lisans Tezi**

**TÜRKİYE'DE GÜNEŞ VE RÜZGÂR ENERJİSİ POTANSİYELİ İNDEKSİNİN BELİRLENMESİ VE RÜZGÂR TÜRBİNİ TASARIMI**

**Hande Nur ALP**

**Harran Üniversitesi**
**Fen Bilimleri Enstitüsü**
**Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman : Prof. Dr. Gencay SARIIŞIK**
**YIL: 2022, Sayfa: 100**

Çağımızın en büyük ve göz ardı edilemeyecek sorunlarından olan küresel iklim değişikliğinin ortaya çıkması ile birçok araştırma ve çözüm önerisi de beraberinde gelişmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları bu çözüm önerilerinin en önemlisidir. Zamanımızda yaygın olarak kullanılan fosil yakıtların yerine yenilenebilir enerji tercih edilmeye başlanmıştır. Çünkü fosil yakıtlar hem çevreye zararı çok fazla hem de yenilenebilir enerjinin aksine tükenme ihtimaline sahip kaynaklardır. Bunlara ek olarak nüfusun artışı, petrol ve benzeri doğal kaynakların ekonomiyi ciddi boyutta etkileyecek oranda fiyatlarının dalgalanışı, sanayinin hızlı bir şekilde gelişimi enerjiye olan ihtiyacımızın ve bağlılığımızın daha da arttığını açıkça göstermektedir. Günden güne artan enerji talebimizin karşılanması amacıyla yenilenebilir enerji kaynaklarını içeren pekçok çalışma yapılmaktadır. Rüzgâr enerjisi, gelgit enerjisi olarak da bilinen dalga enerjisi, jeotermal, güneş, biyokütle, hidrojen ve hidrolik enerji yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Bu kaynaklardan rüzgâr enerjisi ve güneş enerjisi hem maliyeti düşük hem de doğaya zararı en az olanlardandır. Bu durum fosil yakıtları kullanmak yerine rüzgâr ve güneş enerjisini tercih etmeye başlamanın en önemli nedenlerindendir. Çalışma kapsamında rüzgâr enerjisiyle ilgili literatür araştırması yapılmış, rüzgâr ve güneş enerjisinin gelişimi ve durumu, rüzgâr türbinlerinden ve güneş panelinden enerji üretimi, güneş ve rüzgâr enerjileri için potansiyel indeksinin istatistiksel analizle (ANOVA) belirlenmesi gibi konular incelenmiştir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan İzmir, Aydın, Balıkesir, Çanakkale ve Manisa İllerine ait güneş ve rüzgâr ile ilgili (güneşlenme süresi, radyasyon değerleri, rüzgâr hızı, nem, sıcaklık ve basınç) günlük bazda 10 yıllık veriler kullanılarak analizler (ANOVA ve Regresyon) yapılmıştır. Bunlara ek olarak gelişimi sürekli artan rüzgâr enerjisi ve güneş enerjisinin sürdürülebilirliğini de kullanarak bu çalışma kapsamında rüzgâr ve güneş enerjisi destekli çevre aydınlatma sistemi tasarlanmıştır.



**ANAHTAR KELİMELER:** Yenilenebilir enerji, Rüzgâr enerjisi, Rüzgâr türbini, Güneş enerjisi, İstatistiksel analiz

## ABSTRACT

**MSc Thesis**

**DETERMINING THE SOLAR AND WIND ENERGY POTENTIAL INDEX IN TURKEY AND WIND TURBINE DESIGN**

**Hande Nur ALP**

**Harran University**
**Graduate School of Natural and Applied Sciences**
**Department of Industrial Engineering**

**Supervisor : Prof. Dr. Gencay SARIIŞIK**
**Year: 2022, Page: 100**

With the emergence of global climate change, which is one of the biggest and cannot be ignored problems of our age, many research and solution proposals have also developed. Renewable energy sources are the most important of these solution proposals. Renewable energy has started to be preferred instead of fossil fuels, which are widely used in our time. Because fossil fuels are both harmful to the environment and, unlike renewable energy, they are sources that have the possibility of depletion. In addition to these, population growth, fluctuations in the prices of natural resources such as oil that will seriously affect the economy, and the rapid development of the industry clearly show that our need and commitment to energy has increased. In order to meet our increasing energy needs day by day, many studies including renewable energy sources are carried out. Wind, wave also known as tidal energy, solar, geothermal, biomass, hydrogen and hydraulic are renewable energy sources. Among these sources, wind energy and solar energy are both low-cost and least harmful to nature. This is one of the most important reasons for preferring wind and solar energy instead of using fossil fuels. Within the scope of this study, literature research on wind energy was conducted, and the development and status of wind and solar energy, energy production from wind turbines and solar panels, determination of the potential index for solar and wind energies by statistical analysis (ANOVA) were examined. Analyzes (ANOVA and regression) were made using 10-year data on a daily basis regarding sun and wind (sunbathing duration, radiation values, wind speed, humidity, temperature and pressure) of Izmir, Aydın, Balıkesir, Canakkale and Manisa provinces obtained from the General Directorate of Meteorology. In addition to these, a wind and solar energy supported environmental lighting system has been designed within the scope of this study by using the continuously increasing wind energy and the sustainability of solar energy.



**KEY WORDS:** Renewable energy, Wind energy, Wind turbine, Solar energy, Statistical analysis

# TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans çalışmam boyunca ve tezin hazırlanması aşamasında; bilimsel ve manevi desteğini benden esirgemeyen, beni yönlendiren, tavsiyelerde bulunan, anlayışlı ve her türlü kolaylığı gösteren kıymetli hocam, tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Gencay SARIIŞIK'a çok teşekkür ederim. Tezim kapsamında hazırlamış olduğumuz programımızda değerli bilgilerini bizimle paylaşıp çalışmamın ilerleyişinde çok büyük desteği olan Sn. Alptekin ÖZDEMİR'e ve tez izleme komitesindeki bilimsel katkılarıyla tezime katkı sağlayan hocam; Dr. Öğr. Üyesi A. Sabri ÖĞÜTLÜ'ye teşekkürlerimi sunarım. Hayatım boyunca her koşulda bana destek veren, bugünlere gelmemde en büyük katkıları olan ve her zaman yanımda olan bu hayatta hiçbir şeye asla değişmeyeceğim canım ailem ve canım eşime sonsuz teşekkürler.

# ŞEKİLLER DİZİNİ

**Sayfa No**

Şekil 1.1. 1990-2019 yılları arası sera gazı salınımının sektörel dağılımı....2
Şekil 1.2. 1990-2019 yılları arası sera gazı salınımın kişi başı ve toplam dağılımı ....2
Şekil 1.3. 2001-2019 Yenilenebilir Enerji Kapasitesinin Gelişimi ....3
Şekil 1.4. Enerji kaynaklarının sınıflandırılması ....6
Şekil 1.5. James Blyth tarafından tasarlanan dikey eksenli rüzgâr türbini ....7
Şekil 1.6. Charles F. Brush tarafından tasarlanan yatay eksenli rüzgâr türbini ....8
Şekil 1.7. Rüzgâr enerjisi tesislerinin 2001-2020 yılları arasında tarihsel gelişimi ....10
Şekil 1.8. 2020 yılı birincil kaynaklara göre kurulu güç dağılım grafiği ....10
Şekil 3.1. Kurulum yerlerine ve özelliklerine göre rüzgâr türbin çeşitleri ....21
Şekil 3.2. Helezonik yapılı rüzgâr türbini tasarımı ....22
Şekil 3.3. Birinci programın ara yüzü (Rüzgâr Türbini, güneş paneli ve LED gücü) ....24
Şekil 3.4. İkinci programın ara yüzü (harita üzerinden konum vermesi) ....24
Şekil 3.5. Açık kaynak uyarı talep sistemi (OTRS) ....25
Şekil 3.6. Rüzgâr türbinlerinin evrimi ve verimliliği ....26
Şekil 3.7. Helezonik yapılı rüzgâr türbini kanat profili ....27
Şekil 4.1. Türkiye'de 2018 yılı illerine göre güneşlenme süresi ....32
Şekil 4.2. Türkiye'de 2018 yılı illerine göre radyasyon değerleri ....33
Şekil 4.3. Türkiye'de 2018 yılı illerine göre rüzgâr toplam kurulu güç ....33
Şekil 4.4. Türkiye'de 2018 yılı illerine göre rüzgâr toplam alanı ....34
Şekil 4.5. Türkiye'de 2018 yılı illerine göre güneşlenme süresi ....35
Şekil 4.6. Türkiye'de 2018 yılı illerine göre radyasyon değerleri ....35
Şekil 4.7. Türkiye'de 2018 yılı illerine göre rüzgâr toplam kurulu güç yeni haritalandırma ....36
Şekil 4.8. Türkiye'de 2018 yılı illerine göre rüzgâr toplam alanı yeni haritalandırma ....37
Şekil 4.9. Rüzgâr hızı-güç dağılım eğrisi ....38
Şekil 4.10. Yıllara göre illerin sıcaklık değerlerinin grafiği (2011-2020)....41
Şekil 4.11. Yıllara göre illerin nem değerlerinin grafiği (2011-2020) ....44
Şekil 4.12. Yıllara göre illerin hava basıncı (Pd) değerlerinin grafiği (2011-2020)....47
Şekil 4.13. Yıllara göre illerin hava basıncı (Pv) değerlerinin grafiği (2011-2020)....50
Şekil 4.14. Yıllara göre illerin hava yoğunluğu değerlerinin grafiği (2011-2020)....53
Şekil 4.15. Yıllara göre illerin rüzgâr hızı değerlerinin grafiği (2011-2020) ....56
Şekil 4.16. Sıcaklık ve yoğunluk arasındaki ilişkiyi gösteren regresyon grafiği ....59
Şekil 4.17. Nem ve yoğunluk arasındaki ilişkiyi gösteren regresyon grafiği ....61
Şekil 4.18. Basınç (Pd) ve yoğunluk arasındaki ilişkiyi gösteren regresyon grafiği ....63
Şekil 4.19. Pv ve yoğunluk arasındaki ilişkiyi gösteren regresyon grafiği ....64
Şekil 4.20. İllere göre farklı rüzgâr türbini boyutunda rüzgâr türbini gücü ....66
Şekil 4.21. Yıllara göre farklı rüzgâr türbini boyutunda rüzgâr türbini gücü ....68
Şekil 4.22. T1 ve rüzgâr hızı arasındaki ilişkiyi gösteren regresyon grafiği ....70
Şekil 4.23. T2 ve rüzgâr hızı arasındaki ilişkiyi gösteren regresyon grafiği ....72
Şekil 4.24. T3 ve rüzgâr hızı arasındaki ilişkiyi gösteren regresyon grafiği ....74

# ÇİZELGELER DİZİNİ

**Sayfa No**


Çizelge 1.1. 2018 Yılı İlk 10 Hidroelektrik Üreticisi Ülkenin Durumu .....12
Çizelge 4.1. K ortalamalar kümeleme yöntemi ile belirlenen güneş potansiyel indeksi .....34
Çizelge 4.2. K ortalamalar kümeleme yöntemi ile belirlenen rüzgâr potansiyel indeksi .....36
Çizelge 4.3. Rüzgâr türbini boyutlarının istatistiksel (ANOVA) analizi .....38
Çizelge 4.4. İllere göre sıcaklık dağılımının istatistiksel (ANOVA) analizi .....39
Çizelge 4.5. Yıllara göre sıcaklık dağılımının istatistiksel (ANOVA) analizi .....39
Çizelge 4.6. İllerin sıcaklık dağılımının istatistiksel ANOVA analizi ve çoklu karşılaştırma testi olarak TUKEY testi sonucu .....40
Çizelge 4.7. İllerin sıcaklık dağılımının istatistiksel (ANOVA) analizi anlamlılık tablosu .....41
Çizelge 4.8. İllere göre nem dağılımının istatistiksel (ANOVA) analizi .....42
Çizelge 4.9. Yıllara göre nem (%) dağılımının istatistiksel (ANOVA) analizi .....43
Çizelge 4.10. İllerin nem (%) dağılımının istatistiksel ANOVA analizi ve çoklu karşılaştırma testi olarak TUKEY testi sonucu .....43
Çizelge 4.11. İllerin nem dağılımının istatistiksel (ANOVA) analizi anlamlılık tablosu .....44
Çizelge 4.12. İllere göre hava basıncı (Pd) dağılımının istatistiksel (ANOVA) analizi .....45
Çizelge 4.13. Yıllara göre hava basıncı (Pd) dağılımının istatistiksel (ANOVA) analizi .....46
Çizelge 4.14. İllerin hava basıncı (Pd) dağılımının istatistiksel ANOVA analizi ve çoklu karşılaştırma testi olarak TUKEY testi sonucu .....46
Çizelge 4.15. İllerin hava basıncı (Pd) dağılımının istatistiksel (ANOVA) analizi anlamlılık tablosu 48
Çizelge 4.16. İllere göre hava basıncı (Pv) dağılımının istatistiksel (ANOVA) analizi .....49
Çizelge 4.17. Yıllara göre hava basıncı (Pv) dağılımının istatistiksel (ANOVA) analizi .....49
Çizelge 4.18. İllerin hava basıncı (Pv) dağılımının istatistiksel ANOVA analizi ve çoklu karşılaştırma testi olarak TUKEY testi sonucu .....49
Çizelge 4.19. İllerin hava basıncı (Pv) dağılımının istatistiksel (ANOVA) analizi anlamlılık tablosu 51
Çizelge 4.20. İllere göre hava yoğunluğu dağılımının istatistiksel (ANOVA) analizi .....52
Çizelge 4.21. Yıllara göre hava yoğunluğu dağılımının istatistiksel (ANOVA) analizi .....52
Çizelge 4.22. İllerin hava yoğunluğu dağılımının istatistiksel ANOVA analizi ve çoklu karşılaştırma testi olarak TUKEY testi sonucu .....52
Çizelge 4.23. İllerin hava yoğunluğu dağılımının istatistiksel (ANOVA) analizi anlamlılık tablosu ..54
Çizelge 4.24. İllere göre rüzgâr hızı dağılımının istatistiksel (ANOVA) analizi .....55
Çizelge 4.25. Yıllara göre rüzgâr hızı dağılımının istatistiksel (ANOVA) analizi .....55
Çizelge 4.26. İllerin rüzgâr hızı dağılımının istatistiksel ANOVA analizi ve çoklu karşılaştırma testi olarak TUKEY testi sonucu .....55
Çizelge 4.27. İllerin rüzgâr hızı dağılımının istatistiksel (ANOVA) analizi anlamlılık tablosu .....57
Çizelge 4.28. Sıcaklık, Nem, Pd ve Pv ile yoğunluk değerleri arasındaki ilişki .....58
Çizelge 4.29. Sıcaklık, Nem, Pd ve Pv ile yoğunluk değerleri arasındaki ANOVA sonucu .....58
Çizelge 4.30. Sıcaklık ve yoğunluk arasındaki regresyon analizi .....58
Çizelge 4.31. Sıcaklık ve yoğunluk arasındaki ANOVA analizi .....59
Çizelge 4.32. Sıcaklık ve yoğunluk arasındaki regresyon analizi .....59
Çizelge 4.33. Nem ve yoğunluk arasındaki regresyon analizi .....60
Çizelge 4.34. Nem ve yoğunluk arasındaki ANOVA analizi .....60
Çizelge 4.35. Nem ve yoğunluk arasındaki regresyon analizi .....61
Çizelge 4.36. Pd ve yoğunluk arasındaki regresyon analizi .....62
Çizelge 4.37. Pd ve yoğunluk arasındaki ANOVA analizi .....62
Çizelge 4.38. Pd ve yoğunluk arasındaki regresyon analizi .....62
Çizelge 4.39. Pv ve yoğunluk arasındaki regresyon analizi .....63
Çizelge 4.40. Pv ve yoğunluk arasındaki ANOVA analizi .....64
Çizelge 4.41. Pv ve yoğunluk arasındaki regresyon analizi .....64

Çizelge 4.42. İllere göre rüzgâr türbini gücünün istatistiksel (ANOVA) analizi .....65
Çizelge 4.43. Yıllara göre rüzgâr türbini boyutlarının istatistiksel (ANOVA) analizi .....66
Çizelge 4.44. Rüzgâr türbini boyutlarının (TB1) regresyon analizi .....69
Çizelge 4.45. Rüzgâr türbini boyutlarının (TB1) istatistiksel (ANOVA) analizi .....69
Çizelge 4.46. Rüzgâr türbini boyutları (TB1) ve rüzgâr hızı arasında istatistiksel (ANOVA) analizi .70
Çizelge 4.47. Rüzgâr türbini boyutlarının (TB2) regresyon analizi .....71
Çizelge 4.48. Rüzgâr türbini boyutlarının (TB2) istatistiksel (ANOVA) analizi .....71
Çizelge 4.49. Rüzgâr türbini boyutları (TB2) ve rüzgâr hızı arasında istatistiksel (ANOVA) analizi .72
Çizelge 4.50. Rüzgâr türbini boyutlarının (TB3) regresyon analizi .....73
Çizelge 4.51. Rüzgâr türbini boyutlarının (TB3) istatistiksel (ANOVA) analizi .....73
Çizelge 4.52. Rüzgâr türbini boyutları (TB3) ve rüzgâr hızı arasında istatistiksel (ANOVA) analizi .74
Çizelge 4.53. K ortalamalar kümeleme yöntemi ile belirlenen rüzgâr potansiyel indeksi .....75
Çizelge 4.54. Aydın, Manisa, İzmir, Çanakkale, Balıkesir ilerinin yıllık bazda türbin boyutlarına göre enerji üretim potansiyeli .....75

# SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

| | |
|---|---|
| A | Kanat Süpürme Alanı |
| CIPM | Uluslararası Ağırlık ve Ölçüm Komitesi |
| $C_p$ | Türbinin Güç Katsayısı |
| f | Artış Katsayısı |
| GES | Güneş Enerji Santrali |
| GW | Gigawatt |
| h | Bağıl Nem |
| Hm | Deniz Seviyesinden Yüksekliği |
| IRENA | Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı |
| kWh | Kilowatt Saat |
| L | Düşey Sıcaklık Gradyanı |
| $M_a$ | Kuru Havanın Molar Kütlesi |
| $M_v$ | Suyun Molar Kütlesi |
| MW | Megawatt |
| OTRS | Açık Kaynak Uyarı Talep Sistemi |
| $\rho$ | Hava Yoğunluğu |
| p | Hava Basıncı |
| $p_o$ | Deniz Seviyesi Standart Atmosferik Basınç |
| $p_{sv}$ | Doymuş Buhar Basıncı |
| R | Molar Gaz Sabiti |
| RES | Rüzgâr Enerji Santrali |
| t | Hava Sıcaklığı |
| to | Deniz Seviyesi Standart Sıcaklık |
| TB1 | 1 Numaralı Türbin Boyutu |
| TB2 | 2 Numaralı Türbin Boyutu |
| TB3 | 3 Numaralı Türbin Boyutu |
| TEİAŞ | Türkiye Elektrik İletim A.Ş. |
| U | Rüzgâr Hızıdır |
| W | Watt |
| Z | Sıkıştırılabilirlik Katsayısı |

# 1. GİRİŞ

Geçmişten günümüze enerji kavramı ekonomik ve sosyal yapının gelişimini sağlayarak, çağdaş ülkelerin bulunduğu duruma gelebilmek için çok büyük öneme sahiptir. Dünya ekonomisinin gelişimi ile ülkelerin enerji gereksinimleri gün geçtikçe artmaya devam etmektedir (Vine, 2008). İnsanlığın gidişatını çarpıcı ölçüde etkileyen 18.yy Endüstri devrimi ile varoluşumuzun en büyük gereksinimlerinden olan enerji; sanayi, sağlık, bilişim gibi birçok sektörde ve hayatımızın her alanında faaliyet göstermektedir. Bu enerji gereksinimini karşılamak için günümüze kadar tartışmasız en çok tercih edilen kaynaklar fosil yakıtlar olmuştur (Yılmaz, 2016). 1973'de meydana gelen enerji krizinden bu yana içerisinde %72 oranda Karbondioksit ($CO_2$) barındıran sera gazı salınımı, hava kirliliği ve birçok çevresel zarara neden olurken aynı zamanda insan sağlığını da ciddi boyutta tehdit ettiği resmi çalışmalarla göz önüne serilmiştir. İlk bakışta ucuz olarak görülen bu enerjinin kullanımı zararlar ortaya konulduğunda uzun vadede daha büyük kayba neden olmuştur (Şen, 2004).

Hayatımızın devamı için en temel ihtiyacımız olan enerjiye duyduğumuz hassasiyet iki temel nedenden oluşmaktadır. Bunlardan ilki bir daha gerçekleşmemesi istenen 1970'lerde yaşanan enerji krizi ve ikincisi bugünkü modern hayatımızın devamı için enerji ihtiyacımızın devamlı artması (Varınca ve ark, 2005).

Türkiye istatistik kurumunun hazırlamış olduğu sera gazı emisyon istatistiklerine göre, 1990-2019 yılları arasında sera gazı salınımının sektörel dağılımı aşağıda gösterilen tablo ile gözler önüne serilmiştir (Türkiye İstatistik Kurumu, Sera Gazı Emisyon İstatistikleri, 1990-2019).

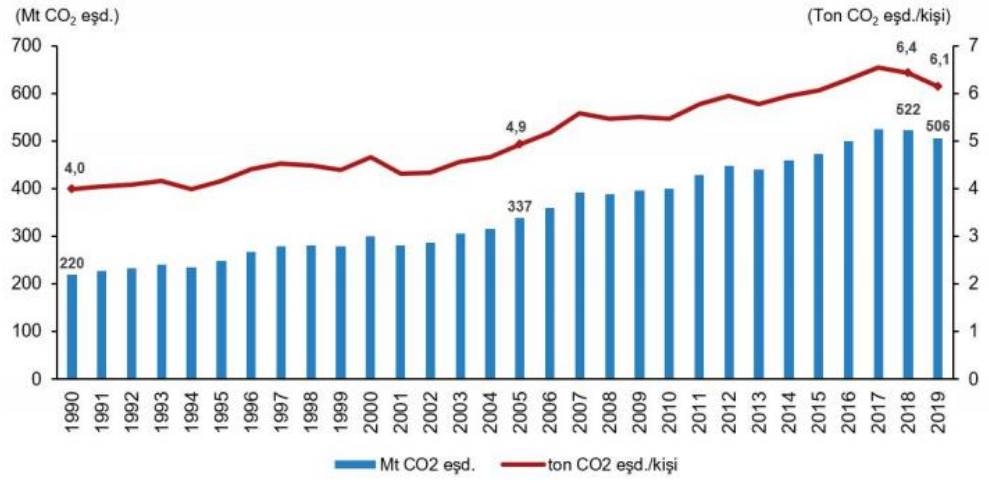
(Milyon ton $CO_2$ eşd.)

| | 1990 | 2000 | 2010 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 1990-2019 değişim (%) | 2018-2019 değişim (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Toplam emisyon** | **219,6** | **299,0** | **399,1** | **473,3** | **498,9** | **525,0** | **522,5** | **506,1** | **130,5** | **-3,1** |
| Enerji | 139,6 | 216,1 | 287,0 | 340,9 | 359,7 | 379,9 | 373,1 | 364,4 | 161,0 | -2,3 |
| Endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı | 22,8 | 26,2 | 48,1 | 57,2 | 61,4 | 64,0 | 65,9 | 56,4 | 147,1 | -14,3 |
| Tarım | 46,1 | 42,3 | 44,4 | 56,1 | 58,9 | 63,3 | 65,3 | 68,0 | 47,7 | 4,1 |
| Atık | 11,1 | 14,3 | 19,5 | 19,0 | 19,0 | 17,8 | 18,1 | 17,2 | 55,7 | -5,0 |

Tablodaki rakamlar, yuvarlamadan dolayı toplamı vermeyebilir.

Şekil 1.1. 1990-2019 yılları arası sera gazı salınımının sektörel dağılımı (Türkiye İstatistik Kurumu, Sera Gazı Emisyon İstatistikleri, 1990-2019)

Aynı şekilde 1990 yılında birey başına düşen toplam sera gazı salınımı yaklaşık 4 ton $CO_2$'e eşdeğerken, 2019 yılında bu değer 6,1 ton $CO_2$ eşdeğeri olarak tespit edilmiştir. Bu ciddi artışa rağmen 2018 yılına göre birey başına düşen toplam sera gazı salınımı 6,4 ton $CO_2$ 'e eşdeğerken 6,1 ton $CO_2$ 'e eşdeğer olacak şekilde gerilemiştir. Bir önceki yılın sera gazı salınımı oranı ise %3,1 düşerek 506,1 Mt $CO_2$ eşdeğer olarak kayıtlara geçmiştir (Türkiye İstatistik Kurumu, Sera Gazı Emisyon İstatistikleri, 1990-2019).



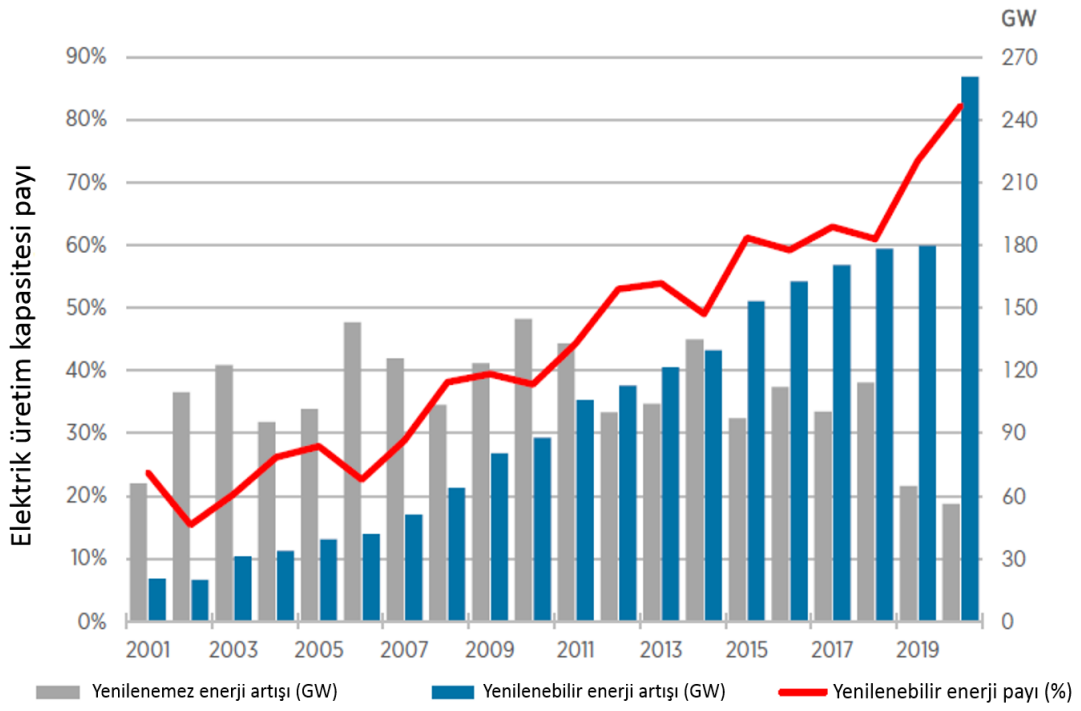

Şekil 1.2. 1990-2019 yılları arası sera gazı salınımın kişi başı ve toplam dağılımı (Türkiye İstatistik Kurumu, Sera Gazı Emisyon İstatistikleri, 1990-2019)

Enerji ihtiyacı artarken aynı oranda fosil yakıt kapasitesinin azalması yadsınamaz bir gerçekken, Fosil yakıtların tükenebilir oluşu ve atmosfere verdiği zararın anlaşılması ile enerji tasarrufu ve çevrenin korunması bilincinin temelleri

oluşmaya başlamıştır (Vine, 2008). Sera gazı salınımını azaltmak hedefi ile 1997 yılında imzalanan Kyoto Protokolü ve 2015 yılı Paris Sözleşmesi dünya çapında atılan adımların en önemlileridir.

Son yıllara kadar yaygın olarak kullanılmakta olan fosil yakıtların tükenebilir olmasının yanı sıra, sera gazı salınımı gibi olumsuz faktörlere sahip olmasından dolayı, yerini yenilenebilir enerji kaynaklarına bırakmaktadır. Vazgeçilmez ihtiyacımız olan enerji gelecekte de önemini koruyacağı için, çevresel açıdan en az zararı doğuracak kaynakların kullanılması için çok sayıda araştırma ve geliştirme çalışmaları yapılmaktadır (Türkiye İstatistik Kurumu, Sera Gazı Emisyon İstatistikleri, 1990-2019).

2019 yılı elektrik piyasası gelişim raporuna göre, ülkemizde dışa bağımlı enerji tüketiminin yerini yenilenebilir enerji kaynaklarının alması için yapılan teşvikler ile 2018 yılında elektrik üretimi %30,67'yken 2019 yılında bu oran %42,10'a yükselmiştir (Elektrik Piyasası Yıllık Sektör Raporu, 2019)




Şekil 1.3. 2001-2019 Yenilenebilir Enerji Kapasitesinin Gelişimi (IRENA, 2021)

2020 yılında yenilenebilir enerji üretim kapasitesi, son yıllara göre çok daha fazla artmış ve uzun vadeli eğilimin çok üzerine çıkmıştır. Bu artışın en büyük payı Çin'de ve ikinci olarak da Amerika Birleşik Devletleri'ndedir. Diğer ülkelerin çoğu, önceki yıllara benzer bir oranda yenilenebilir kapasiteyi artırmaya devam etmiştir. 2020'de yenilenebilir kapasitedeki artış, 2019'daki %73'e kıyasla 2020'de %82'ye ulaştı. Toplam üretim kapasitesinin yenilenebilir payı da iki puan artarak 2019'da %34,6'dan 2020'de %36,6'ya yükseldi (IRENA, 2021).

## 1.1. Yenilenebilir Enerji

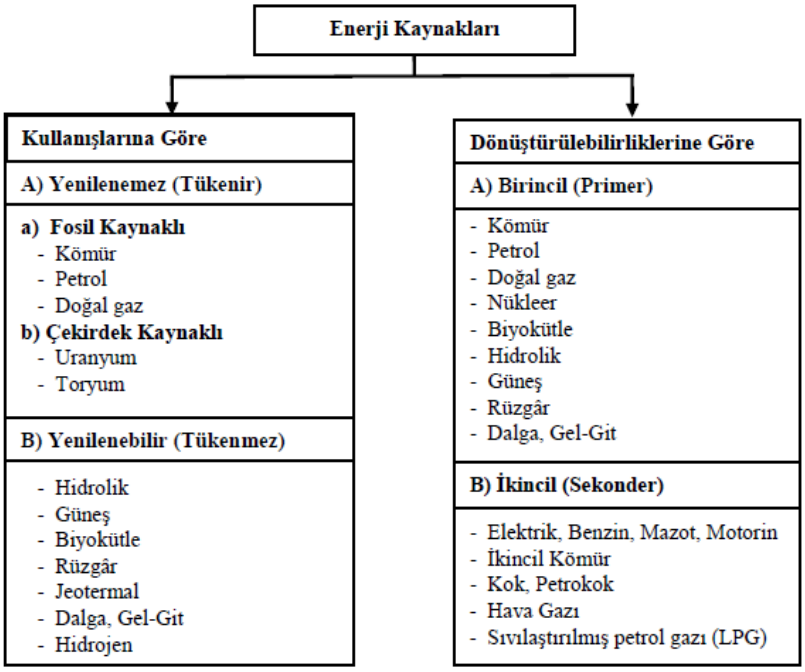
En temel ihtiyaçlarımızdan olan enerji, geçmişten günümüze toplumların gelişimlerini köklü olarak etkilemiştir. Bu da insanlığın enerjiyi farklı çeşitlerle ve farklı alanlarda kullanması ile sağlanmıştır. Ancak sanayileşmenin gün geçtikçe gelişmesi ile fosil yakıtların kullanımı, insanlık tarihindeki en büyük ve en hızlı tüketim çağının yaşandığını gözler önüne sermektedir. Bu da çağımızın en büyük sorunlarından olan küresel iklim değişikliğinin en büyük tetikleyicisi olmuştur. Dünya'da bu zamana kadar oluşturmuş iklim değişikliğinin ve atmosfer kirliliğinin başlangıcı fosil tabanlı yakıtlar yüzündendir. İnsanoğlunun farklı enerji kaynaklarına yönelmesi fosil kaynakların enerji ihtiyacını karşılamada tükenecek olması ve çevreye zarar vermesinden dolayıdır. Ülkelerin gelişimi ile aynı doğrultuda artan enerjiye olan talebin karşılanması, yenilenebilir enerji kaynaklarının daha çok ve etkili kullanılışı ve enerji verimliliğinin artışı ile sağlanabilir (Čeřovský ve ark., 2008; Özgöçmen, 2007).

Son yarım asırda yapılan araştırmalar ve yayınlarda bu durum atfettirilmiş ve bunun önüne geçmek adına Kyoto protokolü gibi anlaşmalar yapılmıştır. Ülkemiz de bu protokolü geçtiğimiz yıllarda imzalamıştır. Bu anlaşmaların yapılması ve önlemlerin alınması için ülkeler enerji kaynaklarında değişime ve yenilenmeye ihtiyaç duymaktadır. Enerjide doğal olanı bulma arayışımız vardır. Bu nedenle çevreye zarar vermeyen hem yenilenebilir hem doğal olan enerji kaynaklarına yönelim olmuştur (Boyle, 2004; Turner, 1999).

Çeşitli yapılarda var olan enerjinin sınıflandırılması farklı şekillerde yapılmaktadır. Enerji kaynakları genel olarak, yenilenebilir ya da yenilenemez olarak kullanılışlarına göre, birincil ya da ikincil olarak da dönüştürülebilirlik durumlarına göre sınıflandırılmaktadır. Bu kaynakların yenilenebilirliği kullanılmasından ya da tükenmesinden sonra kendisini yenileyebilmesi, devamlılığının olması ve çevreye zararlı atıklar bırakması gibi kısıtlarla ölçülür.

Dönüştürülebilirliklerine göre enerji kaynaklarından ilki olan birincil enerji, kaynağı doğa olan, herhangi bir değişime uğramamış yüksek enerji yoğunluğuna sahip ve kullanıldığında direkt enerji veren kaynaktır. Bu grup enerji petrol, nükleer, biyokütle, dalga, güneş ve rüzgâr gibi kaynaklardan oluşmaktadır. Birincil enerji kaynaklarının niteliklerinin değiştirilmesi ile ikincil enerji kaynakları oluşmaktadır. Elektrik, benzin, mazot, petrokok bu enerji kaynağı gurubuna örnek olarak verilebilir.

Kullanılışlarına göre sınıflandırmada yer alan yenilemez enerji kaynakları, yakın gelecekte tükeneceği beklenen kömür, petrol, doğal gaz benzeri fosil kaynaklı ve çekirdek kaynaklı olarak iki kola ayrılmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları ise yakın gelecekte tükenme ihtimali olmayan ve devamlı olarak kendisini yenileyen bir diğer adıyla tükenmeyen enerji kaynağıdır. (Konyalı, 2019; Şenel, 2012).




Şekil 1.4. Enerji kaynaklarının sınıflandırılması (Şenel, 2012)

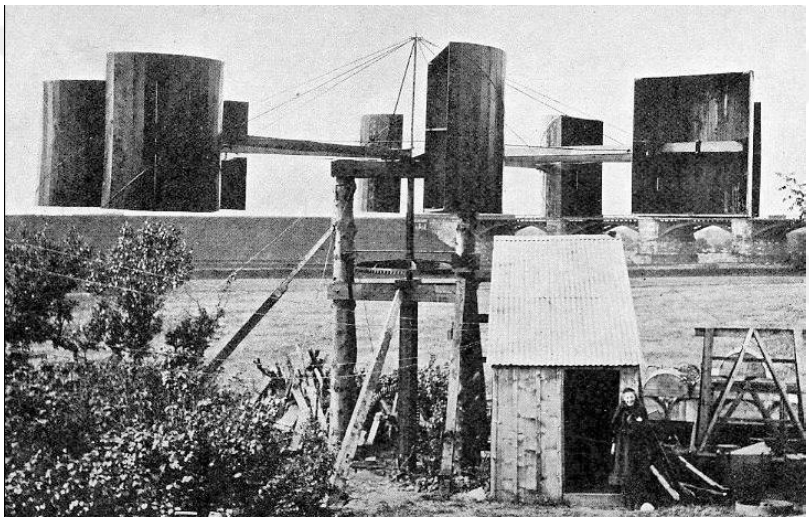
Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı'nın (IRENA) yayınlamış olduğu 2021 yılı Yenilenebilir Enerji Kapasitesi İstatistikleri Raporu'na göre dünya genelinde yenilenebilir enerji toplam kurulu gücün geçen yıla oranla 261 GW'lık artış kaydederek 2.920 GW'a yükseldiği açıklanmıştır. Bu toplam kurulu gücün 1.332 GW'ını hidroelektrik enerjisi, 733 GW'ını rüzgâr enerjisi, 714 GW'ını güneş enerjisi, 127 GW'ını biyokütle, 14 GW'ını jeotermal enerji oluşturmaktadır.

Nisan 2021 itibariyle Türkiye'de bir önceki yıla kıyasla 5 GW artarak 97 GW'ı geçen kurulu gücün 50.647 MW'ını yenilenebilir enerji kaynakları oluşturmaktadır. Bunun 31.490 MW'ı hidroelektrik enerjisi, 9.397 MW'ı rüzgâr enerjisi, 6.928 MW'ı güneş enerjisi, 1.696 MW'ı jeotermal enerji, 1.136 MW'ı biyokütle'den sağlanmaktadır (IRENA, 2021).

### 1.1.1. Rüzgâr enerjisi

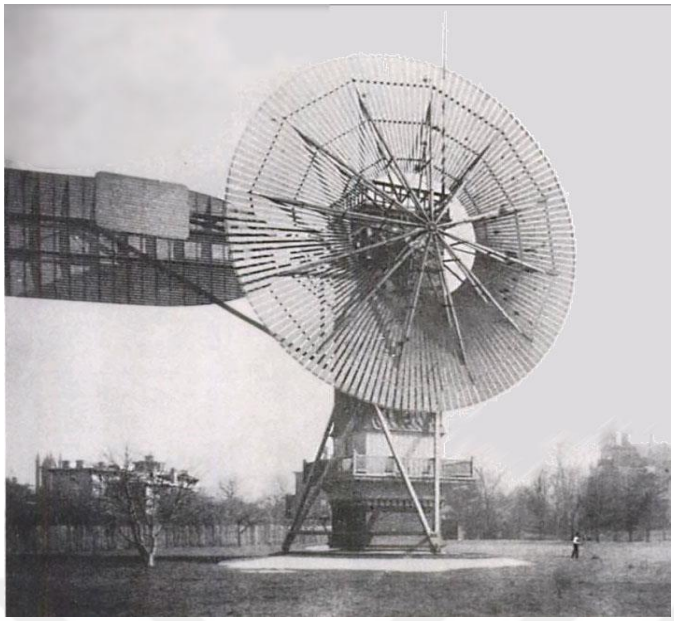
Doğada kendiliğinden var olan rüzgâr birçok alanda kullanılmaktadır. Çok eski zamanlara dayanan kullanımı ile rüzgâr enerjisi yelkenli gemilerde, su pompalamada, yel değirmenlerinde kullanımıyla önemini günümüze kadar arttırmıştır (Tong, 2010).

Bilinen ilk kullanım alanlarından olan, rüzgârın kinetik enerjisini kullanarak gemilerin hareketini sağlama yaklaşık 5000 yıldan fazladır devam etmektedir. İlerleyen süreçlerde de kullanım alanına yel değirmenleri eklenmiş, bu sayede tahılların işlenmesi sağlanmıştır. Günümüzde ise kullanım alanı daha çok enerji üretimi üzerinedir. Yunan matematikçi ve mühendis Heron karada rüzgârı kullanarak tarihin bilinen ilk rüzgâr çarkı mucidi olmuştur. Bu sayede rüzgârdan güç üretiminin temelleri atılmıştır. 1887 yılında İskoç Elektrik Mühendisi Profesör James Blyth rüzgâr gücünü kullanarak bir akümülatörü şarj etmeyi başarmış ve bunu evinde kullanarak bir ilke imza atmıştır. 4 yıl sonra ise bu çalışmasının patentini almıştır.



Şekil 1.5. James Blyth tarafından tasarlanan dikey eksenli rüzgâr türbini (Burchell, 2018)

1888 yılında ABD'de Charles Francis Brush bir sonraki aşamaya geçmiş, rüzgârı kullanarak enerji üretimini sağlayan 17 metre çapında rotorlu, çok fazla kanadı bulunan tasarımı ile ilk türbin denemesini gerçekleştirmiştir. Kanatların çok fazla olmasından kaynaklı yüksek momentli fakat düşük devirle çalışan bu türbin istenilen başarıyı sağlayamamıştır. Günümüzde 2-3 kanatlı ve aynı rotor çapına sahip türbinler 70-100kW güç üretirken Brush Türbin'i 12kW güç üretmiştir. Yaklaşık 20 yıl kullanılan bu türbin küçük ölçekli rüzgâr türbinlerinin kullanımına öncü olmuştur (Burchell, 2018).



Şekil 1.6. Charles F. Brush tarafından tasarlanan yatay eksenli rüzgâr türbini (Burchell, 2018)

Asıl mesleği meteorolog olan Danimarkalı Profesör Poul La Cour 1890'larda rüzgâr türbinleri konusunda büyük bir dönüm noktası olacak aerodinamik profillerden yararlanılan 4 kanatlı modern rüzgâr türbininin mucidi olmuştur. Hızlı rotora sahip olmasından dolayı, elektrik üretimi için oldukça uygundu. 20kW ile 35kW arası enerji üreten bu türbinden 120 adet üretim yaparak 1918 yılında Danimarka'nın kurulu rüzgâr enerjisi kapasitesinin 3MW'a çıkmasına neden olmuştur. Bunların yanı sıra bu türbinlerden üretilen elektriği kullanarak elektroliz yolu ile hidrojen üretip rüzgâr enerjisini depolamayı başarmıştır. Büyük şehirlere elektriğin ulaşmasından sonra ise rüzgâr enerjisine olan ilgi dizel yakıtın ucuz olması nedeni ile azalmış bu durum II. Dünya Savaşı'na kadar sürmüştür (Hau Erich, 1996).

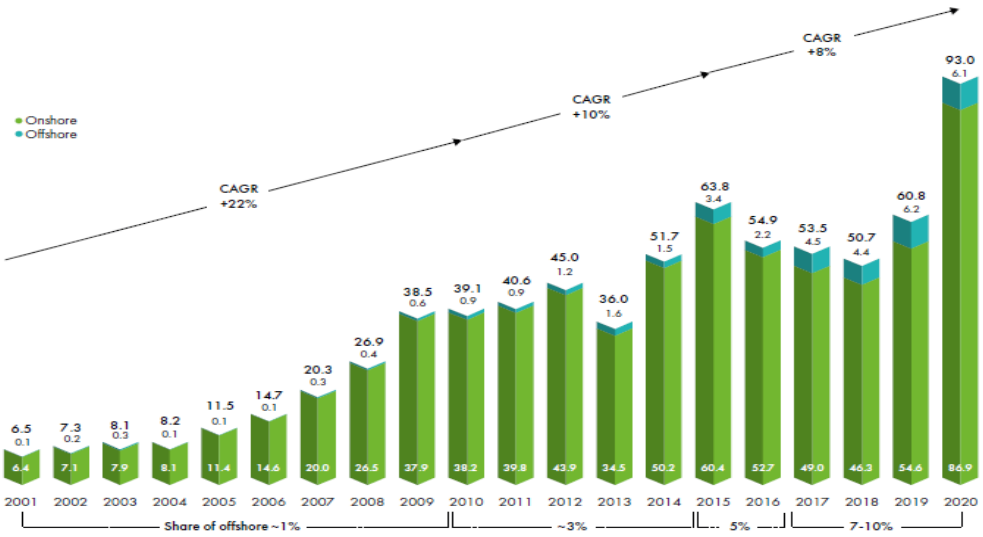
Profesör Poul La Cour tarafından doğru akım ile üretilen türbinler, öğrencisi Johannes Juul sayesinde geliştirilerek alternatif akım ile çalışması sağlanmıştır. 1956 yılında Danimarka'nın Gedser adasında kurulan 24 metre çapında, 200 kW'lık kurulu güce sahip oluşu ile Gedser türbini bu alandaki dönüm noktalarından olmuştur. 1956-1967 yılları arasında bakım yapılmadan ve 1958 yılından itibaren 9 yıl boyunca %20 kapasite ile çalışmıştır (Durak ve ark, 2007).

1960'lı yıllarda ise Prof. Ulrich Hütter 34 metre çapında 2 kanatlı 100kW güce sahip Hütter Allgaier adında yüksek rüzgâr hızlı fakat kararsız pervaneli türbinini geliştirmiştir.

Ekim 1973'de yaşanan petrol krizi ve devamında artan çevre duyarlılığı ile farklı enerji kaynağı arayışları başlamıştır (Heier, 1996). 1980 yılında %50'ye yakın sağlanan, yatırım vergi kredileri California'da modern rüzgâr türbinlerinin ilgi odağı olmasına neden olmuştur. 1980 ve 1995 yılları arasında vergi kredilerinin yaklaşık %15'e indirilmesi ile 1985 yılından sonra 1700 MW'lık kurulum yapılmıştır. 1970'lerden itibaren kurulu güç kapasitesi ile aynı zamanda kanat çapları da büyük gelişme göstermiştir. 1995'lerde ise ilk zamanlar kilowatt ile ölçülüp değerlendirilen rüzgâr enerjisi kapasitesi artık yerini megawatt'a çıkartmıştır.

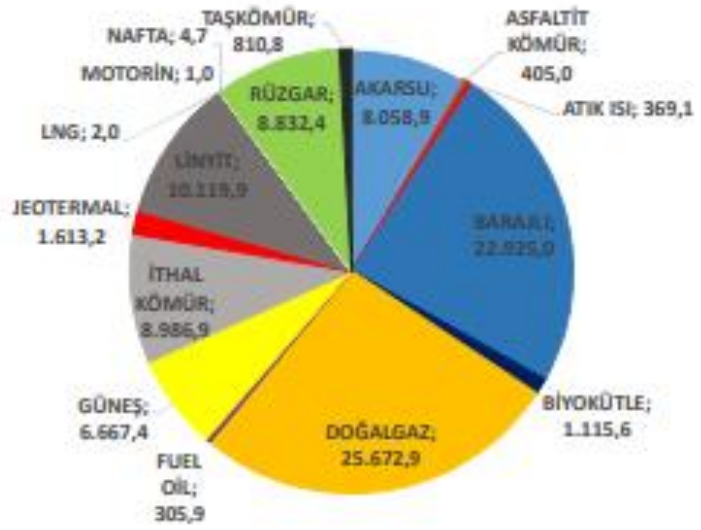
1986 yılında İzmir Çeşme'de bir tesiste 12 m/s rüzgâr hızında 55 kW nominal güce ulaşan rüzgâr türbininden ilk elektrik üretimi sağlanmıştır. Bu türbin sayesinde tesisin elektrik ihtiyacının yaklaşık %4'ü karşılanmıştır. Türkiye'de ilk rüzgâr çiftliği ise 500kW nominal güce sahip 3 rüzgâr türbini ile 1998 yılında İzmir Çeşme'de Germiyan köyünde kurulmuştur. Kurulduğu ilk yıl yaklaşık 6 milyon kWh ile rüzgârdan elektrik enerji üretimine başlamıştır. Bir sonraki yıl bu üretimi %250 arttırarak 21 milyon kWh'e yükseltmiştir (Özdamar, 2000; Çun, 2020).

Dünya genelinde 2020 yılı rüzgâr enerjisi kurulumu 2019'a göre %53 artarak 90GW'ı geçmiş, toplam kurulu kapasite ise %14 artışla 743GW'a ulaşmıştır. Karasal rüzgâr pazarındaki kurulumlar 86,9 GW'a ulaşırken, açık deniz üstü rüzgâr pazarı 6,1 GW'a ulaştı ve 2020'yi hem karada hem de açık denizde yeni rüzgâr kurulumları için tarihin en yüksek ve ikinci en yüksek yılı oldu (Global Wind Energy Council, GWEC, 2021).




Şekil 1.7. Rüzgâr enerjisi tesislerinin 2001-2020 yılları arasında tarihsel gelişimi (Global Wind Energy Council, GWEC, 2021)

TEİAŞ'ın 2020 Aralık ayı raporuna göre, Türkiye'de geçen aya göre elektrik üretimi kurulu gücü 1090 MW artarak 95.890,6 MW seviyesine çıkmıştır. Bu kurulu gücün 8.832 MW'lik kısmı ise kaynaklar arasında 5. Sırada gelen rüzgârdan sağlanmıştır (Yük Tevzi Dairesi Başkanlığı - Kurulu Güç Raporu-Aralık 2020).




Şekil 1.8. 2020 yılı birincil kaynaklara göre kurulu güç dağılım grafiği (Yük Tevzi Dairesi Başkanlığı - Kurulu Güç Raporu-Aralık 2020)

2021 yılı Ocak ayı Türkiye Rüzgâr İstatistik Raporu'na göre 2019 yılı toplam kurulu güç 8.080,2 MW iken 2020 yılında bu sayı yaklaşık %15,16 artarak 9.305 MW'a ulaşmıştır. 2020 yılında Türkiye'de üretilen elektriğin yaklaşık %8,44'ü rüzgâr enerjisinden elde edilmiştir. Aylık bazda bakıldığında ise %10,36'lık oran ile Nisan ayı yıl içerisinde elektriğin rüzgâr enerjisinden en yüksek oranla üretildiği ay iken, %4,67'lik oran ile Ekim ayı en düşük oranla üretimin yapıldığı ay olmuştur (Türkiye Rüzgâr Enerjisi İstatistik Raporu - Ocak 2021). Kısacası bağımsız rüzgâr bazlı enerji sistemleri, uzak yerlerdeki şebekeden bağımsız tüketicilere temiz elektrik sağlamak için çekici bir çözümdür ve bu sayede, herhangi bir petrol fiyatı dalgalanmasından tamamen bağımsız olmalarını sağlar.

### 1.1.2. Hidrolik (hidroelektrik) enerji

Eski çağlardan beri insanoğlunun suyun enerjisinden faydalandığı bilinmektedir. Bu enerji eskiden su değirmenlerinde kullanılırken, günümüzde suyun enerjisinden elektrik üretilmektedir. Hidrolik enerji, rüzgârın hareketi ve yoğunlaşması sonucu oluşan hidrolojik döngü sonucunda deniz, göl ve nehirlerdeki suyun güneş enerjisi sayesinde buharlaşması ve su buharının yağmur veya kar olarak toprağa inmesi ile üretilen dolaylı enerjidir. Hidroelektrik santraller, su miktarına, suyun yüksekliğine ve suyun debisine bağlı olarak mekanik bir enerji üretir ve bu enerjiyi kanallarla tribünlere iletir. Tribünleri döndüren suyun ürettiği elektrik enerjisine hidroelektrik enerji denir. Bu nedenle, hidrolik enerjinin kullanımı engebeli araziler ve sulak alanlar için daha yaygındır. Aynı zamanda bu enerji çeşidi suyun mevcut potansiyel enerjisinin hareket sayesinde kinetik enerjiye dönüştürülmesiyle elde edilen enerji olarak da tanımlanabilir (Dalkır ve ark., 2011; Everett ve ark., 2012).

Hidroelektrik, yenilenebilir enerji üretiminin hali hazırda kurulmuş bir teknolojik yoludur. Endüstriyel ve yüzey suyu zengini ülkelerde, büyük ölçekli barajlarda türbinler tarafından hidroelektrik enerji üretiminin tam olarak yararlanılmaktadır (Ohta, 2013).

Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) tarafından yayınlanan istatistiğe göre 2018 yılında Dünya genelinde 4.325 TWh'lık elektrik enerjisi üretimi hidrolik santrallerden sağlanmıştır. Aynı yıl toplam hidrolik kurulu gücü de 1.293 GW olarak açıklanmıştır (Çizelge 1.1.). Kurulu gücü en yüksek olan ilk 10 ülke sırasıyla 352 GW Çin, 105 GW Brezilya, 103 GW ABD, 81 GW Kanada, 51 GW Rusya, 50 GW Japonya, 49 GW Hindistan, 33 GW Norveç, 28 GW Türkiye, 26 GW Fransa olarak belirlenmiştir (Key World Energy Statistics 2020).

2018 yılı itibari ile ülkemizde toplam kurulu gücün %31,9'unu hidroelektrik santralleri oluşturmaktadır. 653 adet kurulu santral ile yaklaşık 28.291 MW değerinde kurulu güce sahiptir. Aynı yıl içerisinde hidroelektrik santrallerinden üretilen elektrik 59,9 kWh'e ulaşmıştır.

Çizelge 1.1. 2018 yılı ilk 10 hidroelektrik üreticisi ülkenin durumu

| | Üretim (TWh) | Dünya genelindeki yüzdesi (%) | Yurtiçi toplam elektrik üretimindeki hidroelektrik yüzdesi (%) |
|---|---|---|---|
| **Çin** | 1.232 | 28,5 | 17,2 |
| **Brezilya** | 389 | 9 | 64,7 |
| **Kanada** | 386 | 8,9 | 59 |
| **ABD** | 317 | 7,3 | 7,1 |
| **Rusya** | 193 | 4,5 | 17,3 |
| **Hindistan** | 151 | 3,5 | 9,6 |
| **Norveç** | 140 | 3,2 | 95 |
| **Japonya** | 88 | 2 | 8,4 |
| **Vietnam** | 84 | 1,9 | 34,9 |
| **Fransa** | 71 | 1,6 | 12,1 |
| **Diğer** | 1.274 | 29,6 | 15,6 |
| **Dünya geneli toplam** | 4.325 | 100 | 16,2 |

### 1.1.3. Jeotermal enerji

Yeryüzünün merkezinde bulunan magma tabakasının yüzeye yaklaşarak etrafındaki yeraltı sularını ısıtması jeotermal enerjinin temelini oluşturmaktadır. Ülkemiz dünya genelinde jeotermal enerji potansiyeli sıralamasında 7. sıradadır.

Jeotermal enerjiyi elektrik üretimi bakımından dünya genelinin %0,23'ünü, ısı enerjisi bakımından ise %4,3'ünü karşılamaktadır (Mmo, 2012; Mavi Kitap, 2011).

Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan bu enerjinin kullanmanın en büyük avantajı, rüzgâr, dalga ya da güneş enerjisi gibi diğer yenilenebilir kaynaklara göre aralıksız, aralıksız olması nedeniyle günün 24 saati enerji sağlayabilmesidir. Bir elektrik santrali inşa etmek pahalıdır, ancak işletme maliyetleri düşüktür ve bu da uygun tesisler için düşük enerji maliyetlerine neden olur. Şimdiye kadar jeotermal potansiyelin sadece küçük bir kısmı geliştirildi ve hem elektrik üretimi hem de doğrudan uygulamalar için jeotermal enerjinin hızlandırılmış kullanımı için yeterli alan var. Kanıtlanmış teknolojisi ve bol kaynakları ile jeotermal enerji, sera gazı emisyonlarının azaltılmasına önemli katkı sağlayabilir (Fridleifsson, 2001).

### 1.1.4. Biyokütle enerjisi

Biyoenerji, biyolojik kaynaklardan elde edilen malzemeler sayesinde oluşan yenilenebilir enerjidir. Bitkiler ve hayvanlar da dahil olmak üzere yaşayan ya da yakın zamanda yaşamış organizmaların oluşturduğu biyolojik yapıdır. Biyokütle, en umut verici yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir, ancak biyokütleden elektrik üretiminin hem teknik hem de ekonomik olarak uygulanabilir olduğunu kanıtlamak için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır. Biyokütle elektrik elde etmek için, buhar üretmek veya endüstrilere ve evlere ısı sağlamak için yakılabilir. Bunlarla birlikte biyokütle, metan gazı, etanol yakıtı ve biyodizel yakıtı gibi diğer kullanılabilir formlara dönüştürülebilir. Biyokütle enerji santralleri dünya çapında 50'den fazla ülkede bulunmaktadır ve giderek artan bir elektrik payı sağlamaktadır. Ayrıca biyokütlenin enerji kaynağı olarak kullanımı son yıllarda daha da geliştirilmiş ve biyokütlenin gazlaştırılmasına özel önem verilmiştir (Banos ve ark., 2011). Biyokütle, mevcut dünya enerji arzının yaklaşık %15'ini kapsadığı için enerji açısından önemlidir. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde biyokütle, ulusal enerji arzının ana bileşenidir. Biyokütle kaynakları yaygın olarak bulunmasına rağmen, düşük dönüşüm verimliliğine sahiptirler. Enerjiyi ileten güneş radyasyonu bitkiler tarafından fotosentez yoluyla kullanılır. Sonuç olarak bitki kalıntıları bile potansiyel enerji

kaynaklarıdır (Şen, 2004). Net biyoenerji kapasitesi, 2019 yılında 6,4GW'lık artışa kıyasla 2020 yılında yaklaşık yarı yarıya düşmüş ve 2,5 GW'lık artış gerçekleşmiştir. Çin'deki kapasitesi artışı 2 GW'ın üzerinde olmuştur. Ancak Japonya ve Kore Cumhuriyeti'nde biyoenerji kullanımının azalması nedeniyle Asya'daki toplam net genişleme bundan daha azdır. Avrupa, 2020'de önemli genişleme gösteren diğer tek bölge olmuştur ve 2019'a benzer bir miktarda 1,2 GW'lık kapasite eklenmiştir (IRENA, 2021).

### 1.1.5. Güneş enerjisi

Güneş radyasyonu, dünyanın yüzeyinde hareket eden tüm çevresel süreçleri yönlendirdiği için en önemli doğal enerji kaynaklarındandır (Foster, ve ark., 2009). Bu kaynağın enerjisi aynı zamanda güneş tarafından üretilen radyan enerji olarak da tanımlanabilir (Charron ve ark, 2006). Ülkemizin konumu nedeniyle güneş enerjisinden faydalanma potansiyelinin yüksek oluşu, nüfus artışı ve sanayinin gelişimi enerji tüketimi artışında doğrudan etkileridir (Čeřovský ve ark., 2008).

Gerçek bir yenilenebilir kaynak olan güneş enerjisi gezegenimize sınırsız ölçüde ulaşabilmektedir. Bu enerji kirletici değildir, aynı zamanda petrol bazlı enerji gibi sera gazları ve nükleer enerji gibi depolanması gereken atıklar da oluşturmaz. Ayrıca bu enerjinin faydalı bir forma dönüşümü sırasında gürültü kirliliği oluşmaz (Pogson ve ark., 2013).

Dünyanın birçok yerinde, doğrudan güneş radyasyonu, en iyi olası enerji kaynaklarından biri olarak kabul edilir. Güneş radyasyonunu enerjiye dönüştürmenin ana yolları aktif ve pasif güneş tasarımıdır. Pasif güneş enerjisi tasarımı, genellikle yapay ışık ve ısıtma ihtiyacını azaltmak için güneş enerjisini yakalayan binaların optimal tasarımına dayanır. Pasif güneş sistemleri ile ilgili olarak, araştırmacıların güneş enerjisi konusundaki birincil ilgi alanı, güneş enerjisi evlerinin tasarımı ve optimizasyonu ile ilgilidir (Charron ve ark, 2006). Aktif güneş enerjisi tasarımı, güneş ışınımını enerjiye dönüştürmek için fotovoltaik paneller ve güneş pilleri kullanarak güneş ışınımını ısıya dönüştüren su ısıtmasına dayanır. Hem aktif hem de pasif güneş

enerjisi sistemleri tasarlamak için çalışılan lokasyon için radyasyon verilerine ihtiyaç vardır. Güneş radyasyonu genellikle düşük uzaysal çözünürlüğe sahip radyometrik istasyon ağları aracılığıyla ölçülür (Banos ve ark., 2011).

Ülkemizde yenilenebilir enerji kaynakları sayesinde üretilen enerji miktarı incelendiğinde temel ihtiyacın toplamının %9,8'i bu yol ile sağlandığı görülmüştür. 7 bölgemiz de güneş enerjisi potansiyeli bakımından incelendiğinde Güneydoğu Anadolu Bölgesi en yüksek potansiyele sahipken, Karadeniz Bölgesi en düşük potansiyele sahip bölgelerimizden olduğu tespit edilmiştir. Sırası ile ikinci en yüksek potansiyele sahip bölgemiz ise Akdeniz Bölgesi olmuştur (Yılmaz, 2012). Güneş Enerjisi'nin en önemli tahmin edicilerinden olan güneşlenme süresi ülkemizde yıllık ortalama 2640 saat yani günlük yaklaşık 7,2 saattir. İkinci en büyük tahmin edicilerden olan radyasyon değeri ise yıllık ortalama 1311 $kWh/m^2$ yani günlük yaklaşık 3,6 $kWh/m^2$ dir (Toklu, 2010).

2020 yılı tüm büyük dünya bölgelerinde yeni kapasitenin artmasıyla birlikte, toplam küresel güneş kapasitesi artık rüzgâr kapasitesiyle yaklaşık aynı seviyeye ulaşmıştır. Asya Bölgesi'ndeki kapasite artışı 2019'dan 2020'ye geçişte 55 GW'dan ve 78 GW'a ulaşmıştır. Bu kapasitenin en büyük kısmını ilk sırada yaklaşık 49,4 GW ile Çin alırken, ikinci sırada yaklaşık 11,6 GW ile Vietnam almıştır. Devamında ise Japonya, Hindistan ve Kore Cumhuriyeti gelmektedir (IRENA, 2021).

Güneş enerjisi Avrupa'da ve Çin'de şehirler için ihtiyaç olan enerjiyi üretmeye yardımcı olduğu gibi, ülkemizde de tarım sektörü için ihtiyaç olan enerjiyi üretmek amacıyla kullanılmaktadır. Günümüzün ve geleceğimizin en büyük enerji kaynaklarından olan güneş enerjisi akıllı şehirlerin de altyapısını oluşturacak faktörlerden biridir. Gelişen ve değişen teknoloji ile ulaşıma, elektriğe ve ısınmaya uyarlanacak bir kaynak durumundadır. Bununla birlikte ihtimal dahilindeki afet durumu ve sonrası için acil durumda ihtiyaç duyulan enerjiyi karşılamak için ulaşılamayacak bölgelere enerji iletim sisteminin kurulması da güneş enerjisinin düşünülen farklı alanlarından biri olarak yer almaktadır. Ayrıca ilerleyen zamanlarda güneş enerjisinin diğer yenilenebilir enerji kaynaklarla bütünleştirilebilir, kolay

ulaşılabilir ve enerjiye en çok ihtiyaç duyduğumuz şu dönemlerde düşük maliyetlerle şehirlerin ihtiyaçları karşılanabilir. Bu nedenle güneş enerjisi yatırımları her yerde olduğu gibi ülkemizde de gün geçtikçe artmaktadır (Şen, 2004; Aslan ve ark., 2006).

### 1.1.6. Hidrojen enerjisi

Yeryüzünde en küçük atom olarak var olan ve çok aktif olan bu element 1500'lü yıllarda bulunmuştur. Çok aktif olduğu için doğada saf olarak bulmak oldukça zordur. Bu element doğal bir kaynak olmamasına rağmen sürdürülebilir bir enerji kaynağıdır, aynı zamanda birincil enerji kaynakları sayesinde (fosil yakıtlar, biokütle gibi) elde edilen yapay bir yakıttır. Hidrojen enerjisi doğal gaz, güneş ve rüzgâr enerjisi gibi çeşitli alternatif enerji kaynaklarından elde edilebilir.

Bunlar, hidrojen enerjinin ulaşım ve elektrik alanında kullanımında tercih nedenleri arasında olup kendisini cazip yakıt seçeneği olan yenilenebilir enerji kaynaklarından kılmaktadır. Taşıtlarda, konutlarda ve birçok alanda kullanıma açık bir enerji kaynağıdır (IRENA, 2021).

### 1.1.7. Dalga (gel-git) enerjisi

Okyanus dalgaları, açık su üzerinden geçen rüzgâr akımlarının yarattığı bir yenilenebilir enerji biçimini temsil eder. Dalga enerjisi potansiyeli dünyanın farklı yerlerinde önemli ölçüde değişiklik gösterir ve dalga enerjisinden her yerde etkin bir şekilde yararlanılamaz. Rüzgâr hızının tahmini, rüzgâr enerjisi üretimi için temel bir zorluktur. Aynı şekilde, okyanus enerjisi üretimi için su seviyesinin tahmini esastır (Banos ve ark., 2011).

# 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

İncecik ve ark. (1995), Anadolu'nun batısında 8 farklı bölgedeki istasyondan aldıkları verilere göre Weibull dağılımını kullanarak rüzgâr enerjisi potansiyelini incelemişlerdir. Bu çalışmaya göre ortalama en yüksek değer Şubat ayında 10 m yükseklikten alınan verilerde gözlemlenmiştir. Bozcaada'nın diğer lokasyonlara göre rüzgâr enerjisi potansiyelinin en yüksek olduğunu gösterilmiştir.

Akpınar ve ark. (2004), Elâzığ Ağın bölgesi için 5 yıllık, saatlik alınan rüzgâr verileri analiz edilmişlerdir. Bu veriler ile olasılık yoğunluk dağılımları belirlenmiş ve dağılım parametreleri tanımlanmıştır. Bu veriler ile iki olasılık yoğunluğu fonksiyonu değerlendirilmiştir. Weibull ve Rayleigh modelleri temelinde Elâzığ Ağın bölgesi rüzgâr enerjisi potansiyeli incelenmiştir ve Weibull modelinin Rayleigh modeline göre daha uygun olduğu belirlenmiştir.

Talayoğlu (2010) üç farklı zaman aralığı olarak toplanan verilerle, rüzgâr santralleri kurulumu için ihtiyaç olan fizibilite çalışmalarında kullanılan modellerden birisi olan WAsP modelini kullanarak Denizli Tavas bölgesinin rüzgâr enerjisi potansiyelini belirlemiştir. Yine bu rüzgâr verilerini kullanarak bu bölge için optimal türbin konumlandırması yapmıştır. Aynı zamanda rüzgâr hızı ve enerji potansiyelinin alansal dağılımı belirlenmiş ve maliyet analizini hesaplamalarını yapmıştır.

Banos ve ark. (2011), yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji alanındaki tasarım, planlama ve kontrol problemleri için optimizasyon algoritmalarının kullanımına ilişkin en son araştırma gelişmelerine genel bir bakış sunmuşlardır. Yenilenebilir enerji ve hesaplamalı optimizasyon alanlarında iki yüzün üzerinde makaleyi gözden geçirmiş ve yenilenebilir enerji problemlerini çözmek için optimizasyon yöntemlerini kullanan araştırma makalelerinin sayısının, özellikle rüzgâr ve güneş enerjisi sistemleri için son yıllarda önemli ölçüde arttığını göstermişlerdir.

Karatepe (2011) dünya genelinde enerji talebi karşısında yenilenebilir enerji kaynaklarının önemine değinmiştir. Rüzgâr enerjisinin Dünya ve Türkiye genelindeki

potansiyelini incelemiş ve Yalova Süpürgelik bölgesi için rüzgâr ile elektrik enerjisi üretim tahmininde kullanılan bir teknik olan Markov Zinciri geçiş matrisini kullanmış, ölçüm değeri olmayan noktalar için bile tahminlerde bulunulabileceğini bu çalışma ile ortaya koymuştur.

Kavun (2018) rüzgâr enerjisinin gelişimi ve Türkiye'nin rüzgâr enerjisi potansiyeli ile ilgili kaynak araştırması yapmış ve 2016-2017 yılı rüzgâr hızı verileri ile Weibull dağılımını kullanarak Mersin ili Anamur ilçesi için rüzgâr enerjisi potansiyelini hesaplamıştır.

Arslan (2010) Kütahya Bunelek'te bulunan bir istasyondan 2001 Temmuz ayı ve 2004 Haziran ayları arasında toplanan 36 aylık veri ile birkaç farklı rüzgâr türbin çeşidinden elektrik üretmiştir. Bu hesaplamalar aynı zamanda Dumlupınar Üniversitesi ana kampüsünün elektrik ihtiyacının üretimi için değerlendirmiştir.

Özay ve ark. (2016) Çeşme Alaçatı bölgesi için bu bölgedeki bir istasyondan 10ar dakikalık aralıklarla farklı yüksekliklerden beş buçuk yıl boyunca alınan verileri analiz etmişlerdir. İki parametreli Weibull dağılımını kullanarak bölgenin rüzgâr karakteristiği belirlenmiştir.

Çiçek (2019) Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Gölköy yerleşkesinde 30 m ve 40 m yükseklikteki anemometreler ile 10 dakikalık aralıklarla bir yıl boyunca alınan veriler ile o bölgeye ait rüzgâr enerjisi potansiyelini incelemiştir. Ortalama rüzgâr hızı verileri aylık olarak incelendiğinde Temmuz, Ağustos, Eylül ve Nisan aylarında elektrik üretimi için gereken minimum rüzgâr hızı değerinin 4 m/s'yi aştığı aylar olduğunu tespit etmiştir. Yılın diğer aylarında yani Ekim ayından bir sonraki yılın Haziran ayına kadar olan 9 aylık sürede rüzgâr hızının yaklaşık 4 m/s'nin altında olduğunu belirlemiş ve bu aylarda verimli elektrik üretilmediğinin sonucuna açıkça varmıştır.

Oral (2020) Bitlis ili için rüzgâr enerjisi potansiyeli ölçümü Weibull dağılımı kullanılarak analiz etmiştir. Bitlis Meteorolojisinden alınan 2011 ve 2012 yıllarının 10

metre yükseklikte ölçülmüş verileri kullanılarak yapılan Weibull dağılımı analizi sonuçları ile gözlemlenen değerler karşılaştırmış ve birbirlerine yakın olduğu belirlemiştir.

# 3. MATERYAL ve YÖNTEM

## 3.1. Materyal

Çalışma kapsamında Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden İzmir, Manisa, Çanakkale, Balıkesir, Aydın illeri için alınan 10 yıllık sıcaklık, nem, hava basıncı, hava yoğunluk, rüzgâr hızı verileri kullanılmıştır. Aynı zamanda tasarımı yapılmış olan helezonik yapılı rüzgâr türbini de çalışmanın diğer bir bacağını oluşturmaktadır.

### 3.1.1. Dikey rüzgâr türbini tasarımı

Rüzgârı enerjiye çevirmede en büyük role sahip olan türbinler belirli özelliklere göre sınıflandırılmaktadır. Şekil 3.1' de görüldüğü gibi türbinin çeşidi dönme ekseni, devri, gücü, kanat sayısı, rüzgâr etkisi, dişli özellikleri ve kurulum yerine (denizde ve karada) göre değişmektedir (Elibüyük ve ark., 2014). Rüzgâr türbinleri dönme düzenlerine göre üç farklı kategoride incelenmektedir. Ticari kullanım yerine deneysel kullanımda tercih edilen bu türbin çeşidinin mili düşey yapıya sahip olduğu için yatay eksenli rüzgâr türbinlerinin pervane görünümünden farklıdır. Bu yapısı rüzgâr yönünü dikkate almaksızın istenilen yere çevrilebilmektedir ve kuleye de ihtiyaç yoktur. Bu da maliyet açısından avantaj sağlamaktadır.

Dikey eksenli rüzgâr türbinlerinde ilk harekete geçiş her zaman istenilen verimde olmamaktadır. Genel verimlilikleri de yaklaşık %35'dir (Gipe, 2003). Yatay eksenli rüzgâr türbini ticari olarak en sık kullanılan türbin çeşitlerindendir. Kanatları rüzgâr yönüne dik, dönme ekseni ise rüzgâr yönüne paralel olan türbinler yatay eksenli türbinler grubunda yer alır (Walker ve Jenkins, 1997). Kanat sayısı ve rotorun hızı ters orantılıdır. Rotor hızının artması için kanat sayısının daha az olması gerekmektedir. Bu türbinlerin verimi yaklaşık %45'dir (Nurbay ve Çınar, 2005).




Şekil 3.1. Kurulum yerlerine ve özelliklerine göre rüzgâr türbin çeşitleri (Elibüyük ve ark., 2014)

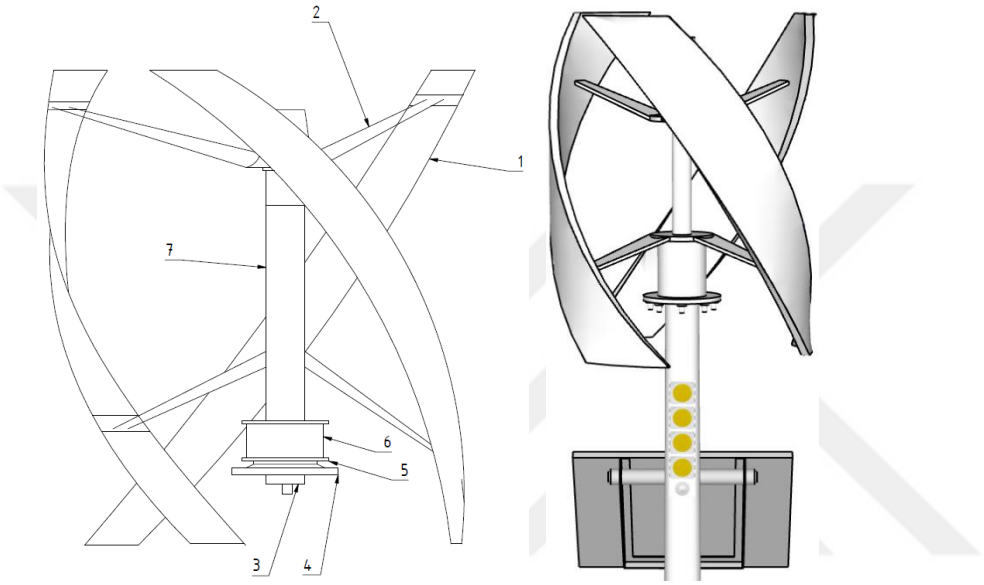
Bu çalışmada helezonik yapılı rüzgâr türbini mevcut tasarımı incelenmiş ve helezonik yapıya sahip manyetik alan destekli rüzgâr türbini genel amacı için tasarımı oluşturulmuştur. Rüzgâr türbini ve güneş paneli ile desteklenmiş çevre aydınlatma sistemlerine göre doğru tasarım oluşturmak için rüzgâr türbini gücü analizinde rüzgâr hızı, hava yoğunluğu, nem, sıcaklık ve hava basıncı türbin boyutu seçiminde kullanılmıştır. Bu çalışmada kısıtlar tasarım ve performans kriterleri olarak iki aşamada değerlendirilmiştir.

### 3.1.1.1. Tasarım kısıtları

Helezonik yapılı yani spiral kanatlı türbinlerin kanat yapısı ile istenilen verim ve performansın elde edilememektedir. Aynı zamanda bu ürünler maliyet açısından da dezavantajlıdır.

Bu çalışma kapsamında, kanat yapısı ile dezavantajlar avantaja çevirebilmek için rüzgar türbini helezonik yapılı ve manyetik alan destekli olacak şekilde tasarlanmıştır. Buna ek olarak rüzgârın esme yönünden etkilenmeden çalışmasına devam ederek enerji üretebilmesi hedeflenmiştir. Yapılan tasarımda, dayanıklı olması açısından çelik konstrüksiyon olması tercih edilmiş, sürtünmeyi azaltıp yüksek verimle çalışması için manyetik alan kullanılmıştır. Ayrıca sessiz çalışması, uzun ömürlü olması, sık bakıma

ihtiyaç duymaması ve maliyeti düşük olması amaçlanmıştır. Helezonik yapıya sahip üç kanatlı rüzgâr türbininde bir direğe montajlanmış gövde, gövdenin alt kısmında jeneratör, gövdenin hem alt hem de üst kısmında 3 adet kanat bağlantısı ve kanat bağlantılarla birleştirilmiş 3 adet kanattan oluşmaktadır. Bunlarda birlikte hibrit çalışabilmesi için güneş paneli, batarya, led lambalar ve hareket sensörü de sistemin parçalarındandır (Şekil 3.2.) (Sarıışık ve ark, 2019).




Şekil 3.2. Helezonik yapılı rüzgâr türbini tasarımı (Sarıışık ve ark, 2019)

Gelişimi sürekli artan rüzgâr enerjisi ve güneş enerjisinin sürdürülebilirliğini de kullanarak bu çalışma kapsamında rüzgâr ve güneş enerjisi destekli sokak aydınlatma sistemi tasarlanmıştır.

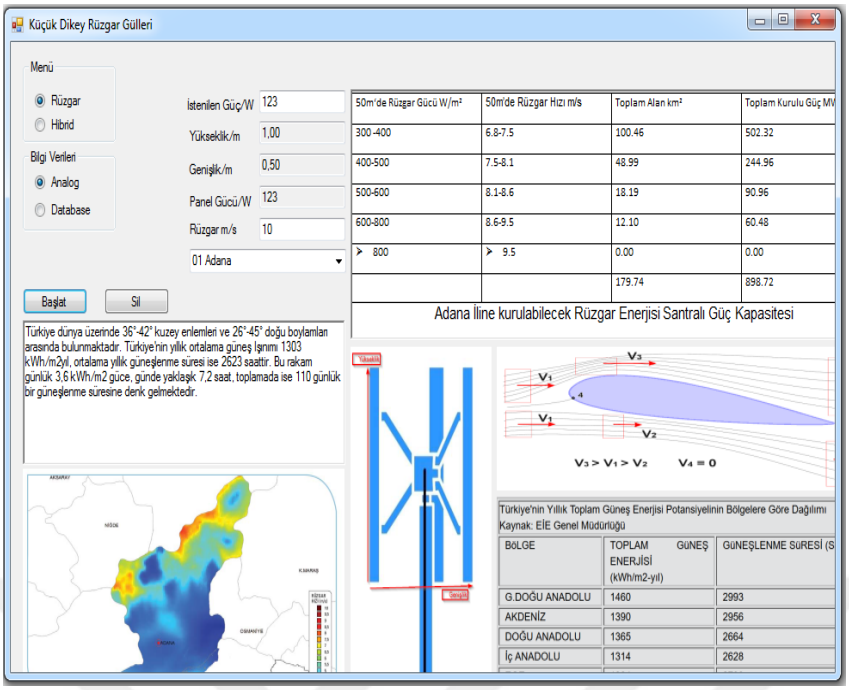
### 3.1.1.2. Performans ölçütleri

Helezonik yapıya sahip olması ile hedeflenen rüzgâr esme yönü ne olursa olsun çalışarak enerji üretebilmesidir. Aynı zamanda dayanıklı, hafif ve sessiz olarak rüzgâr kuvvetini enerjiye en verimli şekilde çeviren yapıya sahip olması amaçlanmıştır. Tasarlanan rüzgâr türbininin 5 farklı yenilikçi yönü sayılabilir. Bunlardan ilki, rüzgâr ve güneş enerjisini aynı anda kullanabilecek ve birisi devre dışı kaldığında birbirlerini destekleyebilecek şekilde entegre sistem kurulmuş, akıllı çevre aydınlatma sistemi olmasıdır. Gelişebilecek bir aksilikte entegre sistemden ikisi de çalışmaz ise tasarım

dahilindeki piller ile depolamış olduğu mevcut enerjiyi ihtiyaç anında devreye girebilecek bir yapı kurulmuştur. Bu nedenle sistemin aydınlatamama seçeneği ortadan kalkmıştır. İkinci yenilikçi yön olarak, ortamı aydınlatması için 3-4 m/s rüzgâr hızı ile çalışabilecek LED aydınlatmalar düşünülmüştür. Üçüncü yenilikçi yön olarak, 3-5 gün rüzgârsız LED lambaların çalışması için 2*2.3V / 30 Amper saat özel düşünülmüş bataryalar sisteme dahil edilmiştir. Diğer bir yenilikçi taraf, bataryanın daha uzun dayanımı için, LED sistemi ile hareket duyarlılığı devreye girdiğinde belli bir sürede 3 LED aynı anda yanmaktadır. Hareket yok ise bekleme durumuna geçiş yaparak 1 LED yanmaktadır. Sonuncu yenilikçi yön olarak da, manyetik alan destekli daha hafif, rüzgâr kuvvetinden sessiz bir şekilde yararlanarak, verimli ve daha uzun ömürlü bir sistem düşüncesi ile rüzgâr türbinin gövdesi mıknatısla havada tutularak sürtünme oluşmadan 40-160 W elektrik enerjisi üretmesi hedeflenmiştir.

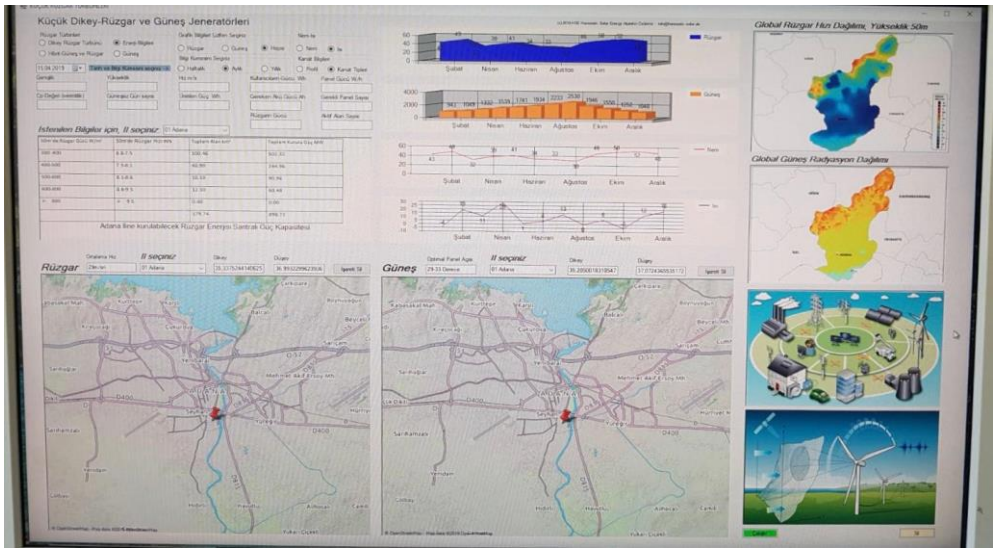
### 3.1.2. Program yazılımı

Çalışma kapsamında, helezonik yapıya sahip manyetik alan ile desteklenmiş üç kanatlı rüzgâr türbini tasarlanmış, hibrit çalışma yapısına sahip rüzgâr ve güneş enerjisini kullanan akıllı sokak aydınlatma sistemi geliştirilmiş ve bunlara ek olarak entegre bir şekilde çalışacak iki farklı program oluşturulmuştur. İlk programda bölge için gerekli rüzgâr türbini ile güneş panelinin kapasitesi ayrıca çevreyi aydınlatmada kullanılacak LED gücü belirlenmektedir. Bunun için de rüzgâr ve güneş enerjisi ile ilgili gerekli bilgilerin (türbinin kesit alanı, ortalama rüzgâr hızı, havanın yoğunluğu, güneşlenme süresi gibi) programa girilmesi beklenmektedir (Şekil 3.3).

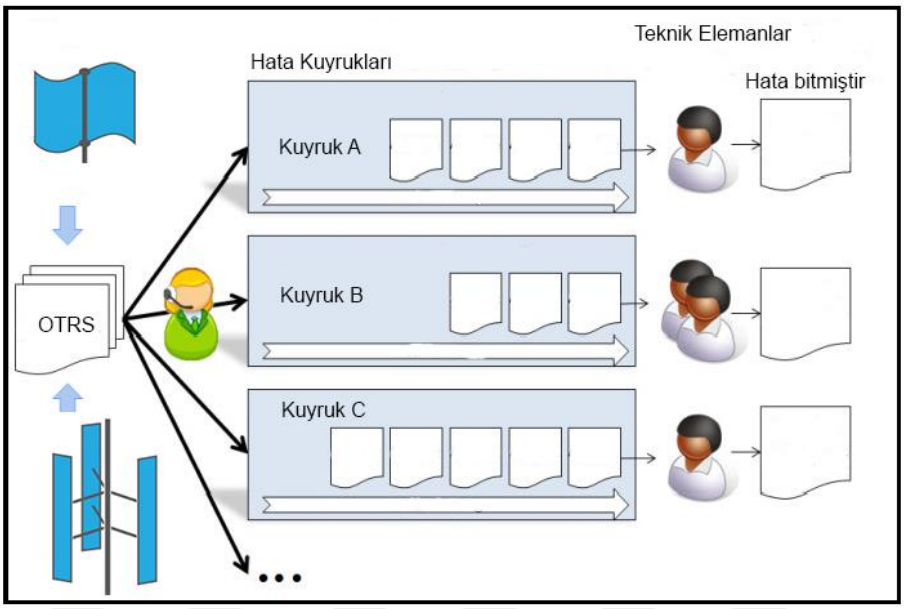



Şekil 3.3. Birinci programın ara yüzü (Rüzgâr Türbini, güneş paneli ve LED gücü)

Diğer programda ise illerin haritalarını kullanarak nerelerde tasarlanmış çevre aydınlatma sisteminin bulunduğunu gösterebilecektir. Bununla birlikte bulut bilişim teknolojisini kullanarak arıza durumu gerçekleşecek olursa bunun tespit edilmesini sağlayacak ve bu sayede müdahaleyi hızlandırmış olacaktır (Şekil 3.4). Bulut bilişim teknolojisinde anlık veri akışının sağlanması için açık kaynak uyarı talep sistemi (OTRS) kullanılmıştır (Şekil 3.5).




Şekil 3.4. İkinci programın ara yüzü (harita üzerinden konum vermesi)




Şekil 3.5. Açık kaynak uyarı talep sistemi (OTRS)

## 3.2. Yöntem

### 3.2.1. Rüzgâr'dan enerji üretimi

Gücünü Güneş'ten alan rüzgâr, insanoğlunun en çok ihtiyaç duyduğu enerjilerden olan elektrik enerjisine dönüştürülme potansiyeline sahip ve bu sayede enerji endüstrisinin karbondan arındırılmasında önemli bir rol oynayan hava hareketidir. (Şahin,1994).

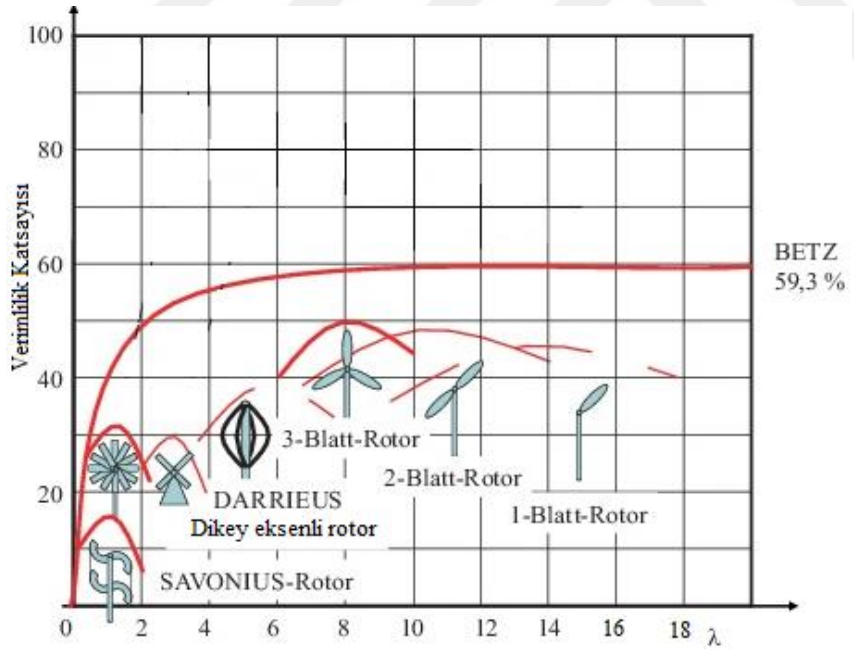
Bu enerjiden yararlanmak için öncelikli olarak rüzgâr güç potansiyelini bulmak gerekmektedir. Rüzgârdan elde edilecek güç; hava yoğunluğu ($\rho$), kanat süpürme alanı ($A$) hızın küpü ile Denklem 3.1'de görüldüğü gibi hesaplanmaktadır (Simmons, 1975).

$$P_A = \frac{1}{2}\rho A V^3 \qquad (3.1)$$

Hava yoğunluğu ise; 1 atmosfer basınçta 15,6 ℃ sıcaklıkta deniz seviyesindeki hava yoğunluğu ($\rho_o$ =1.225 kg/m$^3$) ve deniz seviyesinden yüksekliği ($H_m$) değişkenleri kullanılarak Denklem 3.2'deki gibi hesaplanır (Patel, 1999).

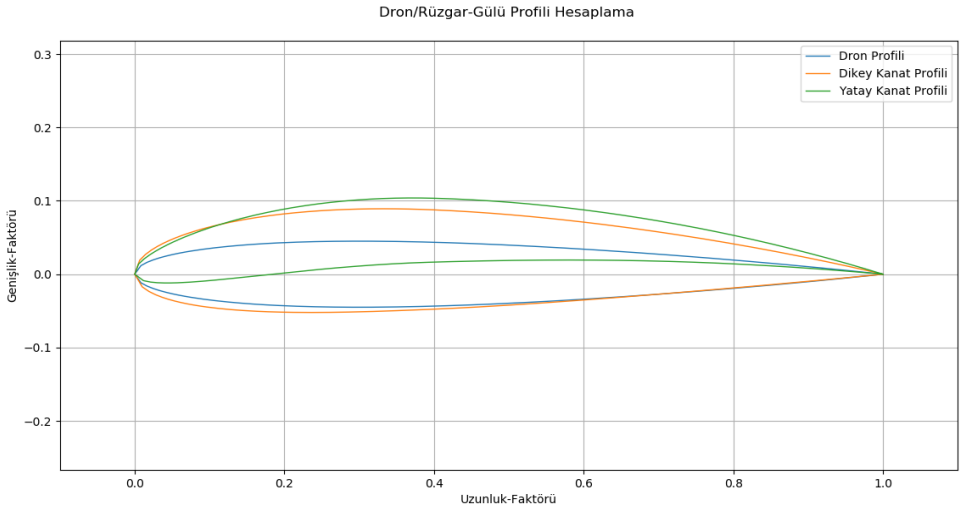
$$\rho = \rho_0 - 1.194 \times 10^{-4} H_m \quad (3.2)$$

Rüzgâr türbinleri belli bir rüzgâr hızındayken elektrik üretimine başlayabilir ve giriş (cut-in: 2-4 m/s) ve çıkış (cut-out: 25-35 m/s) hızları arasında üretim yapabilmektedir. Rüzgâr türbinleri için güç üretimini hesaplarken Betz limiti dikkate alınmaktadır. Günümüz teknolojisi ile havanın kinetik enerjisinin tamamını elektrik enerjisine dönüştürmek mümkün değildir. Bunun için hesaplamalarda havanın kinetik enerjisinden en yüksek derecede elektrik enerjisi üretilebilmesi için Betz limiti yaklaşık % 59 olarak alınmaktadır. Rüzgâr türbinlerinin gelişimi ve verimliliğinin Betz limiti ile gösterimi Şekil 3.6'daki gibidir.




Şekil 3.6. Rüzgâr türbinlerinin evrimi ve verimliliği (Konyalı, 2019; Şenel, 2012)

Bu çalışma ile rüzgâr türbini için kanat profili programı ile türbini kanat tasarımı yapılmıştır (Şekil 3.7). Bu program sayesinde kanat yapısı tasarlanmıştır ve bunun için uzunluk ve genişlik değişkenleri baz alınmıştır.




Şekil 3.7. Helezonik yapılı rüzgâr türbini kanat profili

### 3.2.2. Güneş'ten enerji üretimi

Fotovoltaikler in ürettiği doğru akım güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesindeki ilk aşamadır. Her bölümün gücü 180W-250W arasında ve çıkış gerilimi de bağlantı kurulacağı şebekeye bağlı olarak 12V-1000V arasındadır. Burada üretilen doğru akım aktif akıma çevrilir (Selekoğlu, 2012). Güneş enerjisinden elektrik üretimini doğrudan etkileyen üç etmen vardır bunlar; o alanın güneşlenme süresi, panelin verimliliği ve panelin kurulu gücüdür. Güneş panelleri güne yaklaşık 6 saatlik güneşlenme süresine sahiptir. 7 $m^2$'lik bir alanda yaklaşık 1kW kapasiteye sahip güneş paneli kurulabilmektedir. Günde yaklaşık 6 kWh üretim yapabilen güneş paneli yıllık yaklaşık 2190 kWh'lik üretim yapabilir diyebiliriz. Bu hesabı yaparken sistemin verimliliği de hesaba katılmaktadır. Güneş panelinden elektrik enerjisi üretimi (Denklem 3.3)'de gösterilmiştir (Özsoy ve Somer, 2013).

$$E_{güneş} = Güneşlenme\ Süresi \times Toplam\ Kurulu\ Güç \times Verim \times Gün\ Sayısı \qquad (3.3)$$

### 3.2.3. Rüzgâr enerji sistemleri için hava yoğunluğunun hesaplanması

#### 3.2.3.1. Uluslararası ölçüm standartları yöntemi

Rüzgâr türbini kurulumu yaparken dikkate alınması gereken en büyük değişkenlerden birisi bölgenin rüzgâr kapasitesiyken, aynı zamanda bölgenin hava yoğunluğu da en önemli değişkenlerden diğeridir. Aynı özelliklere sahip iki türbin için değerlendirme yapılacak olursa ($A$: kanat süpürme alanı ve $C_p$: türbinin güç katsayısı değerlerinin aynı olduğunu varsayarsak) bir türbininin farklı yerlerde farklı miktarda enerji üretilebilmesi, hava yoğunluğu ($\rho$) ve rüzgâr hızı ($U$) bağımsız değişkenlerine bağlı diyebiliriz. Bir türbininin üreteceği güç Denklem 3.4'de gösterilmiştir.

$$P = \frac{1}{2}\rho C_p A U^3 \tag{3.4}$$

Rüzgâr hızı ölçümü ile ilgili birçok istatistiksel hesaplamalar ve tahmin yöntemleri geliştirilmişken, hava yoğunluğu için belli zamanlarda belli miktarda veri toplanması model kurulurken de bu değerlerin ortalamasının alınarak hesaba katılması sıklıkla kullanılan yöntemdir. Rüzgâr türbin üreticileri güç hesabını yaparken 15°C sıcaklıkta, standart hava basıncında ve %0 bağıl nem ile hava yoğunluğunu yaklaşık 1.225 kg/m$^3$ olarak kullanmaktadırlar. Fakat nem, deniz seviyesinden yükseklik gibi hava yoğunluğunu etkileyen farklı etmenler bulunmaktadır. Bu detay dikkate alınmaz ise çok büyük tahmin hatalarına neden olabilir. Hava yoğunluğu iki şekilde hesaplanabilmektedir bunlardan birincisi Uluslararası Ağırlık ve Ölçüm Komitesi'nin (CIPM) geliştirmiş olduğu hesaplama yöntemi ve ikincisi de mühendislik yöntemidir (Bingöl, 2018).

CIPM geliştirmiş olduğu denklemde yoğunluk ($\rho$), sıcaklık ($t$), basınç ($p$) ve bağıl nem ($h$) değişkenleri ile kuru havanın molar kütlesi ($M_a$= 28.96546 x 10$^{-3}$ kg/mol), sıkıştırılabilirlik katsayısı ($Z$), molar gaz sabiti ($R$), su buharı mol kesri ($X_v$), suyun molar kütlesi ($M_v$=18.01525 x 10$^{-3}$ kg/mol) değişkenleri ile kurmuştur (Picard ve ark., 2008) (Denklem 3.5).

$$\rho(t,p,h)=\frac{pM_a}{ZRt}\left[1-X_v(1-\frac{M_v}{M_a})\right] \quad (3.5)$$

Su buharı mol kesri ($X_v$) aşağıdaki denklem ile hesaplanır (Denklem 3.6).

$$X_v=\frac{p_{sv}}{f} \quad (3.6)$$

Doymuş buhar basıncı ($p_{sv}$), artış katsayısı ($f$) ve sıkıştırılabilirlik katsayısı ($Z$) hesaplamaları Denklem 3.7, Denklem 3.8 ve Denklem 3.9'daki formüllerle yapılmaktadır.

$$p_{sv}=1Pa\times e^{(C_1T^2+C_2T+C_3+\frac{D}{T})} \quad (3.7)$$

$$f=a+\beta p+yt^2 \quad (3.8)$$

$$Z=1-\frac{p}{T}\left[a_0+a_1t+a_2t^2+(b_0+b_1t)x_v+(c_0+c_1t)x_v^2\right]+\frac{p^2}{T^2}(d+ex_v^2) \quad (3.9)$$

### 3.2.3.2. Mühendislik yöntemi

Uluslararası ölçüm standartları yönteminden farklı olarak burada bilinmeyenler ikiye düşmektedir. Rüzgâr gücü hesaplamalarında eğer bağıl nem ve basınç yok ise hava yoğunluğu deniz seviyesinden yükseklik (Z) ve sıcaklık (°C) değerlerini kullanılarak hesaplamayı mümkün kılar (Technical University of Denmark, 2014). Sıcaklık ve deniz seviyesinden yükseklik değişkenlerini kullanarak hesaplanan hava yoğunluğu Denklem 3.10'daki formül ile hesaplanmaktadır (Bingöl, 2018).

$$p(z)=p_o\left[\left(1-\frac{L_z}{t_o}\right)\right]^{\frac{gM_a}{RL}} \quad (3.10)$$

İkinci bir yöntem olarak mühendislik yöntemi de bu formülasyon ile kullanılmaktadır.

### 3.2.4. İstatistiksel analizler

#### 3.2.4.1. K-Ortalamalar kümeleme yöntemi

MacQueen tarafından 1967 yılında tasarlanan bu yöntem Lloyd algoritması olarak da bilinmektedir. Bu algoritma n adet veri, k adet kümeye, küme merkezleri belirlendikten sonra kendisine en yakın kümeye atanacak şekilde tasarlanarak işleme başlar.

Bu çalışma kapsamında öncelikli olarak 81 il için rüzgâr toplam kurulu güç – rüzgâr toplam alan ve güneşlenme süresi – radyasyon değerleri en basit ve popüler denetimsiz makine öğrenimi algoritmalarından biri olan bu yöntem ile analiz edilmiş ve güneş potansiyel indeksi ile rüzgâr potansiyel indeksleri belirlenmiştir. Hiyerarşik olmayan kümeleme yöntemlerinden sayılan bu yöntem uygulanırken şu 4 basamak izlenmiştir (Hubert, 1974);

1- Veri kümesinde merkez sayısını ifade eden bir başlangıç kümesine sayısı belirlenir (k adet) ya da veri kümesindeki merkez noktalar tüm nesnelerin ortalaması olarak kabul edilir,
2- k adet merkez nokta tanımlanır ve ardından merkezleri mümkün olduğunca küçük tutarak her veri noktasını en yakın kümeye tahsis edilir,
3- Küme odağı her atamanın ardından yeniden hesaplanır,
4- Tamamı kümelere atanana kadar 2. ve 3. basamaklar yinelenir.

Bu çalışma kapsamında Türkiye'deki bütün illere ait güneş ve rüzgâr enerjisi için gerekli değerler kullanılarak K ortalamalar kümeleme yöntemi kullanılarak güneş enerjisi ve rüzgâr enerjisi için 5 küme değeri belirlenmiş. Bununla birlikte yine K ortalamalar kümeleme yöntemi kullanılarak güneş potansiyel indeksleri ve rüzgâr potansiyel indeksleri oluşturulmuştur. Bu sayede belirlenen indeksler ile oluşturulan yeni haritalardan rüzgâr ve güneş değerleri bakımından en yüksek 5 il seçilmiştir.

### 3.2.4.2. Anova, Post Hoc ve regresyon analizi

Varyans analizi olarak bilinen aynı zamanda da "Analysis of variance" kısaltması ile ANOVA analizi olarak günlük hayatta kullandığımız bir istatistiksel analiz yöntemidir. İki ya da daha fazla bağımsız grubun ortalamalarının arasında anlamlı farklılık olup olmadığına bakan parametrik bir yapısı vardır (Makwana, 2016).

Bu analiz yöntemi ile gruplar arasında anlamlı fark olup olmadığının yorumu yapılabilir fakat hangi grupların birbirleri arasında anlamlı farklılık olup olmadığının çıkarımı yapılamaz. Bu bilgiye ulaşmak için ise Post Hoc testi uygulanır. Post Hoc testi ile ANOVA analizi sonucu aralarında anlamlı farklılık olduğu belirlenen bağımsız grupların, hangilerinin arasında farklılığın olduğunu detaylı olarak görebiliriz.

Regresyon analizi ise neden sonuç ilişkisini daha net yapmamızı sağlar. Bu analiz ile amaç veri grubunda bulunan bağımsız değişken ile bağımlı değişkeni tahmin etmektir. Regresyon formülü ise bağımlı değişken ($Y_i$), bağımsız değişken ($X_i$), eğim ($a_0$,$a_1$) ve denklem sabiti ($b_i$) değişkenleri ile Denklem 3.11'deki gibi kurulmuştur.

$$Y_i = (a_0 + a_1 X_i) + b_i \tag{3.11}$$

K ortalamalar kümeleme yöntemi ile belirlenen 5 il için Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan 10 yıllık sıcaklık, nem, hava basıncı (Pd), hava basıncı (Pv), hava yoğunluk, rüzgâr hızı değişkenleri illere göre ve yıllara göre ayrı ayrı ANOVA Testi ile analizler yapılmıştır. Varyans analizi neticesinde karşılaştırılmış olan gruplar arasında istatistiki olarak anlamlı bir farklılık tespit edildiğinde, bu farklılığa neden olan grubu bulmak adına çoklu karşılaştırma testlerinden (Post-Hoc) olan Tukey testi uygulanmıştır. Sonrasında regresyon analizi ile bağımsız değişkenler kullanılarak bağımlı değişkenler hakkında tahminde bulunulmuştur. Bu analizler SPSS 26.0 paket programı ile yapılmıştır.

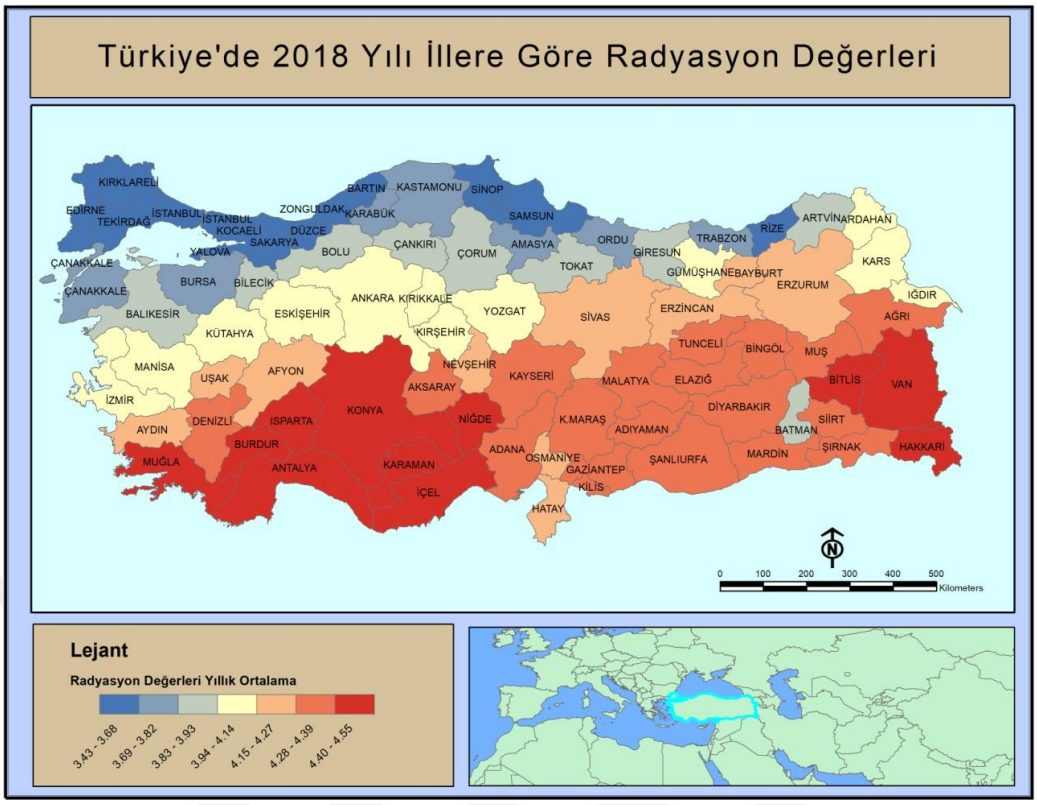
# 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

## 4.1. Türkiye'de Güneş ve Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli İndeksinin İstatistiksel Analizle Belirlenmesi

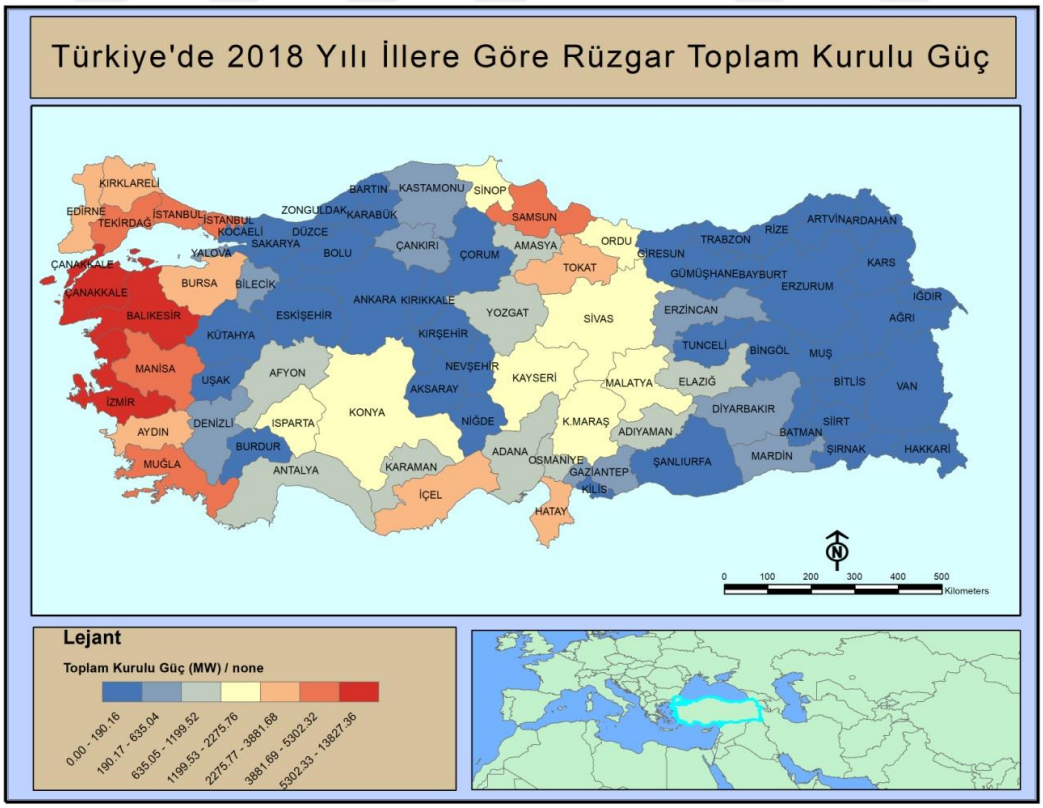
Ülkemizin 81 ili için coğrafi veriler ve bunların istatistiksel analizlerini kullanarak ArcGIS desktop 10.5 programı ile 7 lejantlı RES ve GES haritaları oluşturulmuştur. Bunun için de RES kurulu güç, RES toplam alan ve GES güneşlenme süresi, GES radyasyon değişkenlerinden yararlanılmıştır.



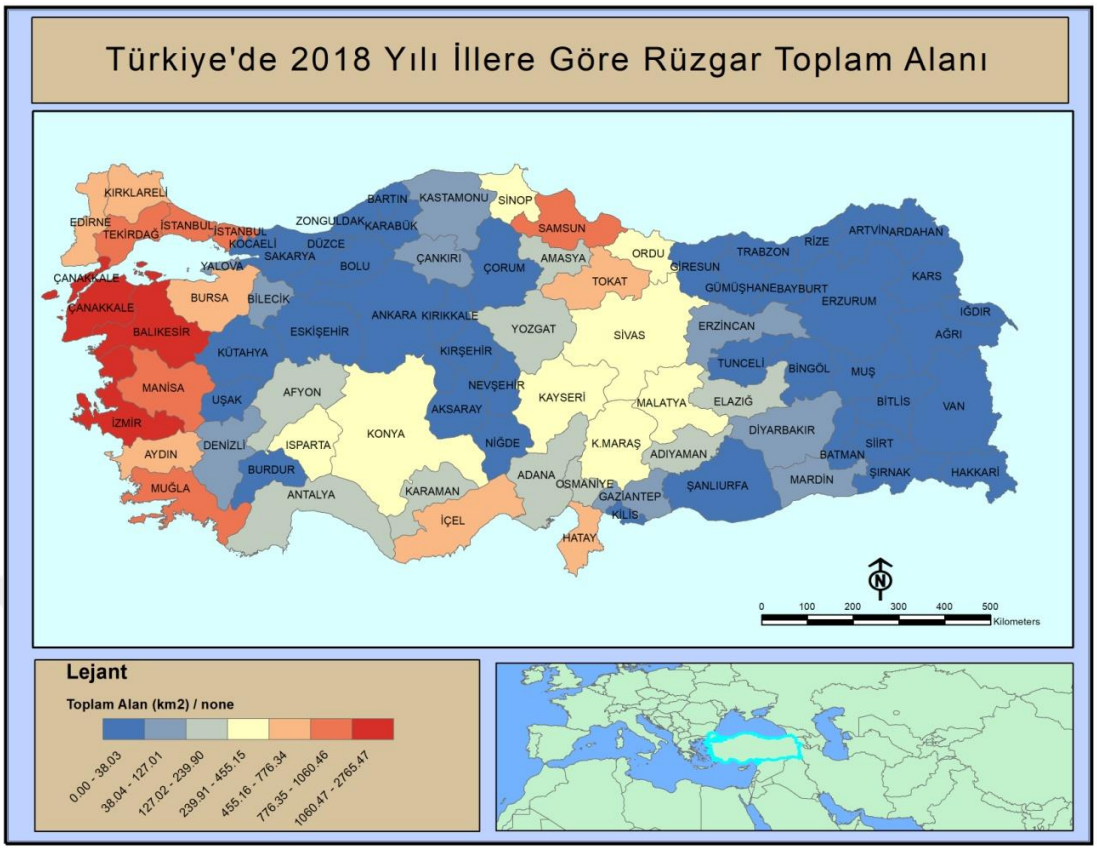

Şekil 4.1. Türkiye'de 2018 yılı illerine göre güneşlenme süresi




Şekil 4.2. Türkiye'de 2018 yılı illerine göre radyasyon değerleri




Şekil 4.3. Türkiye'de 2018 yılı illerine göre rüzgâr toplam kurulu güç




Şekil 4.4. Türkiye'de 2018 yılı illerine göre rüzgâr toplam alanı

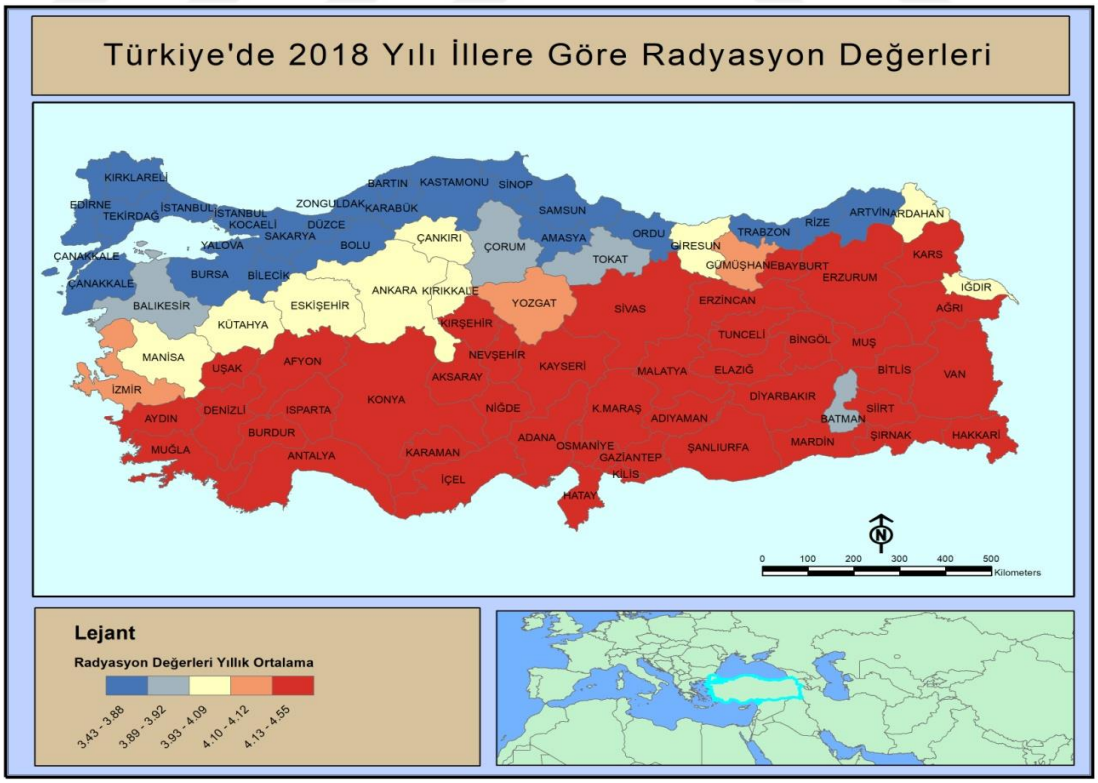
K ortalamalar kümeleme yöntemi ile 81 il için güneş potansiyelini sınıflandırmış, 5 küme ve bu kümelerin sınırlarını oluşturan güneş potansiyel indeksi aralıkları belirlenmiştir. Güneş enerjisi güneşleme süresi (sa) ve radyasyon değerlerine (kWh/m$^2$.gün) göre bu kümeler ve değer aralıkları Çizelge 4.1'de verilmiştir. Bu aralıklar göz önünde bulundurularak oluşturulan yeni haritalar Şekil 4.5. ve Şekil 4.6.'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. K ortalamalar kümeleme yöntemi ile belirlenen güneş potansiyel indeksi

| Bağımlı Değişken | Kod | Güneş Potansiyel İndeksi Aralığı | Güneş Potansiyeli |
|---|---|---|---|
| Güneşleme Süresi (h) | $G_1$ | < 7.26 | Çok Düşük |
| | $G_2$ | 7.27-7.28 | Düşük |
| | $G_3$ | 7.29-7.51 | Orta |
| | $G_4$ | 7.52-7.74 | Yüksek |
| | $G_5$ | > 7.75 | Çok Yüksek |
| Radyasyon Değerleri | $R_1$ | < 3.88 | Çok Düşük |
| | $R_2$ | 3.89-3.92 | Düşük |
| | $R_3$ | 3.93-4.09 | Orta |
| | $R_4$ | 4.10-4.12 | Yüksek |
| | $R_5$ | >4.13 | Çok Yüksek |




Şekil 4.5. Türkiye'de 2018 yılı illerine göre güneşlenme süresi yeni haritalandırma

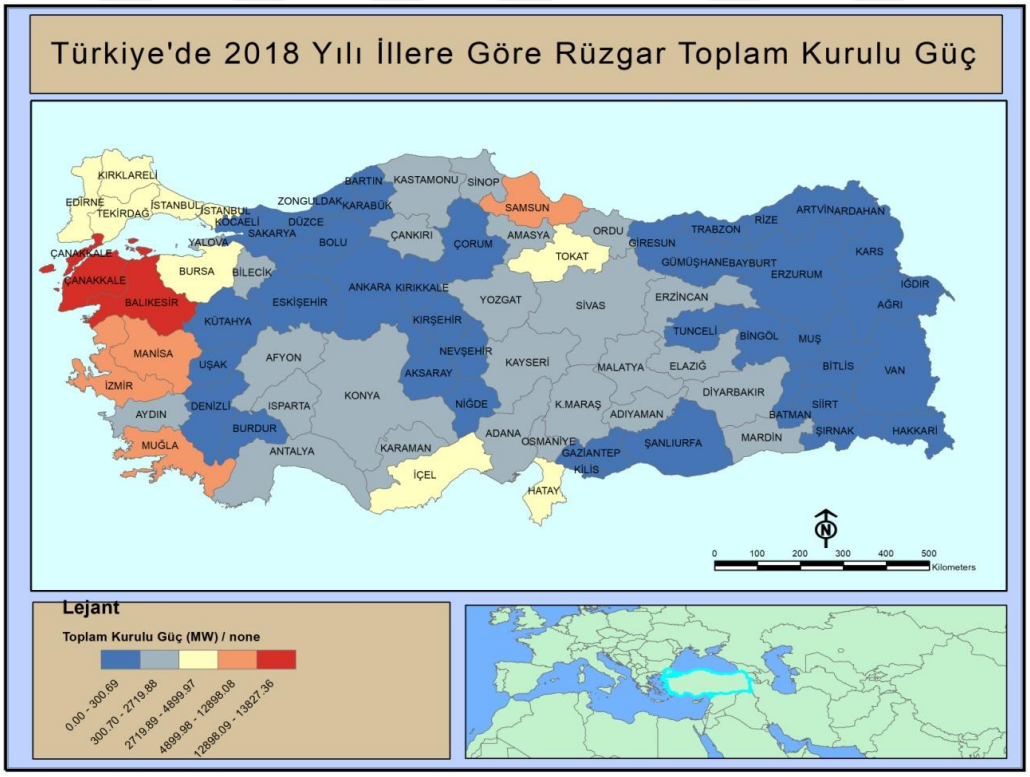



Şekil 4.6. Türkiye'de 2018 yılı illerine göre radyasyon değerleri yeni haritalandırma

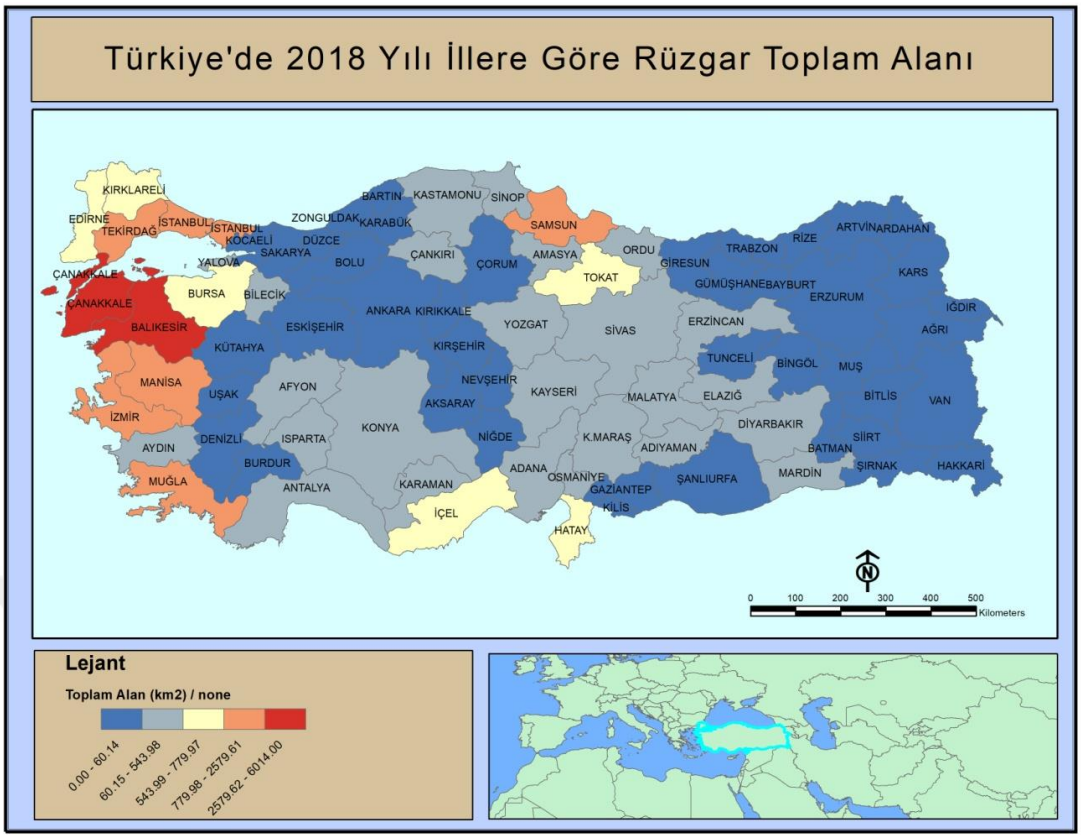
K ortalamalar kümeleme yöntemi ile bütün iller için rüzgâr potansiyeli sınıflandırılmış, 5 küme ve bu kümelerin sınırlarını oluşturan rüzgâr potansiyel indeksi aralıkları belirlenmiştir. Rüzgâr enerjisi toplam alan ($km^2$) ve kurulu güçe (MW) göre bu kümeler ve değer aralıkları Çizelge 4.2'de verilmiştir. Bu aralıklar göz önünde bulundurularak oluşturulan yeni haritalar Şekil 4.7. ve Şekil 4.8.'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. K ortalamalar kümeleme yöntemi ile belirlenen rüzgâr potansiyel indeksi

| Bağımlı Değişken | Kod | Rüzgâr Potansiyel İndeksi Aralığı | Rüzgâr Potansiyeli |
|---|---|---|---|
| Kurulu Güç (MW) | $K_1$ | < 300.69 | Çok Düşük |
| | $K_2$ | 300.70 - 2 719.88 | Düşük |
| | $K_3$ | 2 719.89 - 4 899.97 | Orta |
| | $K_4$ | 4 899.98 - 12 898.08 | Yüksek |
| | $K_5$ | > 12 898.09 | Çok Yüksek |
| Toplam Alan ($m^2$) | $T_1$ | < 60.14 | Çok Düşük |
| | $T_2$ | 60.15 - 543.98 | Düşük |
| | $T_3$ | 543.99 - 979.97 | Orta |
| | $T_4$ | 979.98 - 2 579.61 | Yüksek |
| | $T_5$ | > 2 579.62 | Çok Yüksek |




Şekil 4.7. Türkiye'de 2018 yılı illerine göre rüzgâr toplam kurulu güç yeni haritalandırma




Şekil 4.8. Türkiye'de 2018 yılı illerine göre rüzgâr toplam alanı yeni haritalandırma

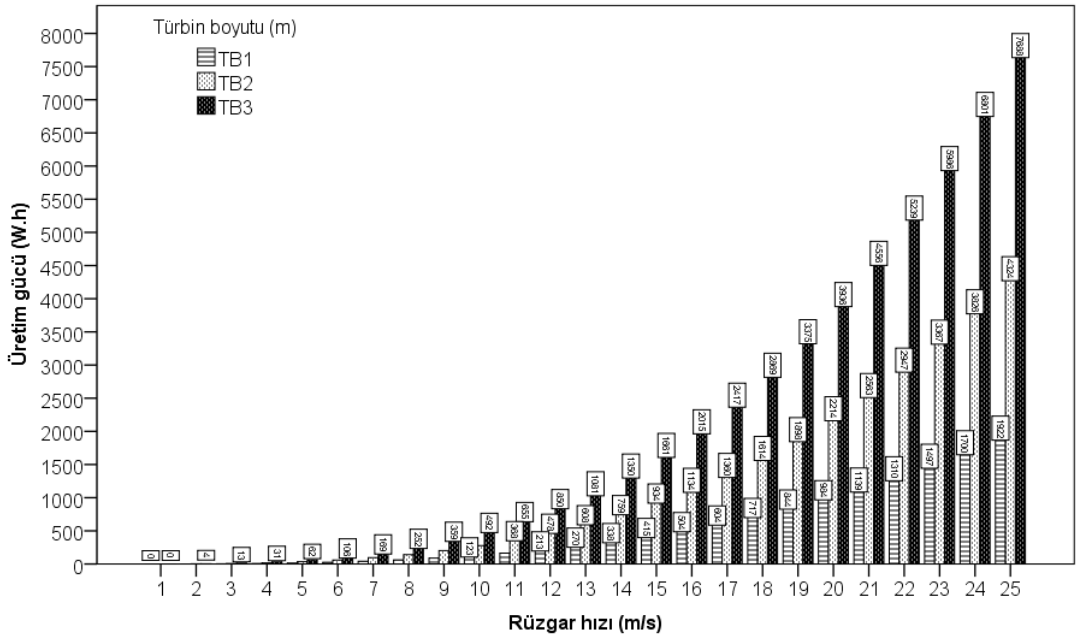
Belirlenen haritalarda toplam alan ve kurulu güçte en yüksek olan illerden İzmir, Aydın, Manisa, Balıkesir ve Çanakkale ileri için istatistiksel analizler yapılmıştır.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan İzmir, Aydın, Balıkesir, Çanakkale ve Manisa İllerine ait güneş ve rüzgâr ile ilgili (güneşlenme süresi, radyasyon değerleri, rüzgâr hızı, nem, sıcaklık ve basınç) günlük ve 10 yıllık veriler doğrultusunda analizler yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında 1-25 m/s rüzgâr hızında TB1, TB2, TB3 olarak belirlenen türbinlerin (boyutları farklı) arasındaki ilişki ANOVA testi ile istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Türbin boyutu bakımından farklı rüzgâr hızlarında istatistiki açıdan anlamlı bir fark olduğu tespit edilmiştir ($p<0.001$). Bu sonuca dayanarak türbin boyutlarının türbinin tasarımında etkili var olduğu görülmüştür (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3. Rüzgâr türbini boyutlarının istatistiksel (ANOVA) analizi

| N | Türbin Boyutu (m) | | Ortalama Farkı (I-J) | Standart Hata | Anlamlılık Düzeyi | 95% Güven Aralığı | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Bağımlı Değişken | Bağımsız Değişken (I) | Bağımsız Değişken (J) | | | | Alt Limit | Üst Limit |
| TB | TB1 | TB2 | -649,5932* | 251,56 | <0,001 | -1258,00 | -41,19 |
| | | TB3 | -1559,0284* | 251,56 | <0,001 | -2167,43 | -950,62 |
| | TB2 | TB1 | 649,5932* | 251,56 | <0,001 | 41,19 | 1258,00 |
| | | TB3 | -909,4352* | 251,56 | <0,001 | -1517,84 | -301,03 |
| | TB3 | TB1 | 1559,0284* | 251,56 | <0,001 | 950,62 | 2167,43 |
| | | TB2 | 909,4352* | 251,56 | <0,001 | 301,03 | 1517,84 |

Şekil 4.9'da türbin boyutu ve rüzgâr hızlarına göre istatistiki olarak analiz edilmiş ve üretim gücü gösterilmiştir.




Şekil 4.9. Rüzgâr hızı-güç dağılım eğrisi

Belirtilen analiz sonucuna göre TB1-TB2-TB3 türbinlerinde üretim gücü ve rüzgâr hızının doğru orantılı artığı gösterilmiştir. Grafikte görüldüğü gibi en düşük üretim gücüne sahip türbin 0,123 W ile TB1 (1 m/s'de) ve en yüksek üretim gücüne sahip türbin 7687,5 W ile TB3 (25 m/s'de) türbinidir. Analiz sonucuna göre türbin boyutu artarken üretim gücünün de artığı belirlenmiştir. Tasarlanmış rüzgâr türbininde

10 W ve 40 W'lık değer aralığında 4 adet LED aydınlatma kullanılmıştır. Bu da 40 W ile 160 W arasında enerjiye ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir. Buna göre TB1 boyutunda yaklaşık 7-11 m/s rüzgâr hızında 40-160 W arasında, TB2 boyutunda yaklaşık 6-9 m/s rüzgâr hızında 60-200 W arasında, TB3 boyutunda yaklaşık 5-7 m/s rüzgâr hızında 60-170 W arasında üretim kapasitesine sahip olduğu belirlenmiştir.

## 4.2. İllerin Sıcaklık Değerleri Analizi

Türkiye'de Aydın, Manisa, İzmir, Çanakkale ve Balıkesir illerinin sıcaklık değerleri arasındaki ilişki istatistiksel (ANOVA) analiz edilmiştir. Sıcaklık değerleri bakımından iller ve yıllar arasında istatistiki anlamlı fark vardır ($p<0.001$). Buna göre iller ve yıllar arasında sıcaklık değerleri etkili olduğu görülmüştür (Çizelge 4.4-Çizelge 4.6) (Ek 1).

Çizelge 4.4. İllere göre sıcaklık dağılımının istatistiksel (ANOVA) analizi

| Yer | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Bağımlı Değişken: Sıcaklık | | | | |
| Yer | Ortalama | Std. Hata | %95 Güven Aralığı | |
| | | | Alt Limit | Üst Limit |
| Aydın | 25,56 | 0,146 | 25,27 | 25,85 |
| Manisa | 23,62 | 0,146 | 23,33 | 23,91 |
| İzmir | 23,28 | 0,146 | 22,99 | 23,56 |
| Çanakkale | 20,76 | 0,146 | 20,47 | 21,05 |
| Balıkesir | 21,39 | 0,146 | 21,10 | 21,68 |

Çizelge 4.5. Yıllara göre sıcaklık dağılımının istatistiksel (ANOVA) analizi

| Yıl | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Bağımlı Değişken: Sıcaklık | | | | |
| Yıl | Ortalama | Std. Hata | %95 Güven Aralığı | |
| | | | Alt Limit | Üst Limit |
| 2011 | 21,40 | 0,207 | 20,99 | 21,80 |
| 2012 | 22,71 | 0,207 | 22,30 | 23,12 |
| 2013 | 22,61 | 0,207 | 22,21 | 23,02 |
| 2014 | 22,68 | 0,207 | 22,28 | 23,09 |

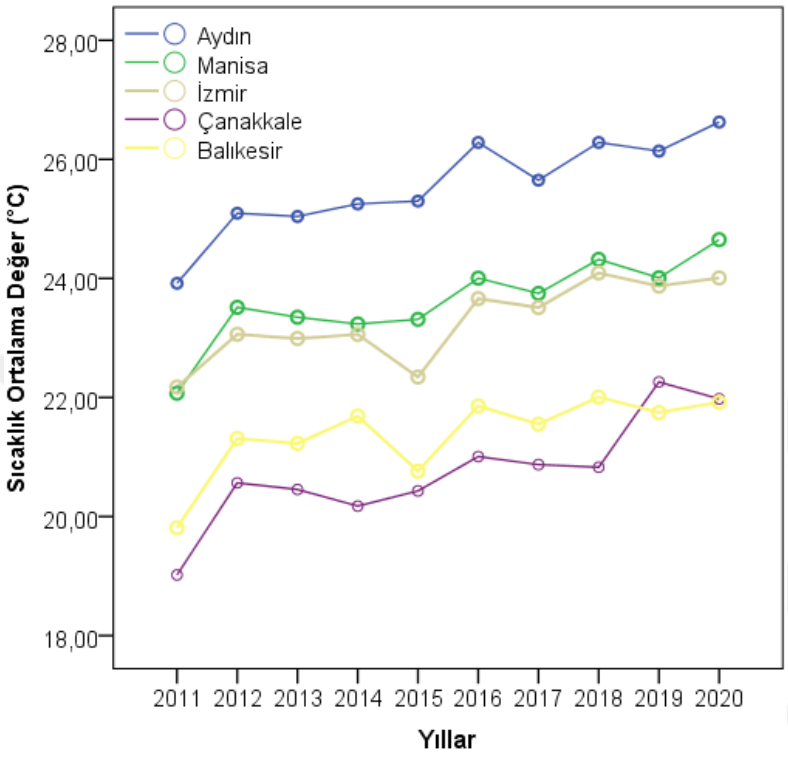
Çizelge 4.5. **(Devam)**

| Yıl | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Bağımlı Değişken: Sıcaklık | | | | |
| Yıl | Ortalama | Std. Hata | %95 Güven Aralığı | |
| | | | Alt Limit | Üst Limit |
| 2015 | 22,43 | 0,207 | 22,02 | 22,84 |
| 2016 | 23,36 | 0,207 | 22,96 | 23,77 |
| 2017 | 23,07 | 0,207 | 22,66 | 23,47 |
| 2018 | 23,51 | 0,207 | 23,10 | 23,91 |
| 2019 | 23,61 | 0,207 | 23,20 | 24,01 |
| 2020 | 23,84 | 0,207 | 23,43 | 24,24 |

Çizelge 4.6. İllerin sıcaklık dağılımının istatistiksel ANOVA analizi ve çoklu karşılaştırma testi olarak TUKEY testi sonucu

| Çoklu Karşılaştırma | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Bağımlı Değişken: Sıcaklık | | | | | | | |
| | (I) Yer | (J) Yer | Ortalama Farkı (I-J) | Std. Hata | p değeri | %95 Güven Aralığı | |
| | | | | | | Alt Limit | Üst Limit |
| Tukey HSD | Aydın | Manisa | 1,9375* | 0,207 | 0,000 | 1,373 | 2,502 |
| | | İzmir | 2,2816* | 0,207 | 0,000 | 1,717 | 2,846 |
| | | Çanakkale | 4,7994* | 0,207 | 0,000 | 4,235 | 5,364 |
| | | Balıkesir | 4,1707* | 0,207 | 0,000 | 3,606 | 4,735 |
| | Manisa | Aydın | -1,9375* | 0,207 | 0,000 | -2,502 | -1,373 |
| | | İzmir | 0,344 | 0,207 | 0,458 | -0,221 | 0,909 |
| | | Çanakkale | 2,8619* | 0,207 | 0,000 | 2,297 | 3,427 |
| | | Balıkesir | 2,2331* | 0,207 | 0,000 | 1,669 | 2,798 |
| | İzmir | Aydın | -2,2816* | 0,207 | 0,000 | -2,846 | -1,717 |
| | | Manisa | -0,344 | 0,207 | 0,458 | -0,909 | 0,221 |
| | | Çanakkale | 2,5178* | 0,207 | 0,000 | 1,953 | 3,083 |
| | | Balıkesir | 1,8891* | 0,207 | 0,000 | 1,324 | 2,454 |
| | Çanakkale | Aydın | -4,7994* | 0,207 | 0,000 | -5,364 | -4,235 |
| | | Manisa | -2,8619* | 0,207 | 0,000 | -3,427 | -2,297 |
| | | İzmir | -2,5178* | 0,207 | 0,000 | -3,083 | -1,953 |
| | | Balıkesir | -,6288* | 0,207 | 0,020 | -1,193 | -0,064 |
| | Balıkesir | Aydın | -4,1707* | 0,207 | 0,000 | -4,735 | -3,606 |
| | | Manisa | -2,2331* | 0,207 | 0,000 | -2,798 | -1,669 |
| | | İzmir | -1,8891* | 0,207 | 0,000 | -2,454 | -1,324 |
| | | Çanakkale | ,6288* | 0,207 | 0,020 | 0,064 | 1,193 |
| Gözlemlenen araçlara göre<br>Hata terimi Ortalama Karesi (Hata)= 79,683. | | | | | | | |
| *. Ortalama fark 0,05 düzeyinde anlamlıdır. | | | | | | | |

Çizelge 4.6'da görülen Post Hoc tablosunda Tukey testi kullanılarak sıcaklık değişkeni için yapılan çoklu karşılaştırma sonuçları verilmiştir. İllerin sıcaklık dağılımları arasında anlamlı farklılıklar olduğu gözlenmektedir.




Şekil 4.10. Yıllara göre illerin sıcaklık değerlerinin grafiği (2011-2020)

Şekil 4.10.'daki grafikte yıllara göre illerin sıcaklık değerleri gösterilmektedir. Yıllara göre Aydın ilinde sıcaklığın en yüksek, Çanakkale ilinde en düşük değerler aldığı görülmektedir. Ayrıca sıcaklık değerlerinin 5 il için de 2011 yılından 2020 yılına kadar 2-3ºC artış gösterdiği görülmektedir.

Çizelge 4.7. İllerin sıcaklık dağılımının istatistiksel (ANOVA) analizi anlamlılık tablosu

| Yer | N | x̄ | SS | İstatistiksel Anlamlı Farklılık |
|---|---|---|---|---|
| Aydın | 372 | 25,56 | 9,11 | Aydın - Bütün iller<br>Manisa - İzmir hariç bütün iller<br>İzmir - Manisa hariç bütün iller<br>Çanakkale - Bütün iller<br>Balıkesir - Bütün iller |
| Manisa | 372 | 23,62 | 9,55 | |
| İzmir | 372 | 23,28 | 8,14 | |
| Çanakkale | 372 | 20,76 | 8,52 | |
| Balıkesir | 372 | 21,39 | 9,36 | |

Çizelge 4.6. ve Çizelge 4.7. incelendiğinde sıcaklık bakımından İzmir ile Manisa arasında anlamlı bir fark yokken diğer bütün iller arasında anlamlı bir fark var diyebiliriz. Sıcaklık değerleri arasında anlamlı farklılığın varlığını belirlemek amacıyla TUKEY testi yapılmıştır. Bu sonuçlara göre Aydın ilinin sıcaklık değerleri ($\bar{x}$=25,56), Manisa ($\bar{x}$=23,62), İzmir ($\bar{x}$=23,28), Çanakkale ($\bar{x}$=20,76) ve Balıkesir ($\bar{x}$=21,39) illerinin sıcaklık değerlerinden daha yüksek olduğu; Manisa ilinin sıcaklık değerleri ($\bar{x}$=23,62), Çanakkale ($\bar{x}$=20,76) ve Balıkesir ($\bar{x}$=21,39) illerinin sıcaklık değerlerinden daha yüksek olduğu; Balıkesir ilinin sıcaklık değerleri ($\bar{x}$=21,39), Çanakkale ($\bar{x}$=20,76) ilinin sıcaklık değerlerinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

## 4.3. İllerin Nem Değerleri Analizi

Türkiye'de Aydın, Manisa, İzmir, Çanakkale ve Balıkesir illerinin nem değerleri arasındaki ilişki istatistiksel (ANOVA) analiz edilmiştir. Nem değerleri bakımından iller ve yıllar için aralarında istatistiki açıdan anlamlı fark olduğu tespit edilmiştir ($p<0.001$). Buna göre iller ve yıllar arasında nem değerleri etkili olduğu görülmüştür (Çizelge 4.8-Çizelge 4.10) (Ek 2).

Çizelge 4.8. İllere göre nem (%) dağılımının istatistiksel (ANOVA) analizi

| Yer | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Bağımlı Değişken: Nem | | | | |
| Yer | Ortalama | Std. Hata | %95 Güven Aralığı | |
| | | | Alt Limit | Üst Limit |
| Aydın | 61,06 | 0,225 | 60,62 | 61,50 |
| Manisa | 59,46 | 0,225 | 59,02 | 59,91 |
| İzmir | 58,20 | 0,225 | 57,76 | 58,64 |
| Çanakkale | 70,07 | 0,225 | 69,63 | 70,52 |
| Balıkesir | 70,16 | 0,225 | 69,72 | 70,60 |

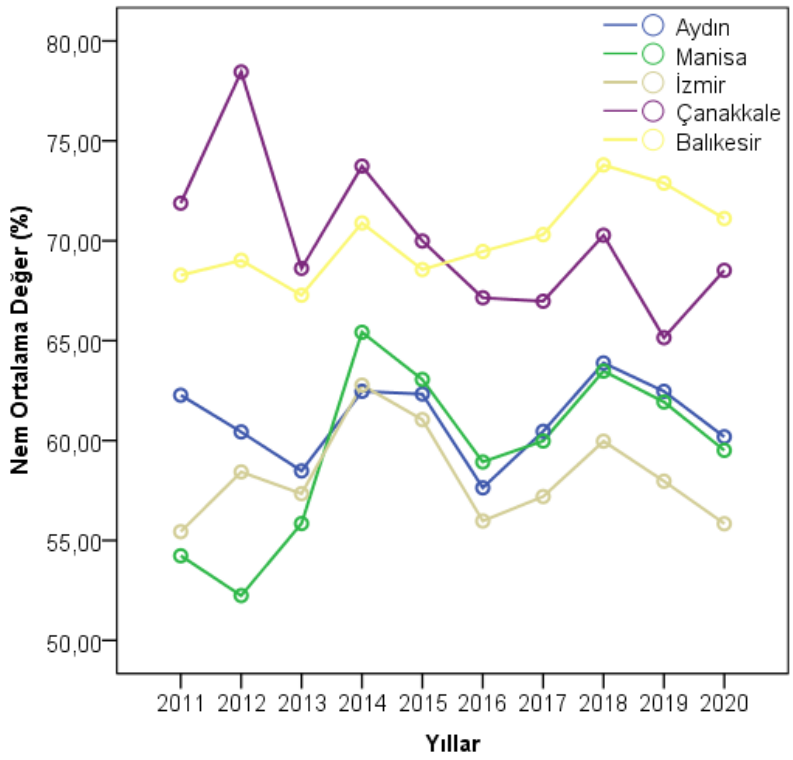
Çizelge 4.9. Yıllara göre nem (%) dağılımının istatistiksel (ANOVA) analizi

| **Yıl** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Bağımlı Değişken: Nem | | | | |
| Yıl | Ortalama | Std. Hata | %95 Güven Aralığı | |
| | | | Alt Limit | Üst Limit |
| 2011 | 62,42 | 0,318 | 61,80 | 63,05 |
| 2012 | 63,72 | 0,318 | 63,09 | 64,34 |
| 2013 | 61,51 | 0,318 | 60,89 | 62,14 |
| 2014 | 67,06 | 0,318 | 66,43 | 67,68 |
| 2015 | 65,00 | 0,318 | 64,37 | 65,62 |
| 2016 | 61,83 | 0,318 | 61,21 | 62,45 |
| 2017 | 62,98 | 0,318 | 62,36 | 63,61 |
| 2018 | 66,28 | 0,318 | 65,66 | 66,90 |
| 2019 | 64,08 | 0,318 | 63,46 | 64,70 |
| 2020 | 63,04 | 0,318 | 62,41 | 63,66 |

Çizelge 4.10. İllerin nem (%) dağılımının istatistiksel ANOVA analizi ve çoklu karşılaştırma testi olarak TUKEY testi sonucu

| **Çoklu Karşılaştırma** | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Bağımlı Değişken: Nem | | | | | | | |
| | (I) Yer | (J) Yer | Ortalama Farkı (I-J) | Std. Hata | p değeri | %95 Güven Aralığı | |
| | | | | | | Alt Limit | Üst Limit |
| Tukey HSD | Aydın | Manisa | 1,5964* | 0,318 | 0,000 | 0,728 | 2,465 |
| | | İzmir | 2,8618* | 0,318 | 0,000 | 1,993 | 3,730 |
| | | Çanakkale | -9,0145* | 0,318 | 0,000 | -9,883 | -8,146 |
| | | Balıkesir | -9,0978* | 0,318 | 0,000 | -9,966 | -8,229 |
| | Manisa | Aydın | -1,5964* | 0,318 | 0,000 | -2,465 | -0,728 |
| | | İzmir | 1,2654* | 0,318 | 0,001 | 0,397 | 2,134 |
| | | Çanakkale | -10,6109* | 0,318 | 0,000 | -11,479 | -9,742 |
| | | Balıkesir | -10,6942* | 0,318 | 0,000 | -11,563 | -9,826 |
| | İzmir | Aydın | -2,8618* | 0,318 | 0,000 | -3,730 | -1,993 |
| | | Manisa | -1,2654* | 0,318 | 0,001 | -2,134 | -0,397 |
| | | Çanakkale | -11,8763* | 0,318 | 0,000 | -12,745 | -11,008 |
| | | Balıkesir | -11,9596* | 0,318 | 0,000 | -12,828 | -11,091 |
| | Çanakkale | Aydın | 9,0145* | 0,318 | 0,000 | 8,146 | 9,883 |
| | | Manisa | 10,6109* | 0,318 | 0,000 | 9,742 | 11,479 |
| | | İzmir | 11,8763* | 0,318 | 0,000 | 11,008 | 12,745 |
| | | Balıkesir | -0,0833 | 0,318 | 0,999 | -0,952 | 0,785 |
| | Balıkesir | Aydın | 9,0978* | 0,318 | 0,000 | 8,229 | 9,966 |
| | | Manisa | 10,6942* | 0,318 | 0,000 | 9,826 | 11,563 |
| | | İzmir | 11,9596* | 0,318 | 0,000 | 11,091 | 12,828 |
| | | Çanakkale | 0,0833 | 0,318 | 0,999 | -0,785 | 0,952 |
| Gözlemlenen araçlara göre<br>Hata terimi Ortalama Karesi (Hata)= 188,513. | | | | | | | |
| *. Ortalama fark 0,05 düzeyinde anlamlıdır. | | | | | | | |

Çizelge 4.10.'da görülen Post Hoc tablosunda Tukey testi kullanılarak nem değişkeni için yapılan çoklu karşılaştırma sonuçları verilmiştir. İllerin nem dağılımları arasında anlamlı farklılıklar olduğu gözlenmektedir.




Şekil 4.11. Yıllara göre illerin nem (%) değerlerinin grafiği (2011-2020)

Şekil 4.11.'deki grafikte yıllara göre illerin nem değerleri gösterilmektedir. Yıllara göre Çanakkale ilinde nemin en yüksek, Manisa ilinde en düşük değerler aldığı görülmektedir. Ayrıca nem değerinin 2011 yılından 2020 yılına kadar % 1-10 arasında değiştiği görülmektedir.

Çizelge 4.11. İllerin nem dağılımının istatistiksel (ANOVA) analizi anlamlılık tablosu

| Yer | N | x̄ | SS | İstatistiksel Anlamlı Farklılık |
|---|---|---|---|---|
| Aydın | 372 | 61,06 | 14,26 | Aydın - Bütün iller<br>Manisa - Bütün iller<br>İzmir - Bütün iller<br>Çanakkale - Balıkesir hariç bütün iller<br>Balıkesir - Çanakkale hariç bütün iller |
| Manisa | 372 | 59,46 | 16,61 | |
| İzmir | 372 | 58,20 | 12,94 | |
| Çanakkale | 372 | 70,07 | 12,14 | |
| Balıkesir | 372 | 70,16 | 12,77 | |

Çizelge 4.10. ve Çizelge 4.11. incelendiğinde nem bakımından Balıkesir ile Çanakkale arasında anlamlı bir fark yokken diğer bütün iller arasında anlamlı bir fark var diyebiliriz. Nem değerleri arasında anlamlı farklılığın varlığını belirlemek amacıyla TUKEY testi yapılmıştır. Bu sonuçlara göre Aydın ilinin nem değerleri ($\bar{x}$=61,06), Manisa ($\bar{x}$=59,46) ve İzmir ($\bar{x}$=58,20) illerinin nem değerlerinden daha yüksek olduğu; Manisa ilinin nem değerleri ($\bar{x}$=59,46), İzmir ($\bar{x}$=58,20) ilinin nem değerlerinden daha yüksek olduğu; Çanakkale ilinin nem değerleri ($\bar{x}$=70,07), Aydın ($\bar{x}$=61,06), Manisa ($\bar{x}$=59,46) ve İzmir ($\bar{x}$=58,20) illerinin nem değerlerinden daha yüksek olduğu; Balıkesir ilinin nem değerleri ($\bar{x}$=71,11), Aydın ($\bar{x}$=61,06), Manisa ($\bar{x}$=59,46) ve İzmir ($\bar{x}$=58,20) illerinin nem değerlerinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

## 4.4. İllerin Hava Basıncı (Pd) Değerleri Analizi

Türkiye'de Aydın, Manisa, İzmir, Çanakkale ve Balıkesir illerinin hava basıncı değerleri arasındaki ilişki istatistiksel (ANOVA) analiz edilmiştir. Hava basıncı değerleri bakımından iller ve yıllar için aralarında istatistiki açıdan anlamlı fark olduğu tespit edilmiştir ($p<0.001$). Buna göre iller ve yıllar arasında hava basıncı değerleri etkili olduğu görülmüştür (Çizelge 4.12-Çizelge 4.14) (Ek 3).

Çizelge 4.12. İllere göre hava basıncı (Pd) dağılımının istatistiksel (ANOVA) analizi

| Yer | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Dependent Variable: Pd | | | | |
| Yer | Mean | Std. Error | 95% Confidence Interval | |
| | | | Lower Bound | Upper Bound |
| Aydın | 100.871,11 | 9,82 | 100.851,86 | 100.890,35 |
| Manisa | 100.799,40 | 9,82 | 100.780,16 | 100.818,64 |
| İzmir | 101.292,65 | 9,82 | 101.273,41 | 101.311,90 |
| Çanakkale | 101.723,83 | 9,82 | 101.704,58 | 101.743,07 |
| Balıkesir | 100.573,41 | 9,82 | 100.554,17 | 100.592,66 |

Çizelge 4.13. Yıllara göre hava basıncı (Pd) dağılımının istatistiksel (ANOVA) analizi

| Yıl | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Bağımlı Değişken: Pd | | | | |
| Yıl | Ortalama | Std. Hata | %95 Güven Aralığı | |
| | | | Alt Limit | Üst Limit |
| 2011 | 101.134,51 | 13,885 | 101.107,30 | 101.161,73 |
| 2012 | 101.001,98 | 13,885 | 100.974,76 | 101.029,19 |
| 2013 | 101.054,77 | 13,885 | 101.027,56 | 101.081,99 |
| 2014 | 101.052,67 | 13,885 | 101.025,46 | 101.079,89 |
| 2015 | 101.170,50 | 13,885 | 101.143,29 | 101.197,72 |
| 2016 | 101.136,48 | 13,885 | 101.109,26 | 101.163,69 |
| 2017 | 101.086,38 | 13,885 | 101.059,16 | 101.113,59 |
| 2018 | 100.926,46 | 13,885 | 100.899,25 | 100.953,68 |
| 2019 | 100.936,22 | 13,885 | 100.909,01 | 100.963,44 |
| 2020 | 101.020,82 | 13,885 | 100.993,60 | 101.048,03 |

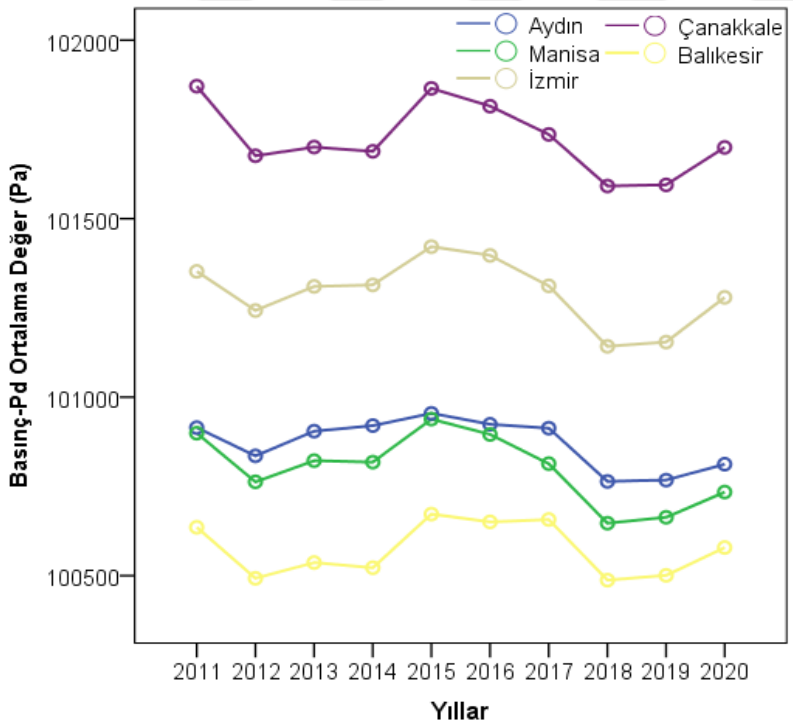
Çizelge 4.14. İllerin hava basıncı (Pd) dağılımının istatistiksel ANOVA analizi ve çoklu karşılaştırma testi olarak TUKEY testi sonucu

| Çoklu Karşılaştırma | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Bağımlı Değişken: Pd | | | | | | | |
| | (I) Yer | (J) Yer | Ortalama Farkı (I-J) | Std. Hata | p değeri | %95 Güven Aralığı | |
| | | | | | | Alt Limit | Üst Limit |
| Tukey HSD | Aydın | Manisa | 71,7043* | 13,885 | 0,000 | 33,827 | 109,582 |
| | | İzmir | -421,5484* | 13,885 | 0,000 | -459,426 | -383,671 |
| | | Çanakkale | -852,7204* | 13,885 | 0,000 | -890,598 | -814,843 |
| | | Balıkesir | 297,6935* | 13,885 | 0,000 | 259,816 | 335,571 |
| | Manisa | Aydın | -71,7043* | 13,885 | 0,000 | -109,582 | -33,827 |
| | | İzmir | -493,2527* | 13,885 | 0,000 | -531,130 | -455,375 |
| | | Çanakkale | -924,4247* | 13,885 | 0,000 | -962,303 | -886,547 |
| | | Balıkesir | 225,9892* | 13,885 | 0,000 | 188,112 | 263,867 |
| | İzmir | Aydın | 421,5484* | 13,885 | 0,000 | 383,671 | 459,426 |
| | | Manisa | 493,2527* | 13,885 | 0,000 | 455,375 | 531,130 |
| | | Çanakkale | -431,1720* | 13,885 | 0,000 | -469,050 | -393,294 |
| | | Balıkesir | 719,2419* | 13,885 | 0,000 | 681,364 | 757,120 |
| | Çanakkale | Aydın | 852,7204* | 13,885 | 0,000 | 814,843 | 890,598 |
| | | Manisa | 924,4247* | 13,885 | 0,000 | 886,547 | 962,303 |
| | | İzmir | 431,1720* | 13,885 | 0,000 | 393,294 | 469,050 |
| | | Balıkesir | 1150,4140* | 13,885 | 0,000 | 1112,536 | 1188,292 |

Çizelge 4.14. **(Devam)**

| Çoklu Karşılaştırma | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Bağımlı Değişken: Pd | | | | | | | |
| | (I) Yer | (J) Yer | Ortalama Farkı (I-J) | Std. Hata | p değeri | %95 Güven Aralığı | |
| | | | | | | Alt Limit | Üst Limit |
| Tukey HSD | Balıkesir | Aydın | -297,6935* | 13,885 | 0,000 | -335,571 | -259,816 |
| | | Manisa | -225,9892* | 13,885 | 0,000 | -263,867 | -188,112 |
| | | İzmir | -719,2419* | 13,885 | 0,000 | -757,120 | -681,364 |
| | | Çanakkale | -1150,4140* | 13,885 | 0,000 | -1188,292 | -1112,536 |
| Gözlemlenen araçlara göre<br>Hata terimi Ortalama Karesi (Hata) = 358573,941. | | | | | | | |
| *. Ortalama fark 0,05 düzeyinde anlamlıdır. | | | | | | | |

Çizelge 4.14'de görülen Post Hoc tablosunda Tukey testi kullanılarak hava basıncı (Pd) değişkeni için yapılan çoklu karşılaştırma sonuçları verilmiştir. İllerin hava basıncı (Pd) dağılımları arasında anlamlı farklılıklar olduğu gözlenmektedir.




Şekil 4.12. Yıllara göre illerin hava basıncı (Pd) değerlerinin grafiği (2011-2020)

Şekil 4.12.'deki grafikte yıllara göre illerin basınç (Pd) değerleri gösterilmektedir. Yıllara göre Çanakkale ilinde hava basıncı (Pd) en yüksek, Balıkesir

ilinde en düşük değerler aldığı görülmektedir. Ayrıca hava basıncı (Pd) 2011-2020 yılları arasında yaklaşık 500-1500 hPa değiştiği görülmektedir.

Çizelge 4.15. İllerin hava basıncı (Pd) dağılımının istatistiksel (ANOVA) analizi anlamlılık tablosu

| Yer | N | $\bar{x}$ | SS | İstatistiksel Anlamlı Farklılık |
|---|---|---|---|---|
| Aydın | 372 | 100.871,10 | 583,13 | Aydın - Bütün iller<br>Manisa - Bütün iller<br>İzmir - Bütün iller<br>Çanakkale - Bütün iller<br>Balıkesir - Bütün iller |
| Manisa | 372 | 100.799,40 | 608,06 | |
| İzmir | 372 | 101.292,65 | 590,06 | |
| Çanakkale | 372 | 101.723,83 | 637,81 | |
| Balıkesir | 372 | 100.573,41 | 598,48 | |

Çizelge 4.14 ve Çizelge 4.15. incelendiğinde Aydın, Manisa, İzmir, Çanakkale ve Balıkesir illerinin hava basıncı (Pd) değerleri arasında anlamlı bir fark vardır. Hava basıncı (Pd) değerleri arasında anlamlı farklılığın varlığını belirlemek amacıyla bakılan TUKEY testi sonuçlarına göre Aydın ilinin hava basıncı (Pd) değerleri ($\bar{x}$=100 871,10), Manisa ($\bar{x}$=100 799,40) ve Balıkesir ($\bar{x}$=100 573,41) illerinin hava basıncı (Pd) değerlerinden daha yüksek olduğu; Manisa ilinin hava basıncı (Pd) değerlerinin ($\bar{x}$=100 799,40), Balıkesir ($\bar{x}$=100 573,41) ilinin hava basıncı (Pd) değerlerinden daha yüksek olduğu; İzmir ilinin hava basıncı (Pd) değerlerinin ($\bar{x}$=101 292,65), Aydın ($\bar{x}$=100 871,10), Manisa ($\bar{x}$=100 799,40) ve Balıkesir ($\bar{x}$=100 573,41) illerinin hava basıncı (Pd) değerlerinden, daha yüksek olduğu, Çanakkale ilinin hava basıncı (Pd) değerlerinin ($\bar{x}$=101 723,83), Aydın ($\bar{x}$=100 871,10), Manisa ($\bar{x}$=100 799,40), İzmir ($\bar{x}$=101 292,65) ve Balıkesir ($\bar{x}$=100 573,41) illerinin hava basıncı (Pd) değerlerinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

## 4.5. İllerin Hava Basıncı (Pv) Değerleri Analizi

Türkiye'de Aydın, Manisa, İzmir, Çanakkale ve Balıkesir illerinin hava basıncı (Pv) değerleri arasındaki ilişki istatistiksel (ANOVA) analiz edilmiştir. Hava basıncı (Pv) değerleri bakımından iller ve yıllar için aralarında istatistiki açıdan anlamlı fark olduğu tespit edilmiştir ($p<0.001$). Buna göre iller ve yıllar arasında hava basıncı değerleri etkili olduğu görülmüştür (Çizelge 4.16-Çizelge 4.18) (Ek 4).

Çizelge 4.16. İllere göre hava basıncı (Pv) dağılımının istatistiksel (ANOVA) analizi

| Yer | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Bağımlı Değişken: Pv | | | | |
| Yer | Ortalama | Std. Hata | %95 Güven Aralığı | |
| | | | Alt Limit | Üst Limit |
| Aydın | 20,69 | 0,118 | 20,46 | 20,93 |
| Manisa | 17,71 | 0,118 | 17,48 | 17,95 |
| İzmir | 17,18 | 0,118 | 16,95 | 17,41 |
| Çanakkale | 18,21 | 0,118 | 17,98 | 18,44 |
| Balıkesir | 18,94 | 0,118 | 18,71 | 19,17 |

Çizelge 4.17. Yıllara göre hava basıncı (Pv) dağılımının istatistiksel (ANOVA) analizi

| Yıl | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Bağımlı Değişken: Pv | | | | |
| Yer | Ortalama | Std. Hata | %95 Güven Aralığı | |
| | | | Alt Limit | Üst Limit |
| 2011 | 16,44 | 0,167 | 16,12 | 16,77 |
| 2012 | 18,29 | 0,167 | 17,96 | 18,61 |
| 2013 | 17,12 | 0,167 | 16,80 | 17,45 |
| 2014 | 18,88 | 0,167 | 18,55 | 19,20 |
| 2015 | 18,68 | 0,167 | 18,35 | 19,01 |
| 2016 | 18,79 | 0,167 | 18,46 | 19,12 |
| 2017 | 18,50 | 0,167 | 18,17 | 18,83 |
| 2018 | 19,96 | 0,167 | 19,63 | 20,29 |
| 2019 | 19,35 | 0,167 | 19,02 | 19,68 |
| 2020 | 19,48 | 0,167 | 19,15 | 19,80 |

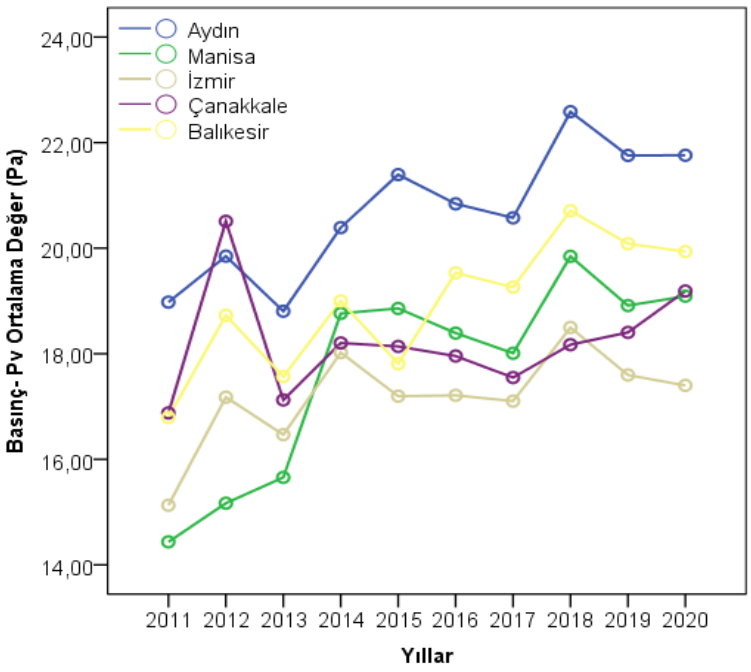
Çizelge 4.18. İllerin hava basıncı (Pv) dağılımının istatistiksel ANOVA analizi ve çoklu karşılaştırma testi olarak TUKEY testi sonucu

| Çoklu Karşılaştırma | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Bağımlı Değişken: Pv | | | | | | | |
| | (I) Yer | (J) Yer | Ortalama Farkı (I-J) | Std. Hata | p değeri | %95 Güven Aralığı | |
| | | | | | | Alt Limit | Üst Limit |
| Tukey HSD | Aydın | Manisa | 2,9797* | 0,167 | 0,000 | 2,524 | 3,436 |
| | | İzmir | 3,5135* | 0,167 | 0,000 | 3,057 | 3,970 |
| | | Çanakkale | 2,4807* | 0,167 | 0,000 | 2,025 | 2,937 |
| | | Balıkesir | 1,7505* | 0,167 | 0,000 | 1,294 | 2,207 |
| | Manisa | Aydın | -2,9797* | 0,167 | 0,000 | -3,436 | -2,524 |
| | | İzmir | 0,5339* | 0,167 | 0,012 | 0,078 | 0,990 |
| | | Çanakkale | -,4990* | 0,167 | 0,024 | -0,955 | -0,043 |
| | | Balıkesir | -1,2292* | 0,167 | 0,000 | -1,685 | -0,773 |

Çizelge 4.18. **(Devam)**

| Çoklu Karşılaştırma | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Bağımlı Değişken: Pv | | | | | | | |
| | (I) Yer | (J) Yer | Ortalama Farkı (I-J) | Std. Hata | p değeri | %95 Güven Aralığı | |
| | | | | | | Alt Limit | Üst Limit |
| Tukey HSD | İzmir | Aydın | -3,5135* | 0,167 | 0,000 | -3,970 | -3,057 |
| | | Manisa | -,5339* | 0,167 | 0,012 | -0,990 | -0,078 |
| | | Çanakkale | -1,0329* | 0,167 | 0,000 | -1,489 | -0,577 |
| | | Balıkesir | -1,7631* | 0,167 | 0,000 | -2,219 | -1,307 |
| | Çanakkale | Aydın | -2,4807* | 0,167 | 0,000 | -2,937 | -2,025 |
| | | Manisa | 0,4990* | 0,167 | 0,024 | 0,043 | 0,955 |
| | | İzmir | 1,0329* | 0,167 | 0,000 | 0,577 | 1,489 |
| | | Balıkesir | -,7302* | 0,167 | 0,000 | -1,186 | -0,274 |
| | Balıkesir | Aydın | -1,7505* | 0,167 | 0,000 | -2,207 | -1,294 |
| | | Manisa | 1,2292* | 0,167 | 0,000 | 0,773 | 1,685 |
| | | İzmir | 1,7631* | 0,167 | 0,000 | 1,307 | 2,219 |
| | | Çanakkale | 0,7302* | 0,167 | 0,000 | 0,274 | 1,186 |
| Gözlemlenen araçlara göre<br>Hata terimi Ortalama Karesi (Hata) = 52,011. | | | | | | | |
| *. Ortalama fark 0,05 düzeyinde anlamlıdır. | | | | | | | |

Çizelge 4.18.'de görülen Post Hoc tablosunda Tukey testi kullanılarak hava basıncı (Pv) değişkeni için yapılan çoklu karşılaştırma sonuçları verilmiştir. İllerin hava basıncı (Pv) dağılımları arasında anlamlı farklılıklar olduğu gözlenmektedir.




Şekil 4.13. Yıllara göre illerin hava basıncı (Pv) değerlerinin grafiği (2011-2020)

Şekil 4.13.'deki grafikte yıllara göre illerin hava basıncı (Pv) değişkenleri gösterilmektedir. Yıllara göre Aydın ilinde hava basıncı (Pv) en yüksek, Manisa ilinin de en düşük değerler aldığı görülmektedir. Ayrıca hava basıncı (Pv) 2011-2020 yılları arasında yaklaşık 1-7 hPa değiştiği görülmektedir.

Çizelge 4.19. İllerin hava basıncı (Pv) dağılımının istatistiksel (ANOVA) analizi anlamlılık tablosu

| Yer | N | x̄ | SS | İstatistiksel Anlamlı Farklılık |
|---|---|---|---|---|
| Aydın | 372 | 20,69 | 7,94 | Aydın - Bütün iller<br>Manisa - Bütün iller<br>İzmir - Bütün iller<br>Çanakkale - Bütün iller<br>Balıkesir - Bütün iller |
| Manisa | 372 | 17,71 | 6,89 | |
| İzmir | 372 | 17,18 | 6,18 | |
| Çanakkale | 372 | 18,21 | 7,39 | |
| Balıkesir | 372 | 18,94 | 7,86 | |

Çizelge 4.18. ve Çizelge 4.19. incelendiğinde Aydın, Manisa, İzmir, Çanakkale ve Balıkesir illerinin hava basıncı (Pv) değerleri arasında anlamlı bir fark vardır. Hava basıncı (Pv) değerleri arasında anlamlı farklılığın varlığını belirlemek amacıyla bakılan TUKEY testi sonuçlarına göre Aydın ilinin hava basıncı (Pv) değerleri ($\bar{x}$=20,69), Manisa ($\bar{x}$=17,71), İzmir ($\bar{x}$=17,18), Çanakkale ($\bar{x}$=18,21) ve Balıkesir ($\bar{x}$=18,94) illerinin hava basıncı (Pv) değerlerinden daha yüksek olduğu; Manisa ilinin hava basıncı (Pv) değerleri ($\bar{x}$=17,71), İzmir ($\bar{x}$=17,18) ilinin hava basıncı (Pv) değerlerinden daha yüksek olduğu; Çanakkale ilinin hava basıncı (Pv) değerleri ($\bar{x}$=18,21), Manisa ($\bar{x}$=17,71) ve İzmir ($\bar{x}$=17,18) illerinin hava basıncı (Pv) değerlerinden daha yüksek olduğu; Balıkesir ilinin hava basıncı (Pv) değerleri ($\bar{x}$=18,94), Manisa ($\bar{x}$=17,71), İzmir ($\bar{x}$=17,18) ve Çanakkale ($\bar{x}$=18,21) illerinin hava basıncı (Pv) değerlerinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

## 4.6. İllerin Hava Yoğunluğu Değerleri Analizi

Türkiye'de Aydın, Manisa, İzmir, Çanakkale ve Balıkesir illerinin hava yoğunluğu değerleri arasındaki ilişki istatistiksel (ANOVA) analiz edilmiştir. Hava yoğunluğu değerleri bakımından iller ve yıllar için aralarında istatistiki açıdan anlamlı fark olduğu tespit edilmiştir ($p<0.001$). Buna göre iller ve yıllar arasında hava yoğunluğu değerleri etkili olduğu görülmüştür (Çizelge 4.20-Çizelge 4.22) (Ek 5).

Çizelge 4.20. İllere göre hava yoğunluğu dağılımının istatistiksel (ANOVA) analizi

| Yer | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Bağımlı Değişken: Yogunluk | | | | |
| Yer | Ortalama | Std. Hata | %95 Güven Aralığı | |
| | | | Alt Limit | Üst Limit |
| Aydın | 1,18 | 0,001 | 1,18 | 1,18 |
| Manisa | 1,19 | 0,001 | 1,18 | 1,19 |
| İzmir | 1,19 | 0,001 | 1,19 | 1,19 |
| Çanakkale | 1,21 | 0,001 | 1,21 | 1,21 |
| Balıkesir | 1,19 | 0,001 | 1,19 | 1,19 |

Çizelge 4.21. Yıllara göre hava yoğunluğu dağılımının istatistiksel (ANOVA) analizi

| Yıl | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Bağımlı Değişken: Yoğunluk | | | | |
| Yıl | Ortalama | Std. Hata | %95 Güven Aralığı | |
| | | | Alt Limit | Üst Limit |
| 2011 | 1,20 | 0,001 | 1,20 | 1,20 |
| 2012 | 1,19 | 0,001 | 1,19 | 1,19 |
| 2013 | 1,19 | 0,001 | 1,19 | 1,19 |
| 2014 | 1,19 | 0,001 | 1,19 | 1,19 |
| 2015 | 1,19 | 0,001 | 1,19 | 1,20 |
| 2016 | 1,19 | 0,001 | 1,19 | 1,19 |
| 2017 | 1,19 | 0,001 | 1,19 | 1,19 |
| 2018 | 1,19 | 0,001 | 1,19 | 1,19 |
| 2019 | 1,19 | 0,001 | 1,18 | 1,19 |
| 2020 | 1,19 | 0,001 | 1,18 | 1,19 |

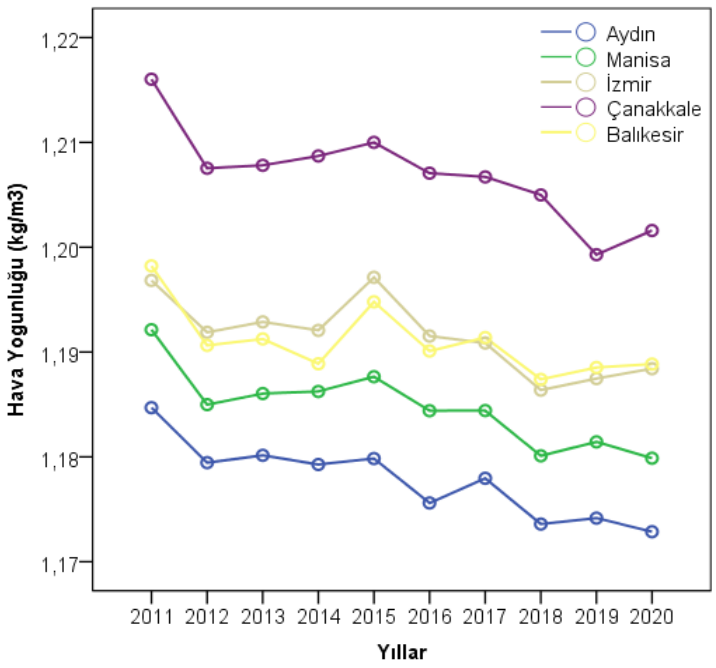
Çizelge 4.22. İllerin hava yoğunluğu dağılımının istatistiksel ANOVA analizi ve çoklu karşılaştırma testi olarak TUKEY testi sonucu

| Çoklu Karşılaştırma | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Bağımlı Değişken: Yogunluk | | | | | | | |
| | (I) Yer | (J) Yer | Ortalama Farkı (I-J) | Std. Hata | p değeri | %95 Güven Aralığı | |
| | | | | | | Alt Limit | Üst Limit |
| Tukey HSD | Aydın | Manisa | -,0070* | 0,00094 | 0,000 | -0,010 | -0,004 |
| | | İzmir | -,0138* | 0,00094 | 0,000 | -0,016 | -0,011 |
| | | Çanakkale | -,0292* | 0,00094 | 0,000 | -0,032 | -0,027 |
| | | Balıkesir | -,0132* | 0,00094 | 0,000 | -0,016 | -0,011 |
| | Manisa | Aydın | ,0070* | 0,00094 | 0,000 | 0,004 | 0,010 |
| | | İzmir | -,0068* | 0,00094 | 0,000 | -0,009 | -0,004 |
| | | Çanakkale | -,0222* | 0,00094 | 0,000 | -0,025 | -0,020 |
| | | Balıkesir | -,0063* | 0,00094 | 0,000 | -0,009 | -0,004 |

Çizelge 4.22. **(Devam)**

| Çoklu Karşılaştırma | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Bağımlı Değişken: Yogunluk | | | | | | | |
| | (I) Yer | (J) Yer | Ortalama Farkı (I-J) | Std. Hata | p değeri | %95 Güven Aralığı | |
| | | | | | | Alt Limit | Üst Limit |
| Tukey HSD | İzmir | Aydın | ,0138* | 0,00094 | 0,000 | 0,011 | 0,016 |
| | | Manisa | ,0068* | 0,00094 | 0,000 | 0,004 | 0,009 |
| | | Çanakkale | -,0154* | 0,00094 | 0,000 | -0,018 | -0,013 |
| | | Balıkesir | 0,0005 | 0,00094 | 0,979 | -0,002 | 0,003 |
| | Çanakkale | Aydın | ,0292* | 0,00094 | 0,000 | 0,027 | 0,032 |
| | | Manisa | ,0222* | 0,00094 | 0,000 | 0,020 | 0,025 |
| | | İzmir | ,0154* | 0,00094 | 0,000 | 0,013 | 0,018 |
| | | Balıkesir | ,0160* | 0,00094 | 0,000 | 0,013 | 0,019 |
| | Balıkesir | Aydın | ,0132* | 0,00094 | 0,000 | 0,011 | 0,016 |
| | | Manisa | ,0063* | 0,00094 | 0,000 | 0,004 | 0,009 |
| | | İzmir | -0,0005 | 0,00094 | 0,979 | -0,003 | 0,002 |
| | | Çanakkale | -,0160* | 0,00094 | 0,000 | -0,019 | -0,013 |
| Gözlemlenen araçlara göre<br>Hata terimi Ortalama Karesi (Hata) = ,002. | | | | | | | |
| *. Ortalama fark 0,05 düzeyinde anlamlıdır. | | | | | | | |

Çizelge 4.22.'de görülen Post Hoc tablosunda Tukey testi kullanılarak hava yoğunluğu değişkeni için yapılan çoklu karşılaştırma sonuçları verilmiştir. İllerin hava yoğunluğu dağılımları arasında anlamlı farklılıklar olduğu gözlenmektedir.




Şekil 4.14. Yıllara göre illerin hava yoğunluğu değerlerinin grafiği (2011-2020)

Şekil 4.14.'deki grafikte yıllara göre illerin hava yoğunluğu değerleri gösterilmektedir. Yıllara göre Çanakkale ilinde hava yoğunluğu en yüksek, Aydın ilinde en düşük değerler aldığı görülmektedir. Ayrıca hava yoğunluğu 2011-2020 yılları arasında yaklaşık 1.17-1.22 ($kg/m^3$) değiştiği görülmektedir.

Çizelge 4.23. İllerin hava yoğunluğu dağılımının istatistiksel (ANOVA) analizi anlamlılık tablosu

| Yer | N | $\bar{x}$ | SS | İstatistiksel Anlamlı Farklılık |
|---|---|---|---|---|
| Aydın | 372 | 1,18 | 0,04 | Aydın - Bütün iller<br>Manisa - Bütün iller<br>İzmir - Balıkesir hariç bütün iller<br>Çanakkale - Bütün iller<br>Balıkesir - İzmir hariç bütün iller |
| Manisa | 372 | 1,18 | 0,04 | |
| İzmir | 372 | 1,19 | 0,04 | |
| Çanakkale | 372 | 1,21 | 0,04 | |
| Balıkesir | 372 | 1,19 | 0,04 | |

Çizelge 4.22 ve Çizelge 4.23. incelendiğinde hava yoğunluğu bakımından İzmir ile Balıkesir arasında anlamlı bir fark yokken diğer bütün iller arasında anlamlı bir fark var diyebiliriz. Hava yoğunluğu değerleri arasında anlamlı farklılığın varlığını belirlemek amacıyla bakılan TUKEY testi sonuçlarına göre Manisa ilinin hava yoğunluğu değerleri ($\bar{x}$=1,18), Aydın ($\bar{x}$=1,18) ilinin hava yoğunluğu değerlerinden daha yüksek olduğu; İzmir ilinin hava yoğunluğu değerleri ($\bar{x}$=1,19), Aydın ($\bar{x}$=1,18) ve Manisa ($\bar{x}$=1,18) illerinin hava yoğunluğu değerlerinden daha yüksek olduğu; Çanakkale ilinin hava yoğunluğu değerleri ($\bar{x}$=1,21), Aydın ($\bar{x}$=1,18), Manisa ($\bar{x}$=1,18), İzmir ($\bar{x}$=1,19) ve Balıkesir ($\bar{x}$=1,19) illerinin hava yoğunluğu değerlerinden daha yüksek olduğu; Balıkesir ilinin hava yoğunluğu değerleri ($\bar{x}$=1,19), Aydın ($\bar{x}$=1,18) ve Manisa ($\bar{x}$=1,18) illerinin hava yoğunluğu değerlerinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

## 4.7. İllerin Rüzgâr Hızı Değerleri Analizi

Türkiye'de Aydın, Manisa, İzmir, Çanakkale ve Balıkesir illerinin rüzgâr hızı değerleri ANOVA testi ile analiz edilmiş, aralarındaki ilişkiye bakılmıştır. Rüzgâr hızı değerleri bakımından iller ve yıllar için aralarında istatistiki açıdan anlamlı fark olduğu tespit edilmiştir ($p<0.001$). Buna göre iller ve yıllar arasında rüzgâr hızı değerleri etkili olduğu görülmüştür (Çizelge 4.24-Çizelge 4.26) (Ek 6).

Çizelge 4.24. İllere göre rüzgâr hızı dağılımının istatistiksel (ANOVA) analizi

| Yer | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Bağımlı Değişken: Hız | | | | |
| Yer | Ortalama | Std. Hata | %95 Güven Aralığı | |
| | | | Alt Limit | Üst Limit |
| Aydın | 6,497 | 0,05 | 6,399 | 6,595 |
| Manisa | 6,05 | 0,05 | 5,951 | 6,148 |
| İzmir | 8,529 | 0,05 | 8,431 | 8,627 |
| Çanakkale | 10,583 | 0,05 | 10,485 | 10,681 |
| Balıkesir | 10,588 | 0,05 | 10,49 | 10,687 |

Çizelge 4.25. Yıllara göre rüzgâr hızı dağılımının istatistiksel (ANOVA) analizi

| Yıl | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Bağımlı Değişken: Hız | | | | |
| Yıl | Ortalama | Std. Hata | %95 Güven Aralığı | |
| | | | Alt Limit | Üst Limit |
| 2011 | 8,60 | 0,071 | 8,47 | 8,74 |
| 2012 | 8,66 | 0,071 | 8,52 | 8,80 |
| 2013 | 8,62 | 0,071 | 8,48 | 8,76 |
| 2014 | 8,23 | 0,071 | 8,09 | 8,37 |
| 2015 | 8,67 | 0,071 | 8,54 | 8,81 |
| 2016 | 8,88 | 0,071 | 8,74 | 9,02 |
| 2017 | 8,17 | 0,071 | 8,03 | 8,31 |
| 2018 | 8,33 | 0,071 | 8,19 | 8,47 |
| 2019 | 8,22 | 0,071 | 8,08 | 8,35 |
| 2020 | 8,12 | 0,071 | 7,98 | 8,26 |

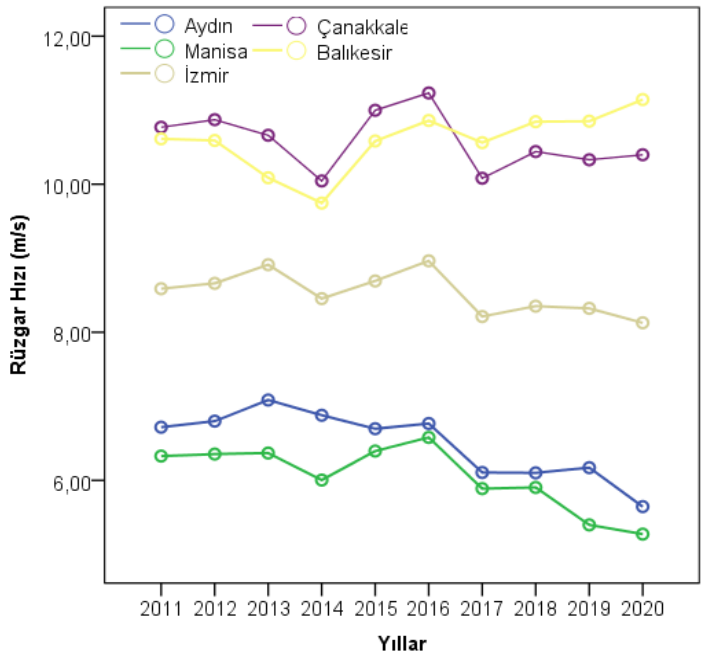
Çizelge 4.26. İllerin rüzgâr hızı dağılımının istatistiksel ANOVA analizi ve çoklu karşılaştırma testi olarak TUKEY testi sonucu

| Çoklu Karşılaştırma | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Bağımlı Değişken: Hız | | | | | | | |
| | (I) Yer | (J) Yer | Ortalama Farkı (I-J) | Std. Hata | p değeri | %95 Güven Aralığı | |
| | | | | | | Alt Limit | Üst Limit |
| Tukey HSD | Aydın | Manisa | ,4478* | 0,07085 | 0,000 | 0,255 | 0,641 |
| | | İzmir | -2,0318* | 0,07088 | 0,000 | -2,225 | -1,839 |
| | | Çanakkale | -4,0855* | 0,07085 | 0,000 | -4,279 | -3,892 |
| | | Balıkesir | -4,0910* | 0,07085 | 0,000 | -4,284 | -3,898 |
| | Manisa | Aydın | -,4478* | 0,07085 | 0,000 | -0,641 | -0,255 |
| | | İzmir | -2,4796* | 0,07088 | 0,000 | -2,673 | -2,286 |
| | | Çanakkale | -4,5333* | 0,07085 | 0,000 | -4,727 | -4,340 |
| | | Balıkesir | -4,5388* | 0,07085 | 0,000 | -4,732 | -4,346 |

Çizelge 4.26. **(Devam)**

| Çoklu Karşılaştırma | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Bağımlı Değişken: Hız | | | | | | | |
| | (I) Yer | (J) Yer | Ortalama Farkı (I-J) | Std. Hata | p değeri | %95 Güven Aralığı | |
| | | | | | | Alt Limit | Üst Limit |
| Tukey HSD | İzmir | Aydın | 2,0318* | 0,07088 | 0,000 | 1,839 | 2,225 |
| | | Manisa | 2,4796* | 0,07088 | 0,000 | 2,286 | 2,673 |
| | | Çanakkale | -2,0537* | 0,07088 | 0,000 | -2,247 | -1,860 |
| | | Balıkesir | -2,0592* | 0,07088 | 0,000 | -2,253 | -1,866 |
| | Çanakkale | Aydın | 4,0855* | 0,07085 | 0,000 | 3,892 | 4,279 |
| | | Manisa | 4,5333* | 0,07085 | 0,000 | 4,340 | 4,727 |
| | | İzmir | 2,0537* | 0,07088 | 0,000 | 1,860 | 2,247 |
| | | Balıkesir | -0,0055 | 0,07085 | 1,000 | -0,199 | 0,188 |
| | Balıkesir | Aydın | 4,0910* | 0,07085 | 0,000 | 3,898 | 4,284 |
| | | Manisa | 4,5388* | 0,07085 | 0,000 | 4,346 | 4,732 |
| | | İzmir | 2,0592* | 0,07088 | 0,000 | 1,866 | 2,253 |
| | | Çanakkale | 0,0055 | 0,07085 | 1,000 | -0,188 | 0,199 |
| Gözlemlenen araçlara göre<br>Hata terimi Ortalama Karesi (Hata) = 9,336. | | | | | | | |
| *. Ortalama fark 0,05 düzeyinde anlamlıdır. | | | | | | | |

Çizelge 4.26.'da görülen Post Hoc tablosunda Tukey testi kullanılarak rüzgâr hızı değişkeni için yapılan çoklu karşılaştırma sonuçları verilmiştir. İllerin rüzgâr hızı dağılımları arasında anlamlı farklılıklar olduğu gözlenmektedir.




Şekil 4.15. Yıllara göre illerin rüzgâr hızı değerlerinin grafiği (2011-2020)

Şekil 4.15.'deki grafikte yıllara göre illerin rüzgâr hızı değerleri gösterilmektedir. Yıllara göre Çanakkale ilinde rüzgâr hızı en yüksek, Manisa ilinde en düşük değerler aldığı görülmektedir. Ayrıca rüzgâr hızı 2011-2020 yılları arasında yaklaşık 1-6 m/s değiştiği görülmektedir.

Çizelge 4.27. İllerin rüzgâr hızı dağılımının istatistiksel (ANOVA) analizi anlamlılık tablosu

| Yer | N | x̄ | SS | İstatistiksel Anlamlı Farklılık |
|---|---|---|---|---|
| Aydın | 372 | 6,50 | 1,65 | Aydın - Bütün iller<br>Manisa - Bütün iller<br>İzmir - Bütün iller<br>Çanakkale - Balıkesir hariç bütün iller<br>Balıkesir - Çanakkale hariç bütün iller |
| Manisa | 372 | 6,05 | 2,56 | |
| İzmir | 371 | 8,53 | 2,46 | |
| Çanakkale | 372 | 10,58 | 3,81 | |
| Balıkesir | 372 | 10,59 | 4,14 | |

Çizelge 4.26. ve Çizelge 4.27. incelendiğinde hava yoğunluğu bakımından Çanakkale ile Balıkesir arasında anlamlı bir fark yokken diğer bütün iller arasında anlamlı bir fark var diyebiliriz. Rüzgâr hızı değerleri arasında anlamlı farklılığın varlığını belirlemek amacıyla bakılan TUKEY testi sonuçlarına göre Aydın ilinin rüzgâr hızı değerleri ($\bar{x}$=6,50), Manisa ($\bar{x}$=6,05) ilinin rüzgâr hızı değerlerinden daha yüksek olduğu; İzmir ilinin rüzgâr hızı değerleri ($\bar{x}$=8,53), Aydın ($\bar{x}$=6,50) ve Manisa ($\bar{x}$=6,05) illerinin rüzgâr hızı değerlerinden daha yüksek olduğu; Çanakkale ilinin rüzgâr hızı değerleri ($\bar{x}$=10,58), Aydın ($\bar{x}$=6,50), Manisa ($\bar{x}$=6,05) ve İzmir ($\bar{x}$=8,53) illerinin rüzgâr hızı değerlerinden daha yüksek olduğu; Balıkesir ilinin rüzgâr hızı değerleri ($\bar{x}$=10,59), Aydın ($\bar{x}$=6,50), Manisa ($\bar{x}$=6,05) ve İzmir ($\bar{x}$=8,53) illerinin rüzgâr hızı değerlerinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

## 4.8. Regresyon Modeli

Rüzgâr gücü analizi yapılırken kullanılan sıcaklık, nem, hava basıncı (Pd), hava basıncı (Pv) ve hava yoğunluğu değişkenleri arasında yapılan regresyon analizine göre Çizelge 4.28. ve Çizelge 4.29.'da görüldüğü gibi yoğunluk bağımlı değişken olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4.28. Sıcaklık, Nem, Pd ve Pv ile yoğunluk değerleri arasındaki ilişki

| Model Özeti | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Model | R | R Kare | Düzeltilmiş R Kare | Std. Tahmin Hatası |
| 1 | ,999[a] | ,998 | ,998 | ,00174 |
| a. Tahmin ediciler: (Sabit), Pv, Nem, Pd, Sıcaklık | | | | |

Çizelge 4.29. Sıcaklık, Nem, Pd ve Pv ile yoğunluk değerleri arasındaki ANOVA sonucu

| ANOVA[a] | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Model | | Kareler Toplamı | Sd | Kareler Ortalaması | F | p değeri |
| 1 | Regresyon | 32,548 | 4 | 8,14 | 2.694.098,55 | ,000[b] |
| | Hata | 0,056 | 18.595 | 0,00 | | |
| | Genel | 32,604 | 18.599 | | | |
| a. Bağımlı Değişken: Yogunluk | | | | | | |
| b. Tahmin Ediciler: (Sabit), Pv, Nem, Pd, Sıcaklık | | | | | | |

### 4.8.1. Sıcaklık ile yoğunluk arasındaki ilişki

Sıcaklık değerinin yoğunluk üzerindeki etkisini analiz ettiğimizde sıcaklık ve yoğunluk arasındaki doğrusal korelasyon katsayısının değeri R=0,984, belirlilik katsayısı $R^2$=0,967 bulunmuştur. Buna göre yoğunluk değişkenindeki varyasyonun %96,7'sinin sıcaklık değişkeninden kaynaklandığı söylenebilir (Çizelge 4.30.).

Çizelge 4.30. Sıcaklık ve yoğunluk arasındaki regresyon analizi

| Model Özeti | | | |
|---|---|---|---|
| R | R Kare | Düzeltilmiş R Kare | Std. Tahmin Hatası |
| ,984 | ,967 | ,967 | ,008 |

Bağımsız değişken Sıcaklık.

Çizelge 4.31.'e göre F değeri ve p değerine bakarak bu regresyon modelinin istatistiki olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir (p<0.001). Sıcaklık değişkeni yoğunluk değişkeninin anlamlı bir tahmin edicisidir.

Çizelge 4.31. Sıcaklık ve yoğunluk arasındaki ANOVA analizi

**ANOVA**

| | Kareler Toplamı | Sd | Kareler Ortalaması | F | p değeri |
|---|---|---|---|---|---|
| Regresyon | 31,542 | 1 | 31,542 | 552082,578 | ,000 |
| Hata | 1,063 | 18598 | ,000 | | |
| Genel | 32,604 | 18599 | | | |

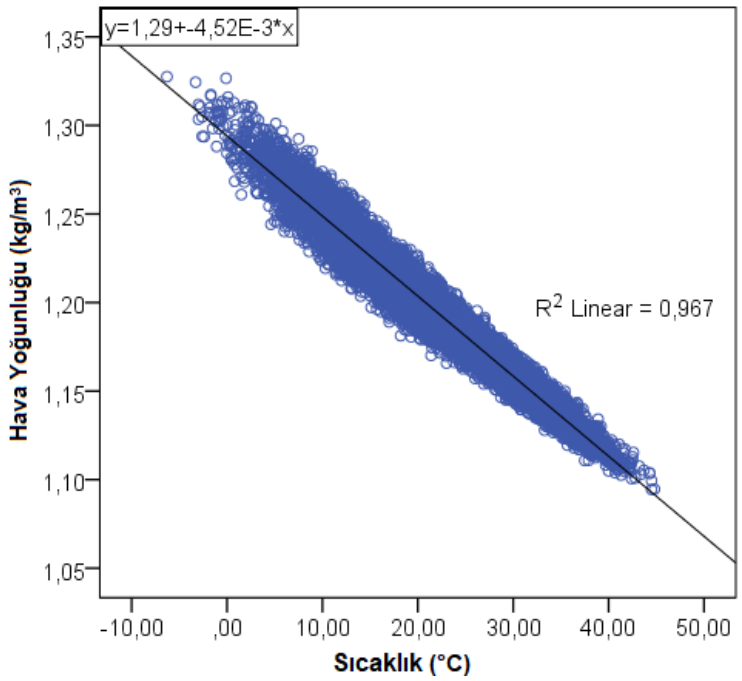
Bağımsız değişken Sıcaklık.

Çizelge 4.32.'ye göre sıcaklık değişkeninin regresyon katsayısı -0,005 ve standartlaştırılmış regresyon katsayısı -0.984 olarak rapor edilmiştir. Modeldeki sabit değer 1,294'dür. Burada sıcaklık değerindeki bir birimlik artışın yoğunluğu -0,005 birim düşürdüğünü söyleyebiliriz. Yapılan analizlerde, sıcaklık ve yoğunluk arasındaki belirlilik katsayısı değeri ($R^2$=0.967) olarak elde edilmiştir (Şekil 4.16). Bu değer sıcaklık ve yoğunluk arasında doğrusal bir ilişki olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.32. Sıcaklık ve yoğunluk arasındaki regresyon analizi

**Katsayılar**

| | Standartlaşmamış Katsayılar | | Standart Katsayılar | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | B | Std. Hata | Beta | t | p değeri |
| Sıcaklık | -,005 | ,000 | -,984 | -743,023 | ,000 |
| (Sabit) | 1,294 | ,000 | | 8624,220 | ,000 |




Şekil 4.16. Sıcaklık ve yoğunluk arasındaki ilişkiyi gösteren regresyon grafiği

### 4.8.2. Nem ile yoğunluk arasındaki ilişki

Nem değerinin yoğunluk üzerindeki etkisini analiz ettiğimizde nem ve yoğunluk arasındaki doğrusal korelasyon katsayısının değeri R=0,628, belirlilik katsayısı $R^2$=0,394 bulunmuştur. Buna göre yoğunluk değişkenindeki varyasyonun %39,4'ünün nem değişkeninden kaynaklandığı söylenebilir (Çizelge 4.33).

Çizelge 4.33. Nem ve yoğunluk arasındaki regresyon analizi

**Model Özeti**

| R | R Kare | Düzeltilmiş R Kare | Std. Tahmin Hatası |
|---|---|---|---|
| ,628 | ,394 | ,394 | ,033 |

Bağımsız değişken Nem.

Çizelge 4.34.'e göre F değeri ve p değerine bakarak bu regresyon modelinin istatistiki olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir (p<0.001). Nem değişkeni yoğunluk değişkeninin anlamlı bir tahmin edicisidir.

Çizelge 4.34. Nem ve yoğunluk arasındaki ANOVA analizi

**ANOVA**

| | Kareler Toplamı | Sd | Kareler Ortalaması | F | p değeri |
|---|---|---|---|---|---|
| Regresyon | 12,848 | 1 | 12,848 | 12093,987 | ,000 |
| Hata | 19,757 | 18598 | ,001 | | |
| Genel | 32,604 | 18599 | | | |

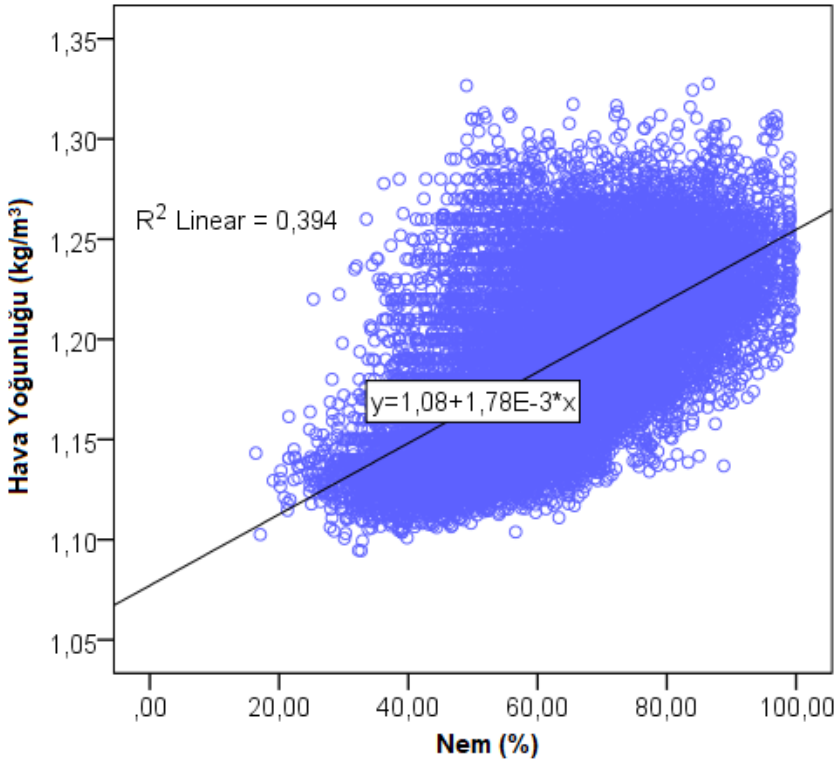
Bağımsız değişken Nem.

Çizelge 4.35.'e göre nem değişkenine ait regresyon katsayısı 0,002 ve standartlaştırılmış regresyon katsayısı 0.628 olarak rapor edilmiştir. Modeldeki sabit değer 1,077'dir. Burada nem değerindeki bir birimlik artışın yoğunluğu 0,002 birim arttırdığını söyleyebiliriz. Yapılan analizlerde, nem ve yoğunluk arasındaki belirlilik katsayısı değeri ($R^2$=0.394) olarak elde edilmiştir (Şekil 4.17). Bu değer nem ve yoğunluk arasında doğrusal bir ilişki olmadığını göstermektedir.

Çizelge 4.35. Nem ve yoğunluk arasındaki regresyon analizi

**Katsayılar**

| | Standartlaşmamış Katsayılar | | Standart Katsayılar | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | B | Std. Hata | Beta | t | p değeri |
| Nem | ,002 | ,000 | ,628 | 109,973 | ,000 |
| (Sabit) | 1,077 | ,001 | | 1018,330 | ,000 |




Şekil 4.17. Nem ve yoğunluk arasındaki ilişkiyi gösteren regresyon grafiği

### 4.8.3. Pd ile yoğunluk arasındaki ilişki

Pd değerinin yoğunluk üzerindeki etkisini analiz ettiğimizde Pd ve yoğunluk arasındaki doğrusal korelasyon katsayısının değeri R=0,659, belirlilik katsayısı $R^2$=0,434 bulunmuştur. Buna göre yoğunluk değişkenindeki varyasyonun %43,4'ünün Pd değişkeninden kaynaklandığı söylenebilir (Çizelge 4.36.).

Çizelge 4.36. Pd ve yoğunluk arasındaki regresyon analizi

**Model Özeti**

| R | R Kare | Düzeltilmiş R Kare | Std. Tahmin Hatası |
|---|---|---|---|
| ,659 | ,434 | ,434 | ,031 |

Bağımsız değişken Pd.

Çizelge 4.37'e göre F değeri ve p değerine bakarak bu regresyon modelinin istatistiki olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir ($p<0.001$). Pd değişkeni yoğunluk değişkeninin anlamlı bir tahmin edicisidir.

Çizelge 4.37. Pd ve yoğunluk arasındaki ANOVA analizi

**ANOVA**

| | Kareler Toplamı | Sd | Kareler Ortalaması | F | p değeri |
|---|---|---|---|---|---|
| Regression | 14,154 | 1 | 14,154 | 14267,256 | ,000 |
| Residual | 18,450 | 18598 | ,001 | | |
| Total | 32,604 | 18599 | | | |

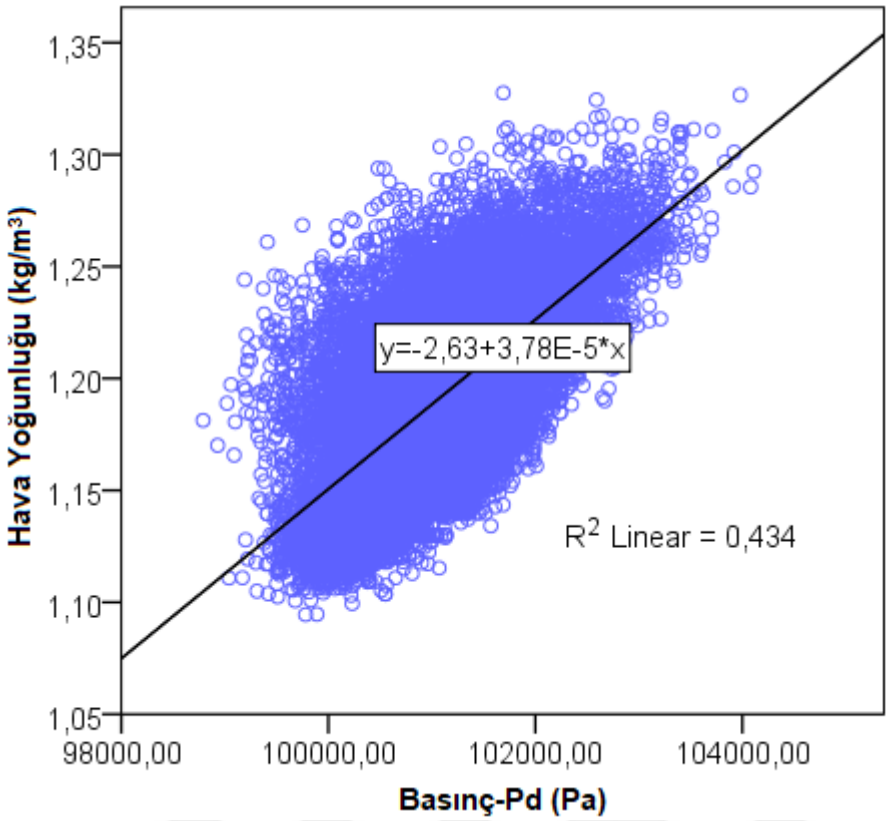
Bağımsız değişken Pd.

Çizelge 4.38'e göre Pd değişkeninin regresyon katsayısı 3,784E-5 ve standartlaştırılmış regresyon katsayısı 0.659 olarak rapor edilmiştir. Modeldeki sabit değer 2,633'dür. Burada Pd değerindeki bir birimlik artışın yoğunluğu 3,784E-5 birim artırdığını söyleyebiliriz. Yapılan analizlerde, Pd ve yoğunluk arasındaki belirlilik katsayısı değeri ($R2=0.434$) olarak elde edilmiştir (Şekil 4.18). Bu değer Pd ve yoğunluk arasında doğrusal bir ilişki olmadığını göstermektedir.

Çizelge 4.38. Pd ve yoğunluk arasındaki regresyon analizi

**Katsayılar**

| | Standartlaşmamış Katsayılar | | Standart Katsayılar | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | B | Std. Hata | Beta | t | p değeri |
| Pd | 3,784E-5 | ,000 | ,659 | 119,446 | ,000 |
| (Sabit) | -2,633 | ,032 | | -82,259 | ,000 |




Şekil 4.18. Hava basıncı (Pd) ve yoğunluk arasındaki ilişkiyi gösteren regresyon grafiği

### 4.8.4. Pv ile yoğunluk arasındaki ilişki

Pv değerinin yoğunluk üzerindeki etkisini analiz ettiğimizde Pv ve yoğunluk arasındaki doğrusal korelasyon katsayısının değeri R=0,881, belirlilik katsayısı $R^2$=0,777 bulunmuştur. Buna göre yoğunluk değişkenindeki varyasyonun %77,6'sının Pv değişkeninden kaynaklandığı söylenebilir (Çizelge 4.39).

Çizelge 4.39. Pv ve yoğunluk arasındaki regresyon analizi

**Model Özeti**

| R | R Kare | Düzeltilmiş R Kare | Std. Tahmin Hatası |
|---|---|---|---|
| ,881 | ,776 | ,776 | ,020 |

Bağımsız değişken Pv.

Çizelge 4.40'a göre F değeri ve p değerine bakarak bu regresyon modelinin istatistiki olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir ($p<0.001$). Pv değişkeni yoğunluk değişkeninin anlamlı bir tahmin edicisidir.

Çizelge 4.40. Pv ve yoğunluk arasındaki ANOVA analizi

**ANOVA**

| | Kareler Toplamı | Sd | Kareler Ortalaması | F | p değeri |
|---|---|---|---|---|---|
| Regresyon | 25,288 | 1 | 25,288 | 64281,944 | ,000 |
| Hata | 7,316 | 18598 | ,000 | | |
| Genel | 32,604 | 18599 | | | |

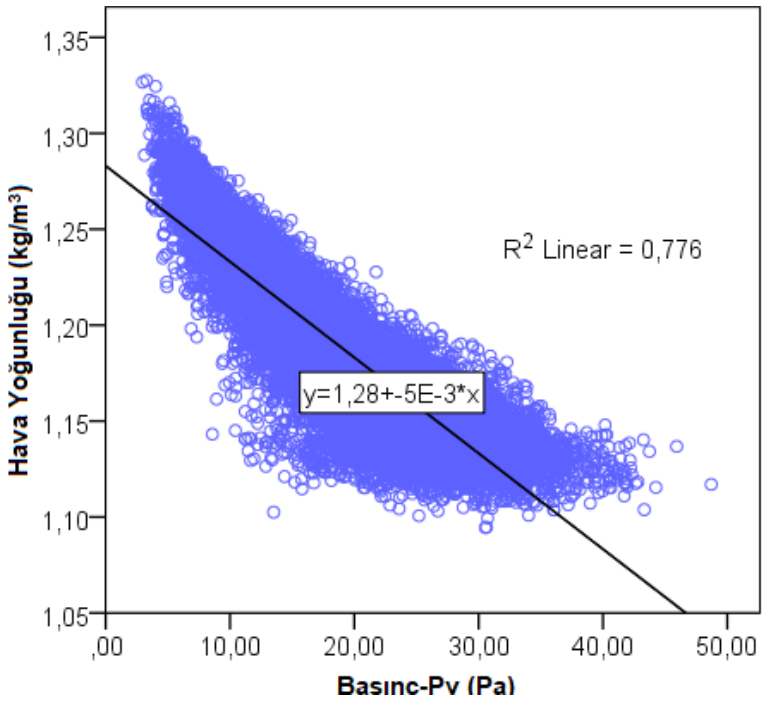
Bağımsız değişken Pv.

Çizelge 4.41.'e göre Pv değişkeninin regresyon katsayısı -0,005 ve standartlaştırılmış regresyon katsayısı -0.881 olarak rapor edilmiştir. Modeldeki sabit değer 1,283'dür. Burada Pv değerindeki bir birimlik artışın yoğunluğu -0,005 birim düşürdüğünü söyleyebiliriz. Yapılan analizlerde, Pv ve yoğunluk arasındaki belirlilik katsayısı değeri ($R^2$=0.776) olarak elde edilmiştir (Şekil 4.19). Bu değer Pv ve yoğunluk arasında doğrusal bir ilişki olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.41. Pv ve yoğunluk arasındaki regresyon analizi

**Katsayılar**

| | Standartlaşmamış Katsayılar | | Standart Katsayılar | t | p değeri |
|---|---|---|---|---|---|
| | B | Std. Hata | Beta | | |
| Pv | -,005 | ,000 | -,881 | -253,539 | ,000 |
| (Sabit) | 1,283 | ,000 | | 3262,034 | ,000 |




Şekil 4.19. Pv ve yoğunluk arasındaki ilişkiyi gösteren regresyon grafiği

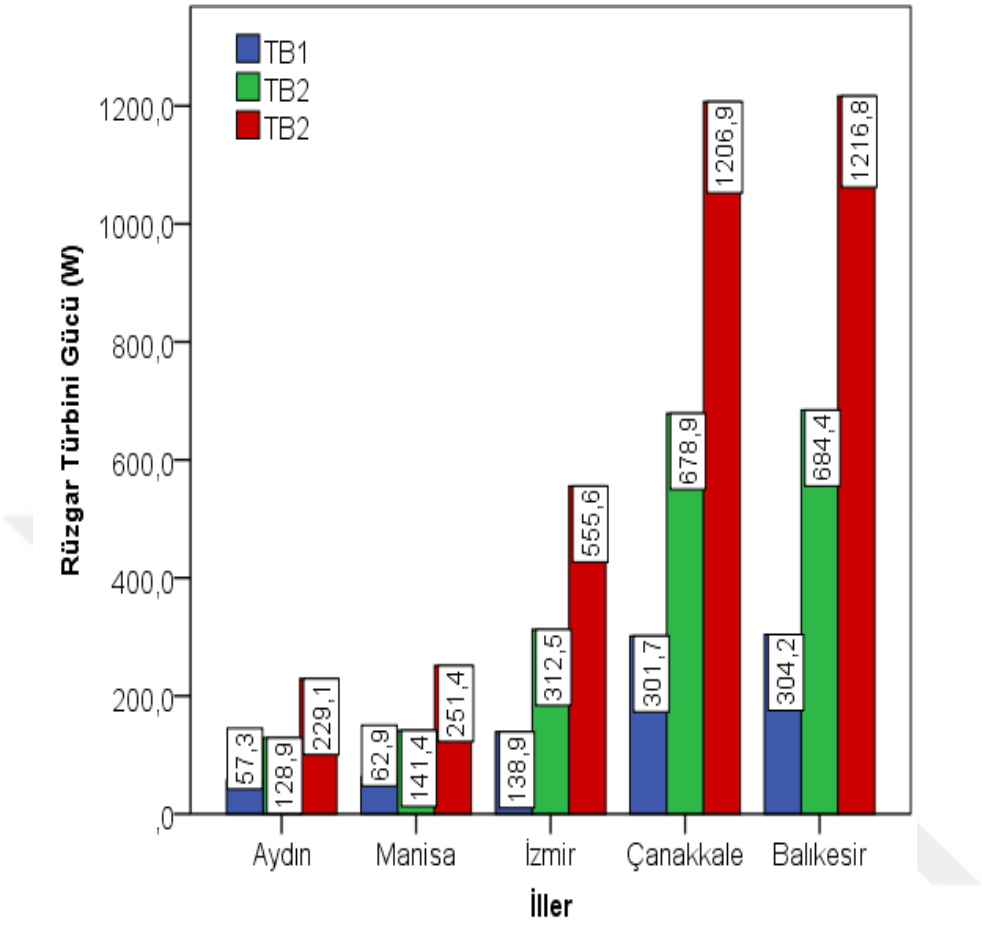
## 4.9. Rüzgâr Türbini Gücü Analizi

Tasarımı yapılan üç farklı türbin boyutları ile üretim gücü arasındaki ilişki illere ve yıllara göre istatistiksel (ANOVA) analizi yapılmıştır. Değişik rüzgâr hızlarında türbin boyutu, türbin rüzgâr gücü bakımından iller ve yıllar arasında istatistiki açıdan anlamlı fark tespit edilmiştir ($p<0.001$). Buna göre türbin gücünde türbin boyutlarının etkili olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.42-Çizelge 4.43) (Ek 7-Ek 8).

Çizelge 4.42. İllere göre rüzgâr türbini gücünün istatistiksel (ANOVA) analizi

| Yer | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Bağımlı Değişken | Yer | Ortalama | Std. Hata | %95 Güven Aralığı | |
| | | | | Alt Limit | Üst Limit |
| Güç1 | Aydın | 57,28 | 3,87 | 49,70 | 64,87 |
| | Manisa | 62,85 | 3,87 | 55,27 | 70,44 |
| | İzmir | 138,89 | 3,87 | 131,31 | 146,47 |
| | Çanakkale | 301,72 | 3,87 | 294,13 | 309,30 |
| | Balıkesir | 304,19 | 3,87 | 296,61 | 311,78 |
| Güç2 | Aydın | 128,89 | 8,71 | 111,82 | 145,95 |
| | Manisa | 141,42 | 8,71 | 124,35 | 158,48 |
| | İzmir | 312,50 | 8,71 | 295,44 | 329,56 |
| | Çanakkale | 678,87 | 8,71 | 661,80 | 695,93 |
| | Balıkesir | 684,43 | 8,71 | 667,37 | 701,50 |
| Güç3 | Aydın | 229,13 | 15,48 | 198,79 | 259,47 |
| | Manisa | 251,41 | 15,48 | 221,07 | 281,74 |
| | İzmir | 555,56 | 15,48 | 525,22 | 585,89 |
| | Çanakkale | 1206,87 | 15,48 | 1176,54 | 1237,21 |
| | Balıkesir | 1216,77 | 15,48 | 1186,44 | 1247,11 |

Şekil 4.20'de illere göre farklı rüzgâr türbini boyutunda rüzgâr türbini gücü (W) verilmiştir. Buna göre Çanakkale ve Balıkesir illerinde TB3 türbin boyutunda yaklaşık 1200 (W) değeri ile en yüksek iken Aydın ve Manisa illerinde yaklaşık 60 (W) değeri ile en düşük değeri almaktadır.




Şekil 4.20. İllere göre farklı rüzgâr türbini boyutunda rüzgâr türbini gücü (W)

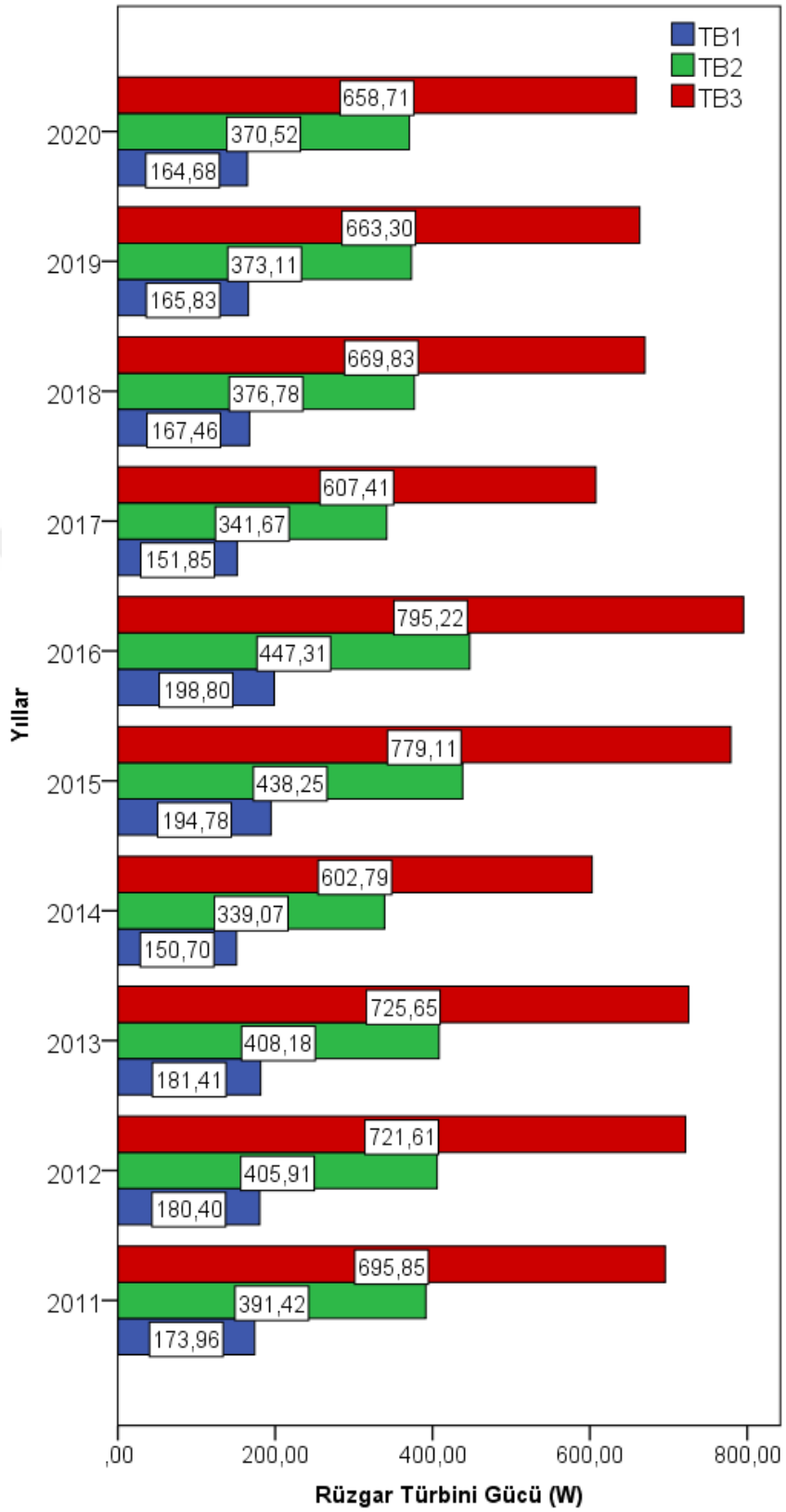
Çizelge 4.43. Yıllara göre rüzgâr türbini boyutlarının istatistiksel (ANOVA) analizi

| Yıl | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Bağımlı Değişken | Yıl | Ortalama | Std. Hata | %95 Güven Aralığı | |
| | | | | Alt Limit | Üst Limit |
| Güç1 | 2011 | 173,96 | 5,472 | 163,24 | 184,69 |
| | 2012 | 180,40 | 5,472 | 169,68 | 191,13 |
| | 2013 | 181,41 | 5,472 | 170,69 | 192,14 |
| | 2014 | 150,70 | 5,472 | 139,97 | 161,42 |
| | 2015 | 194,78 | 5,472 | 184,05 | 205,50 |
| | 2016 | 198,80 | 5,472 | 188,08 | 209,53 |
| | 2017 | 151,85 | 5,472 | 141,13 | 162,58 |
| | 2018 | 167,46 | 5,472 | 156,73 | 178,18 |
| | 2019 | 165,83 | 5,472 | 155,10 | 176,55 |
| | 2020 | 164,68 | 5,472 | 153,95 | 175,40 |

Çizelge 4.43. **(Devam)**

| Yıl | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Bağımlı Değişken | Yıl | Ortalama | Std. Hata | %95 Güven Aralığı | |
| | | | | Alt Limit | Üst Limit |
| Güç2 | 2011 | 391,42 | 12,311 | 367,29 | 415,55 |
| | 2012 | 405,91 | 12,311 | 381,78 | 430,04 |
| | 2013 | 408,18 | 12,311 | 384,05 | 432,31 |
| | 2014 | 339,07 | 12,311 | 314,94 | 363,20 |
| | 2015 | 438,25 | 12,311 | 414,12 | 462,38 |
| | 2016 | 447,31 | 12,311 | 423,18 | 471,44 |
| | 2017 | 341,67 | 12,311 | 317,54 | 365,80 |
| | 2018 | 376,78 | 12,311 | 352,65 | 400,91 |
| | 2019 | 373,11 | 12,311 | 348,98 | 397,24 |
| | 2020 | 370,52 | 12,311 | 346,39 | 394,66 |
| Güç3 | 2011 | 695,85 | 21,887 | 652,95 | 738,75 |
| | 2012 | 721,61 | 21,887 | 678,71 | 764,51 |
| | 2013 | 725,65 | 21,887 | 682,75 | 768,56 |
| | 2014 | 602,79 | 21,887 | 559,89 | 645,69 |
| | 2015 | 779,11 | 21,887 | 736,21 | 822,01 |
| | 2016 | 795,22 | 21,887 | 752,32 | 838,12 |
| | 2017 | 607,41 | 21,887 | 564,51 | 650,31 |
| | 2018 | 669,83 | 21,887 | 626,93 | 712,73 |
| | 2019 | 663,30 | 21,887 | 620,40 | 706,20 |
| | 2020 | 658,71 | 21,887 | 615,81 | 701,61 |

Şekil 4.21.'de yıllara göre farklı rüzgâr türbini boyutunda rüzgâr türbini gücü (W) verilmiştir. Buna göre TB1 türbin boyutu 2016 yılında yaklaşık 198 (W) değeri ile en yüksek iken 2017 yılında yaklaşık 151 (W) değeri ile en düşük değeri almaktadır. TB2 türbin boyutu 2016 yılında yaklaşık 447 (W) değeri ile en yüksek iken 2014 yılında yaklaşık 339 (W) değeri ile en düşük değeri almaktadır. TB3 türbin boyutunda ise 2016 yılında yaklaşık 800 (W) değeri ile en yüksek iken 2017 yılında yaklaşık 600 (W) değeri ile en düşük değeri almaktadır.




Şekil 4.21. Yıllara göre farklı rüzgâr türbini boyutunda rüzgâr türbini gücü (W)

### 4.9.1. Rüzgâr türbini gücü regresyon modeli

#### 4.9.1.1. TB1 ile rüzgâr hızı arasındaki ilişki

Rüzgâr hızının TB1 türbininin üzerindeki etkisini analiz ettiğimizde rüzgâr hızı ve TB1 arasındaki doğrusal korelasyon katsayısının değeri R=0,869, belirlilik katsayısı $R^2$=0,756 bulunmuştur. Buna göre TB1 değişkenindeki varyasyonun %75,6'sinin rüzgâr hızı değişkeninden kaynaklandığı söylenebilir (Çizelge 4.44.).

Çizelge 4.44. Rüzgâr türbini boyutlarının (TB1) regresyon analizi

| Model Özeti | | | |
|---|---|---|---|
| R | R Kare | Düzeltilmiş R Kare | Std. Tahmin Hatası |
| ,869 | ,756 | ,756 | 128,898 |
| Bağımsız değişken Hız. | | | |

Çizelge 4.45'e göre F değeri ve p değerine bakarak bu regresyon analizinin anlamlı olduğu tespit edilmiştir (p<0.001). Rüzgâr hızı değişkeni TB1 değişkeninin anlamlı bir tahmin edicisidir.

Çizelge 4.45. Rüzgâr türbini boyutlarının (TB1) istatistiksel (ANOVA) analizi

**ANOVA**

| | Kareler Toplamı | Sd | Kareler Ortalaması | F | p değeri |
|---|---|---|---|---|---|
| Regresyon | 955.275.027,68 | 1 | 955.275.027,68 | 57.496,03 | 0 |
| Hata | 308.899.127,59 | 18.592 | 16.614,63 | | |
| Genel | 1.264.174.155,27 | 18.593 | | | |

Bağımsız değişken Hız.

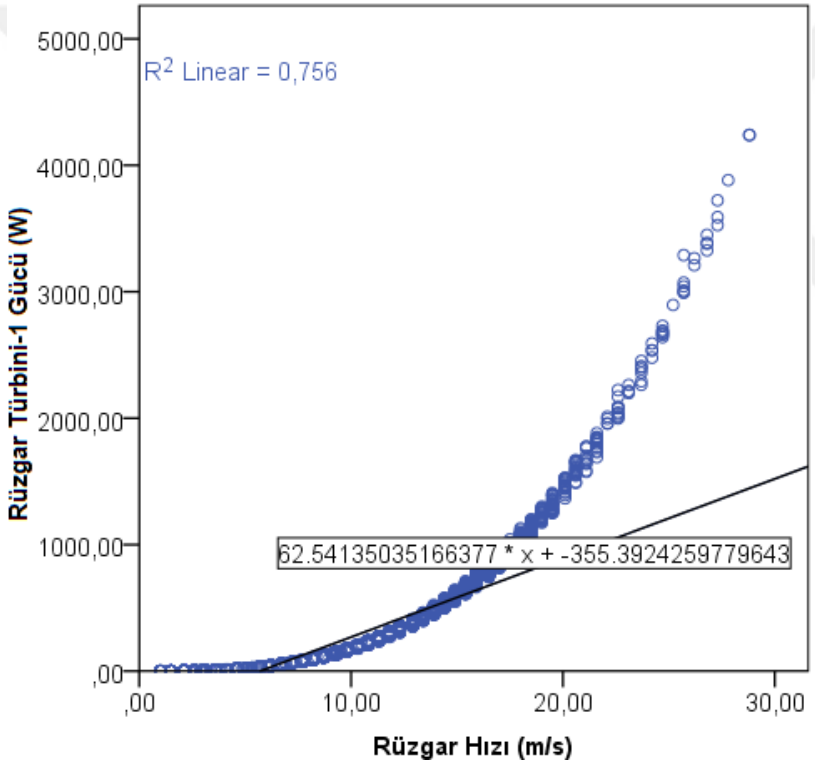
Çizelge 4.46'ya göre rüzgâr hızı değişkeninin regresyon katsayısı 62,541 ve standartlaştırılmış regresyon katsayısı 0.869 olarak rapor edilmiştir. Modeldeki sabit değer -355,392'dir. Burada rüzgâr hızı değerindeki bir birimlik artışın TB1'in gücünü 62,541 birim arttırdığını söyleyebiliriz. Yapılan analizlerde, rüzgâr hızı ve TB1 arasındaki belirlilik katsayısı değeri $R^2$=0.756 olarak elde edilmiştir (Şekil 4.22). Bu

değer rüzgâr hızı ve TB1 arasında doğrusal olmayan bir ilişki olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.46. Rüzgâr türbini boyutları (TB1) ve rüzgâr hızı arasında istatistiksel (ANOVA) analizi

**Katsayılar**

| | Standartlanmamış Katsayılar | | Standart Katsayılar | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | B | Std. Hata | Beta | t | p değeri |
| Hız | 62,541 | ,261 | ,869 | 239,783 | ,000 |
| (Sabit) | -355,392 | 2,398 | | -148,205 | ,000 |




Şekil 4.22. T1 ve rüzgâr hızı arasındaki ilişkiyi gösteren regresyon grafiği

### 4.9.1.2. TB2 ile rüzgâr hızı arasındaki ilişki

Rüzgâr hızının TB2 türbininin üzerindeki etkisini analiz ettiğimizde rüzgâr hızı ve TB2 arasındaki doğrusal korelasyon katsayısının değeri R=0,869, belirlilik katsayısı $R^2$=0,756 bulunmuştur. Buna göre TB2 değişkenindeki varyasyonun %75,6'sinin rüzgâr hızı değişkeninden kaynaklandığı söylenebilir (Çizelge 4.47.).

Çizelge 4.47. Rüzgâr türbini boyutlarının (TB2) regresyon analizi

**Model Özeti**

| R | R Kare | Düzeltilmiş R Kare | Std. Tahmin Hatası |
|---|---|---|---|
| ,869 | ,756 | ,756 | 290,020 |

Bağımsız değişken Hız.

Çizelge 4.48'e göre F değeri ve p değerine bakarak bu regresyon analizinin anlamlı olduğu tespit edilmiştir ($p<0.001$). Rüzgâr hızı değişkeni TB2 değişkeninin anlamlı bir tahmin edicisidir.

Çizelge 4.48. Rüzgâr türbini boyutlarının (TB2) istatistiksel (ANOVA) analizi

**ANOVA**

| | Kareler Toplamı | Sd | Kareler Ortalaması | F | p değeri |
|---|---|---|---|---|---|
| Regresyon | 4.836.079.868,64 | 1 | 4.836.079.868,64 | 57.496,03 | 0 |
| Hata | 1.563.801.927,73 | 18.592 | 84.111,55 | | |
| Genel | 6.399.881.796,37 | 18.593 | | | |

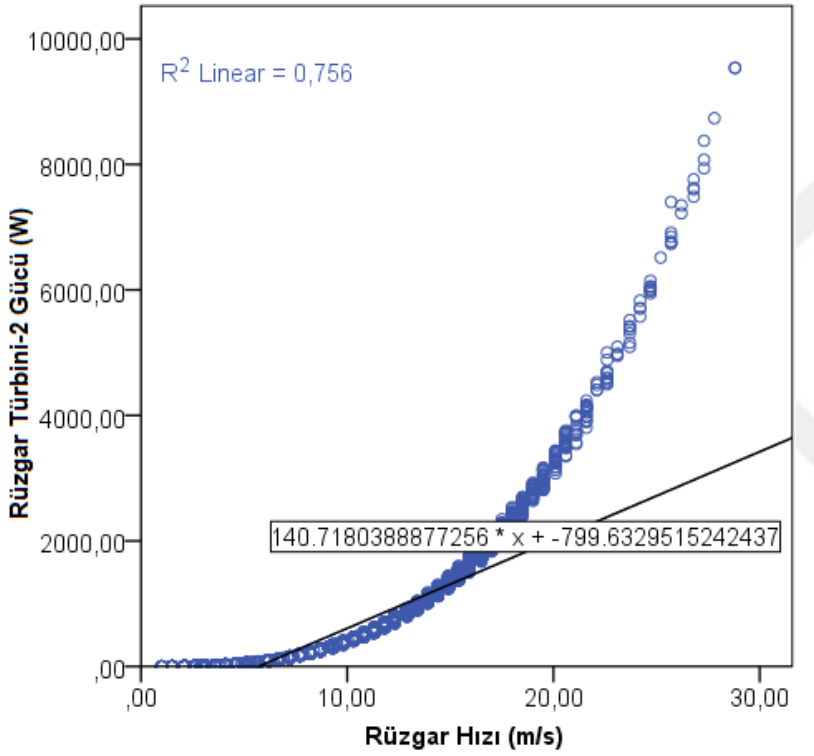
Bağımsız değişken Hız.

Çizelge 4.49'a göre rüzgâr hızı değişkeninin regresyon katsayısı 140,718 ve standartlaştırılmış regresyon katsayısı 0.869 olarak rapor edilmiştir. Modeldeki sabit değer -799,633'dür. Burada rüzgâr hızı değerindeki bir birimlik artışın TB2'nin gücünü 140,718 birim arttırdığını söyleyebiliriz. Yapılan analizlerde, rüzgâr hızı ve TB2 arasındaki belirlilik katsayısı değeri $R^2$=0.756 olarak elde edilmiştir (Şekil 4.23). Bu değer rüzgâr hızı ve TB2 arasında doğrusal olmayan bir ilişki olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.49. Rüzgâr türbini boyutları (TB2) ve rüzgâr hızı arasında istatistiksel (ANOVA) analizi

**Katsayılar**

| | Standartlanmamış Katsayılar | | Standart Katsayılar | t | p değeri |
|---|---|---|---|---|---|
| | B | Std. Hata | Beta | | |
| Hız | 140,718 | ,587 | ,869 | 239,783 | ,000 |
| (Sabit) | -799,633 | 5,395 | | -148,205 | ,000 |




Şekil 4.23. T2 ve rüzgâr hızı arasındaki ilişkiyi gösteren regresyon grafiği

### 4.9.1.3. TB3 ile Rüzgâr Hızı Arasındaki İlişki

Rüzgâr hızının TB3 türbininin üzerindeki etkisini analiz ettiğimizde rüzgâr hızı ve TB3 arasındaki doğrusal korelasyon katsayısının değeri R=0,869, belirlilik katsayısı $R^2$=0,756 bulunmuştur. Buna göre TB3 değişkenindeki varyasyonun %75,6'sinin rüzgâr hızı değişkeninden kaynaklandığı söylenebilir (Çizelge 4.50.).

Çizelge 4.50. Rüzgâr türbini boyutlarının (TB3) regresyon analizi

**Model Özeti**

| R | R Kare | Düzeltilmiş R Kare | Std. Tahmin Hatası |
|---|---|---|---|
| ,869 | ,756 | ,756 | 515,591 |

Bağımsız değişken Hız.

Çizelge 4.51'e göre F değeri ve p değerine bakarak bu regresyon analizinin anlamlı olduğu tespit edilmiştir ($p<0.001$). Rüzgâr hızı değişkeni TB3 değişkeninin anlamlı bir tahmin edicisidir.

Çizelge 4.51. Rüzgâr türbini boyutlarının (TB3) istatistiksel (ANOVA) analizi

**ANOVA**

| | Kareler Toplamı | Sd | Kareler Ortalaması | F | p değeri |
|---|---|---|---|---|---|
| Regresyon | 15.284.400.395,91 | 1 | 15.284.400.395,91 | 57.496,03 | 0 |
| Hata | 4.942.386.046,45 | 18.592 | 265.834,02 | | |
| Genel | 20.226.786.442,36 | 18.593 | | | |

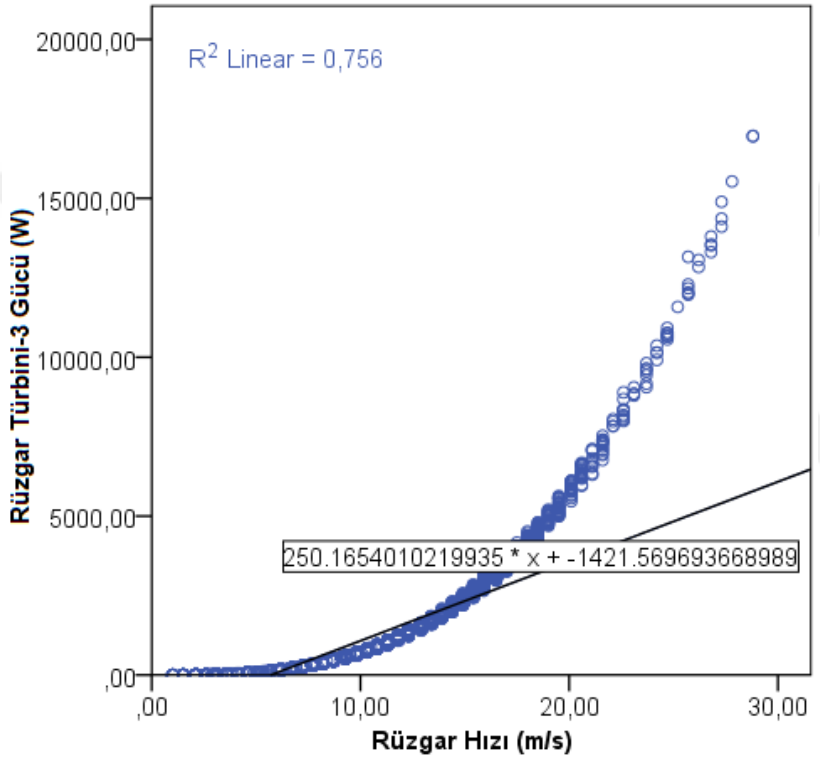
Bağımsız değişken Hız.

Çizelge 4.52'ye göre rüzgâr hızı değişkeninin regresyon katsayısı 250,165 ve standartlaştırılmış regresyon katsayısı 0.869 olarak rapor edilmiştir. Modeldeki sabit değer -1421,570'dir. Burada rüzgâr hızı değerindeki bir birimlik artışın TB3'ün gücünü 250,165 birim arttırdığını söyleyebiliriz. Yapılan analizlerde, rüzgâr hızı ve TB3 arasındaki belirlilik katsayısı değeri $R^2$=0.756 olarak elde edilmiştir (Şekil 4.24). Bu değer rüzgâr hızı ve TB3 arasında doğrusal olmayan bir ilişki olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.52. Rüzgâr türbini boyutları (TB3) ve rüzgâr hızı arasında istatistiksel (ANOVA) analizi

**Katsayılar**

| | Standartlanmamış Katsayılar | | Standart Katsayılar | t | p değeri |
|---|---|---|---|---|---|
| | B | Std. Hata | Beta | | |
| Hız | 250,165 | 1,043 | ,869 | 239,783 | ,000 |
| (Sabit) | -1.421,570 | 9,592 | | -148,205 | ,000 |




Şekil 4.24. T3 ve rüzgâr hızı arasındaki ilişkiyi gösteren regresyon grafiği

## 4.10. Rüzgâr Potansiyel İndeksinin Belirlenmesi

Analizleri yapılmış olan 5 ile ait rüzgâr türbini yıllık gücü (kWh) değerleri ile K ortalamalar kümeleme yöntemi uygulanmıştır. 5 küme ve bu kümelerin sınırlarını oluşturan rüzgâr potansiyel indeksi aralıkları belirlenmiştir (Çizelge 4.53).

Çizelge 4.53. K ortalamalar kümeleme yöntemi ile belirlenen rüzgâr potansiyel indeksi

| Bağımlı Değişken | Rüzgâr Türbini Yıllık Gücü Potansiyel İndeksi Aralığı | Rüzgâr Türbini Yıllık Gücü Potansiyeli |
|---|---|---|
| Kurulu Güç (kWh) | < 733,25 | Çok Düşük |
| | 733,25-4081,74 | Düşük |
| | 4081,74-9876,51 | Orta |
| | 9876,51-23984,58 | Yüksek |
| | >23984,58 | Çok Yüksek |

Çizelge 4.54. Aydın, Manisa, İzmir, Çanakkale, Balıkesir ilerinin yıllık bazda türbin boyutlarına göre enerji üretim potansiyeli

| Yer | Yıl | TB1-Yıllık Enerji Üretimi (kWh) | | TB2-Yıllık Enerji Üretimi (kWh) | | TB3-Yıllık Enerji Üretimi (kWh) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Aydın | 2011 | 549,39 | Çok Düşük | 1236,12 | Düşük | 2197,55 | Düşük |
| | 2012 | 576,57 | Çok Düşük | 1297,28 | Düşük | 2306,28 | Düşük |
| | 2013 | 657,34 | Çok Düşük | 1479,03 | Düşük | 2629,38 | Düşük |
| | 2014 | 577,79 | Çok Düşük | 1300,04 | Düşük | 2311,19 | Düşük |
| | 2015 | 547,46 | Çok Düşük | 1231,78 | Düşük | 2189,83 | Düşük |
| | 2016 | 551,64 | Çok Düşük | 1241,20 | Düşük | 2206,58 | Düşük |
| | 2017 | 404,21 | Çok Düşük | 909,47 | Düşük | 1616,83 | Düşük |
| | 2018 | 406,53 | Çok Düşük | 914,68 | Düşük | 1626,10 | Düşük |
| | 2019 | 425,52 | Çok Düşük | 957,42 | Düşük | 1702,08 | Düşük |
| | 2020 | 321,48 | Çok Düşük | 723,33 | Düşük | 1285,91 | Düşük |
| | Total | 501,79 | Çok Düşük | 1129,03 | Düşük | 2007,17 | Düşük |
| Manisa | 2011 | 583,50 | Çok Düşük | 1312,87 | Düşük | 2333,99 | Düşük |
| | 2012 | 597,86 | Çok Düşük | 1345,19 | Düşük | 2391,45 | Düşük |
| | 2013 | 676,42 | Çok Düşük | 1521,95 | Düşük | 2705,69 | Düşük |
| | 2014 | 516,85 | Çok Düşük | 1162,92 | Düşük | 2067,41 | Düşük |
| | 2015 | 671,81 | Çok Düşük | 1511,57 | Düşük | 2687,24 | Düşük |
| | 2016 | 721,41 | Çok Düşük | 1623,17 | Düşük | 2885,63 | Düşük |
| | 2017 | 462,67 | Çok Düşük | 1041,02 | Düşük | 1850,69 | Düşük |
| | 2018 | 502,95 | Çok Düşük | 1131,63 | Düşük | 2011,79 | Düşük |
| | 2019 | 396,22 | Çok Düşük | 891,50 | Düşük | 1584,88 | Düşük |
| | 2020 | 376,15 | Çok Düşük | 846,34 | Düşük | 1504,61 | Düşük |
| | Total | 550,59 | Çok Düşük | 1238,82 | Düşük | 2202,34 | Düşük |

Çizelge 4.54. **(Devam)**

| Yer | Yıl | TB1-Yıllık Enerji Üretimi (kWh) | | TB2-Yıllık Enerji Üretimi (kWh) | | TB3-Yıllık Enerji Üretimi (kWh) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| İzmir | 2011 | 1210,73 | Düşük | 2724,14 | Düşük | 4842,91 | Orta |
| | 2012 | 1267,01 | Düşük | 2850,77 | Düşük | 5068,04 | Orta |
| | 2013 | 1460,52 | Düşük | 3286,17 | Düşük | 5842,07 | Orta |
| | 2014 | 1144,14 | Düşük | 2574,32 | Düşük | 4576,57 | Orta |
| | 2015 | 1346,73 | Düşük | 3030,14 | Düşük | 5386,92 | Orta |
| | 2016 | 1407,97 | Düşük | 3167,92 | Düşük | 5631,86 | Orta |
| | 2017 | 1024,09 | Düşük | 2304,20 | Düşük | 4096,35 | Orta |
| | 2018 | 1138,38 | Düşük | 2561,34 | Düşük | 4553,50 | Orta |
| | 2019 | 1132,70 | Düşük | 2548,57 | Düşük | 4530,78 | Orta |
| | 2020 | 1034,45 | Düşük | 2327,51 | Düşük | 4137,79 | Orta |
| | Total | 1216,67 | Düşük | 2737,51 | Düşük | 4866,68 | Orta |
| Çanakkale | 2011 | 2650,74 | Düşük | 5964,17 | Orta | 10602,96 | Yüksek |
| | 2012 | 2803,11 | Düşük | 6306,99 | Orta | 11212,42 | Yüksek |
| | 2013 | 2777,45 | Düşük | 6249,26 | Orta | 11109,80 | Yüksek |
| | 2014 | 2266,82 | Düşük | 5100,35 | Orta | 9067,28 | Yüksek |
| | 2015 | 3165,09 | Düşük | 7121,45 | Orta | 12660,35 | Yüksek |
| | 2016 | 3191,94 | Düşük | 7181,86 | Orta | 12767,75 | Yüksek |
| | 2017 | 2249,50 | Düşük | 5061,38 | Orta | 8998,01 | Yüksek |
| | 2018 | 2469,61 | Düşük | 5556,62 | Orta | 9878,43 | Yüksek |
| | 2019 | 2407,97 | Düşük | 5417,94 | Orta | 9631,89 | Yüksek |
| | 2020 | 2448,29 | Düşük | 5508,65 | Orta | 9793,17 | Yüksek |
| | Total | 2643,05 | Düşük | 5946,87 | Orta | 10572,21 | Yüksek |
| Balıkesir | 2011 | 2625,23 | Düşük | 5906,76 | Orta | 10500,91 | Yüksek |
| | 2012 | 2657,11 | Düşük | 5978,49 | Orta | 10628,43 | Yüksek |
| | 2013 | 2374,18 | Düşük | 5341,91 | Orta | 9496,72 | Yüksek |
| | 2014 | 2094,89 | Düşük | 4713,51 | Orta | 8379,57 | Yüksek |
| | 2015 | 2800,18 | Düşük | 6300,39 | Orta | 11200,70 | Yüksek |
| | 2016 | 2834,67 | Düşük | 6378,00 | Orta | 11338,67 | Yüksek |
| | 2017 | 2510,66 | Düşük | 5649,00 | Orta | 10042,66 | Yüksek |
| | 2018 | 2817,14 | Düşük | 6338,58 | Orta | 11268,58 | Yüksek |
| | 2019 | 2900,73 | Düşük | 6526,64 | Orta | 11602,92 | Yüksek |
| | 2020 | 3032,51 | Düşük | 6823,14 | Orta | 12130,02 | Yüksek |
| | Total | 2664,73 | Düşük | 5995,64 | Orta | 10658,92 | Yüksek |

Aydın ve Manisa illerinde TB1 boyutundaki rüzgâr türbini ile yıllık enerji üretimi 500-550 kWh ile rüzgâr potansiyel indeksi çok düşük olduğu tespit edilmiştir. Çok düşük olmasına rağmen bu illerde çevre aydınlatma sistemleri için 6 LED lamba (40W x 6 adet x 6 saat x 365 gün) yıllık enerji tüketimi 525 kWh'ı karışılabilecek kapasite olmaktadır.

# 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Günümüzde yeryüzünü daha yaşanabilir hale getirmek ve enerjide dışa bağımlılığı olabildiğince azaltmak amacı ile yapılan çalışmalar büyük önem taşımaktadır. Bu çalışma, GES radyasyon değerleri (kWh/$m^2$.gün), güneşlenme süresi (sa), RES kurulu güç (MW) ve RES toplam alana ($km^2$) bakarak Türkiye'de 81 ilde GES ve RES yatırımları yapılacağı zaman ihtiyaç duyulan; bölgenin enerji potansiyelinin tespit edilmesi, uygun panelin seçimi, rüzgâr türbininin seçimi, performans öngörüsü, verimliliğin arttırılıp, maliyetlerin azaltılmasına destek sağlayacaktır. Aynı zamanda yapılacak yatırımlar için ilk tahmin edici olarak kullanılabilecek haritalar hazırlanmış ve bazı yöntemler geliştirilmiştir.

Çalışma kapsamında öncelikle ülkemizin 81 iline ait güneş enerjisi veriler ve rüzgâr enerjisi verileri kullanılarak GES ve RES yatırım haritaları yapılmıştır. Bu değerler ve K ortalamalar kümeleme yöntemi kullanılarak rüzgâr enerjisi değişkenleri ve güneş enerjisi değişkenleri için 5'er küme değeri tanımlanmış, bununla birlikte rüzgâr potansiyel indeksi ve güneş potansiyel indeksi belirlenmiştir. Elde edilen haritalarda toplam alanda ve toplam rüzgâr kurulu güçte en yüksek olan illerden İzmir, Aydın, Manisa, Balıkesir ve Çanakkale illeri belirlenmiş, sonrasında Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan bu 5 ile ait güneş ve rüzgâr ile ilgili (güneşlenme süresi, radyasyon değerleri, rüzgâr hızı, nem, sıcaklık ve basınç) günlük ve 10 yıllık verileri doğrultusunda analizler yapılmıştır.

Sıcaklık, nem, hava basıncı (Pd), hava basıncı (Pv), hava yoğunluğu ve rüzgâr hızı değerleri bakımından iller ve yıllar arasında istatistiksel ANOVA analizi yapılmıştır. Bunun sonucunda iller ve yıllar arasında sıcaklık, nem, hava basıncı (Pd), hava basıncı (Pv), hava yoğunluğu ve rüzgâr hızı değerlerinin etkili olduğu görülmüştür. Sonrasında yapılan regresyon analizi ile değişkenlerin birbiriyle olan ilişkisi bir başka değişle değişkenlerin birbirleri üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Bu analiz sonucunda yoğunluğun bağımlı değişken olduğu belirlenmiş ve sıcaklık, nem, hava basıncı (Pd), hava basıncı (Pv) ve rüzgâr hızı değişkenlerinin de yoğunluk değişkeninin anlamlı bir tahmin edicisi olduğu tespit edilmiştir.

Tasarımı yapılan üç kanatlı helezonik yapılı manyetik alan destekli türbinin 1-25 m/s rüzgâr hızında üretim gücüne göre TB1-TB2-TB3 türbin boyutları için ANOVA analizi yapılmıştır. Analiz sonucuna göre türbin boyutu artarken üretim gücünün de artığı saptanmıştır. Farklı rüzgâr hızlarında türbin boyutu açısından istatistiksel olarak anlamlı fark olduğu belirlenmiştir.

Aynı zamanda Aydın, Manisa, İzmir, Çanakkale, Balıkesir ilerinin yıllık bazda türbin boyutlarına göre enerji üretim potansiyeli analiz edilmiş, Aydın ve Manisa illerinde TB1 boyutundaki rüzgâr türbini ile yıllık enerji üretimi rüzgâr potansiyel indeksi çok düşük olduğu tespit edilmiştir. Çok düşük olmasına rağmen bu illerde çevre aydınlatma sistemleri için 6 led lamba yıllık enerji tüketimi 525 kWh'ı karışılabilecek kapasite olmaktadır.

Tasarlanan rüzgâr türbininin hedefi sokaklarda kullanılabileceği için bölgede yaşayan insanlara yararlı olması ve farklı açılardan hayatlarını kolaylaştırmasıdır. Bu sistem sokak lambalarında, tanıtım tabelalarında, parklarda, bahçelerde, trafik lambalarında, karayollarında aydınlatma amacı ile kullanılabilir. Akıllı şehirlerde en iyi türbin seçimi programı vasıtasıyla ise enerji projeleri yatırımlarında yapılan yanlışlıkların (hatalı ölçümler ve hatalı hesaplamalar) önlenmesi niteliğinde bir çalışma olmuştur.

## KAYNAKLAR


AKPINAR, E. K., and AKPINAR, S., 2004. Statistical analysis of wind energy potential on the basis of the Weibull and Rayleigh distributions for Agin-Elazig, Turkey. Proceedings of The Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power And Energy, 218(8): 557-565.

ASLAN, N., ve YAMAK, T., 2006. Türkiye'nin enerji sorununun alternatif enerji kaynakları açısından değerlendirilmesi. Marmara Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 21(1): 53-76.

ARSLAN, O., 2010. Technoeconomic analysis of electricity generation from wind energy in Kutahya, Turkey. Energy, 35(1): 120-131.

BANOS, R., MANZANO-AGUGLIARO, F., MONTOYA, F. G., GIL, C., ALCAYDE, A., and GÓMEZ, J., 2011. Optimization methods applied to renewable and sustainable energy: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15(4): 1753-1766.

BİNGÖL, F., 2018. Rüzgâr enerji sistemleri için hava yoğunluğunun hesaplanması. Politeknik Dergisi, 21(2): 273-281.

BOYLE, G., 2004. Renewable energy. Renewable Energy, by Edited by Godfrey Boyle, pp. 456. Oxford University Press, May 2004. ISBN-10: 0199261784. ISBN-13: 9780199261789, 456.

BURCHELL, J. W., 2018. Advancement of Direct Drive Generator Systems for Offshore Renewable Energy Production. The University of Edinburgh, Edinburgh, 277s.

CHARRON, R., and ATHIENITIS, A., 2006. Design and Optimization of Net Zero Energy Solar Homes. ASHRAE transactions, 112(2): 285-295.

ÇUN, K.A., 2020. A Review on Development of Renewable Energy Sector In Turkey In Light of Public Policies and Evaluation of Yekdem Mechanism Effectiveness. Bahçeşehir Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 89s.

ČEŘOVSKÝ, Z., MINDL, P., 2008. Hybrid Electric Cars, Combustion Engine Driven Cars and Their Impact on Environment. SPEEDAM 2008 International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion, 11-13 June, Ischia, s.739 – 743.

DALKIR, Ö. ve ŞEŞEN, E., 2011. Çevre ve Temiz Enerji: Hidroelektrik. Çevre ve Orman Bakanlığı. Devlet Su Işleri Genel Müdürlüğü, Ankara. Erişim Linki: http://www. ybtenerji. com/uploads/9/7/5/9/9759145/cevre_temiz_enerji. pdf. Erişim Tarihi, 2020.

DURAK, M. ve ÖZER, S., 2007. Rüzgâr Enerjisi: Teori ve Uygulama. Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği Yayını, 543.

ELEKTRİK PİYASASI YILLIK SEKTÖR RAPORU, 2019. Erişim Linki: https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-24-3/elektrikyillik-sektor-raporu. Erişim Tarihi, 2019.

ELİBÜYÜK, U., ve ÜÇGÜL, İ., 2014. Rüzgâr Türbinleri, Çeşitleri ve Rüzgâr Enerjisi Depolama Yöntemleri. Süleyman Demirel Üniversitesi Yekarum e-Dergi, 2(3): 1-14.

EVERETT, R., BOYLE, G., PEAKE, S., and RAMAGE, J., 2012. Energy Systems And Sustainability: Power For A Sustainable Future. Oxford Univerity Press, . New York, 342s.

FOSTER, R., GHASSEMI, M., and COTA, A., 2009. Solar Energy: Renewable Energy and The Environment. CRC press, U.S.A, 151.

FRIDLEIFSSON, I. B., 2001. Geothermal Energy for The Benefit Of The People. Renewable And Sustainable Energy Reviews, 5(3): 299-312.

GİPE P., 2003. Wind Energy Basics, Chelsea Gren Publishing Company, Vermont, USA.

LEE, J., and ZHAO, F., 2021. Global Wind Energy Report, Gwec. Lemonbox, Brussels-Belgium, 80.

HAU, E., 1996. Windkraftanlagen Windmühlen und Windräder. Springer, Berlin, 22s.

HEİER, S., 1996. Windkraftanlagen im Netzbetrieb Nutzung der Windenergie. Springer, Stuttgart, 369s.

HUBERT, L. 1974. Approximate Evaluation Techniques for the Single-Link and Complete-Link Hierarchial Clustering Procedures. Journal of the American Statistical Association, 69: 698-704.

RENEWABLE CAPACİTY HİGHLİGHTS, IRENA, 2021. https://www. irena. org / publications /2021/Aug/Renewable-energy-statistics-2021 Erişim Tarihi, 10.08.2021.

İNCECİK, S., and ERDOĞMUŞ, F., 1995. An İnvestigation Of The Wind Power Potential on The Western Coast Of Anatolia. Renewable Energy, 6(7): 863-865.

KARATEPE, S., 2011. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Rüzgâr ile Üretilen Enerjinin Ekonomik Değerinin Markov Zinciri İle Modellenmesi ve Yalova İlinde Bir Uygulama. Uludağ Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bursa, 163s.

KAVUN, E., 2018. Türkiyede Rüzgâr Enerji Potansiyelinin Belirlenmesine Yönelik Çalışmaların İncelenmesi, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 88s.

KEY WORLD ENERGY STATISTIS, 2020. Erişim Linki: https://www.iea.org/reports/key-world-energy-statistics-2020 Erişim Tarihi: 15.08.2021

KONYALI, İ., 2019. Türkiye İçin Mevcut Enerji Üretimine Alternatif Yenilenebilir ve Sürdürülebilir Enerji Kaynaklarının Seçimi, Hacettepe Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 133s.

MAKWANA, A. H., PITRODA, J. R., and BELANI, D. R., 2016. A Study on Various Parameters for Renewable Energy Resources Adoption Using the ANOVA test Through SPSS. In International Conference on:" Engineering, Issues, opportunities and Challenges for Development, 09 March, Umrakh, s.114-127.

MAVİ KİTAP, 2011. Enerji Tabii ve Kaynaklar Bakanlığı ile Bağlı ve İlgili Kuruluşlarının Amaç ve Faaliyetleri, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Ankara. http://www.enerji.gov.tr/yayinlar_raporlar/Mavi_Kitap_2011.pdf , Erişim Tarihi : 20.07.2020

MMO, 2012. Türkiye'nin Enerji Görünümü Yayın No: MMO/588. MRK Baskı ve Tanıtım Hizmetleri Tic. Ltd. Şti., Ankara Yayın No: MMO/588, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Ankara, 241s.

NURBAY, N., ve ÇINAR, A., 2005. Rüzgâr Türbinlerinin Çeşitleri ve Birbirleriyle Karşılaştırılması. III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Ankara, s.19-21.

OHTA, T., 2013. Solar-Hydrogen Energy Systems: An Authoritative Review Of Water-Splitting Systems by Solar Beam And Solar Heat: Hydrogen Production, Storage and Utilisation. Pergamon, Japan, 151s.

ORAL, F., 2020. Bitlis İlinin Rüzgâr Enerjisi Potansiyelinin İstatistiksel Analizi. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 11(2): 671-678.

ÖZAY, C., and ÇELİKTAŞ M., 2016. Statistical Analysis of Wind Speed Using Two-Parameter Weibull Distribution in Alaçatı Region. Energy Conversion and Management, 121: 49-54.

ÖZDAMAR, A., 2000. Dünya ve Türkiye'de Rüzgâr Enerjisinden Yararlanılması Üzerine Bir Araştırma. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 6(2): 133-145.

ÖZGÖÇMEN, A., 2007. Güneş pilleri kullanarak elektrik üretimi, Gazi Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, s.96.

ÖZSOY, İ., ve SOMER, H., 2013. Afyonkarahisar'daki İşletmeler Gücünü Güneş Enerjisinden Alıyor Projesi100 kWp, 50 kWp, 25 kWp, Güçlerde Güneş Enerjisinden Elektrik Enerjisi Üretimi Sistemi Fizibilite Raporları.

PICARD, A., DAVIS, R. S., GLÄSER, M., and FUJII, K., 2008. Revised Formula for The Density of Moist Air (CIPM-2007). Metrologia, 45(2): 149-155.

POGSON, M., HASTINGS, and A., SMITH, P., 2013. How Does Bioenergy Compare With Other Land-Based Renewable Energy Sources Globally?. GCB Bioenergy, 5(5): 513-524.

SARIIŞIK, G., ÖZDEMİR, A. ve ALP, H., 2019. 3. Rüzgar Türbinli ve Güneş Panelli Hibrit Akıllı Çevre Aydınlatma Sistemleri Tasarımları. 3.Uluslararası GAP Matematik-Mühendislik-Fen ve Sağlık Bilimleri Kongresi, 29 Kasım-1 Aralık, Şanlıurfa, s.161-169.

SARIIŞIK, G., ÖZDEMİR, A., KAYA, G. ve ALP, H., 2019. Türkiye'de Güneş ve Rüzgar Enerjisi Potansiyeli İndeksinin İstatiksel Analizle Belirlenmesi. 3. Uluslararası GAP Matematik-Mühendislik-Fen ve Sağlık Bilimleri Kongresi, 29 Kasım-1 Aralık, Şanlıurfa, s.170-178.

SELEKOĞLU, M., 2012. Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimine Genel Bir Bakış ve Uygulama. Enerji Mühendisliği ve Enerji Yönetimi Danışmanlığı. http://www.mahmutselekoglu.com.tr/gunes-enerjisindenelektrikuretimine-genel-bir-bakis-ve-bir-uyg.html. Erişim Tarihi: 23.07.2020

SIMMONS, D.M. 1975. Wind Power, London.

ŞAHİN, A., 1994. Rüzgar Enerjisi Hesaplamalarında Geliştirilmiş Bir Yöntem, İTÜ, Türkiye.

ŞEN, Z., 2004. Solar Energy in Progress and Future Research Trends. Progress in Energy and Combustion Science, 30(4): 367-416.

ŞENEL, M. C., 2012. Rüzgâr Türbinlerinde Güç İletim Mekanizmalarının Tasarım Esasları-Dinamik Davranış. Samsun Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Samsun, 202s.

TALAYOĞLU, S., 2010. Denizli İlinin Tavas İlçesine Ait Rüzgâr Enerjisi Potansiyelinin Hesaplanması ve Ekonomik Analiz. İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 105s.

TECHNICAL UNIVERSITY OF DENMARK, 2014. WAsP, Help Documents, version 11 edition, (2014).

TOKLU, E., GÜNEY, M.S., IŞIK, M., ÇOMAKLI, K and KAYGUSUZ, K., 2010. Energy Production, Consumption, Policies and Recent Developments in Turkey, Renewable and Sustainable Energy Reviews, (14): 1172-1186.

TONG, W., 2010. Wind Power Generation and Wind Turbine Design. With Press. USA, 742s.

TURNER, J. A., 1999. A Realizable Renewable Energy Future. Science, 285(5428): 687-689.

TÜREB., 2019. Türkiye Rüzgâr Enerjisi İstatistik Raporu. Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği. Green Office Kızılırmak Mah. 1443. Cad. No: 22/16 Çukurambar/Ankara.

TÜRKİYE İSTATİSTİK KURUMU, Sera Gazı Emisyon İstatistikleri, 1990-2019 Türkiye Rüzgâr Enerjisi İstatistik Raporu - Ocak 2021.

VARINCA, K. B., ve VARANK, G., 2005. Rüzgâr Kaynaklı Enerji Üretim Sistemlerinde Çevresel Etkilerin Değerlendirilmesi ve Çözüm Önerileri. Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları/Enerji Yönetimi Sempozyumu, 3(4): s.367-376.

YILMAZ, M., 2012. Türkiye'nin Enerji Potansiyeli ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Açısından Önemi. Ankara Üniversitesi Çevrebilimleri Dergisi, 4(2): 33-54.

YILMAZ, E., 2016. Türkiye Üzerinde 21. Yüzyılda Rüzgâr Hızı ve Rüzgâr Enerjisi Potansiyelinin İncelenmesi ve Wasp Modeli ile Seçili Bölge için Sonuçların Değerlendirilmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 109s.

VINE, E., 2008. Breaking Down The Silos: The Integration of Energy Efficiency, Renewable Energy, Demand Response and Climate Change. Energy Efficiency, 1:49–63.

WALKER, F. J. and JENKİNS, N., 1997. Wind Energy Technology, Wiley First edition, Canada.

YÜK TEVZİ DAİRESİ BAŞKANLIĞI - Kurulu Güç Raporu-Aralık 2020.

# EKLER

**EK 1** İllerin sıcaklık dağılımının istatistiksel (ANOVA) analizi

| Tanımlayıcı istatistikler | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Bağımlı Değişken: Sıcaklık | | | | |
| Yer | Yıl | Ortalama | Std. Sapma | N |
| Aydın | 2011 | 23,92 | 8,81 | 372 |
| | 2012 | 25,09 | 10,17 | 372 |
| | 2013 | 25,04 | 8,98 | 372 |
| | 2014 | 25,25 | 8,07 | 372 |
| | 2015 | 25,30 | 9,34 | 372 |
| | 2016 | 26,28 | 9,31 | 372 |
| | 2017 | 25,65 | 9,30 | 372 |
| | 2018 | 26,28 | 8,85 | 372 |
| | 2019 | 26,14 | 8,84 | 372 |
| | 2020 | 26,63 | 9,02 | 372 |
| | Total | 25,56 | 9,11 | 3720 |
| Manisa | 2011 | 22,07 | 9,63 | 372 |
| | 2012 | 23,51 | 10,59 | 372 |
| | 2013 | 23,35 | 9,43 | 372 |
| | 2014 | 23,23 | 8,61 | 372 |
| | 2015 | 23,31 | 9,65 | 372 |
| | 2016 | 24,00 | 9,70 | 372 |
| | 2017 | 23,75 | 9,61 | 372 |
| | 2018 | 24,32 | 9,32 | 372 |
| | 2019 | 24,01 | 9,21 | 372 |
| | 2020 | 24,65 | 9,55 | 372 |
| | Total | 23,62 | 9,55 | 3720 |
| İzmir | 2011 | 22,17 | 8,04 | 372 |
| | 2012 | 23,06 | 9,08 | 372 |
| | 2013 | 22,99 | 8,01 | 372 |
| | 2014 | 23,06 | 7,14 | 372 |
| | 2015 | 22,34 | 8,28 | 372 |
| | 2016 | 23,66 | 8,42 | 372 |
| | 2017 | 23,51 | 8,39 | 372 |
| | 2018 | 24,09 | 7,71 | 372 |
| | 2019 | 23,87 | 7,95 | 372 |
| | 2020 | 24,01 | 8,04 | 372 |
| | Total | 23,28 | 8,14 | 3720 |

**EK 1** (Devam)

| Tanımlayıcı istatistikler | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Bağımlı Değişken: Sıcaklık | | | | |
| Yer | Yıl | Ortalama | Std. Sapma | N |
| Çanakkale | 2011 | 19,02 | 8,89 | 372 |
| | 2012 | 20,57 | 9,71 | 372 |
| | 2013 | 20,45 | 8,09 | 372 |
| | 2014 | 20,18 | 7,55 | 372 |
| | 2015 | 20,43 | 8,45 | 372 |
| | 2016 | 21,01 | 8,52 | 372 |
| | 2017 | 20,87 | 8,76 | 372 |
| | 2018 | 20,83 | 8,04 | 372 |
| | 2019 | 22,26 | 8,63 | 372 |
| | 2020 | 21,98 | 8,00 | 372 |
| | Total | 20,76 | 8,52 | 3720 |
| Balıkesir | 2011 | 19,81 | 9,61 | 372 |
| | 2012 | 21,31 | 10,40 | 372 |
| | 2013 | 21,23 | 9,48 | 372 |
| | 2014 | 21,69 | 8,28 | 372 |
| | 2015 | 20,76 | 9,54 | 372 |
| | 2016 | 21,86 | 9,52 | 372 |
| | 2017 | 21,55 | 9,55 | 372 |
| | 2018 | 22,00 | 8,99 | 372 |
| | 2019 | 21,75 | 8,94 | 372 |
| | 2020 | 21,92 | 9,07 | 372 |
| | Total | 21,39 | 9,36 | 3720 |

**EK 2** İllerin nem (%) dağılımının istatistiksel (ANOVA) analizi

| Tanımlayıcı istatistikler | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Bağımlı Değişken: Nem | | | | |
| Yer | Yıl | Ortalama | Std.Sapma | N |
| Aydın | 2011 | 62,27 | 14,97 | 372 |
| | 2012 | 60,43 | 15,99 | 372 |
| | 2013 | 58,48 | 15,33 | 372 |
| | 2014 | 62,46 | 14,29 | 372 |
| | 2015 | 62,33 | 12,76 | 372 |
| | 2016 | 57,64 | 11,67 | 372 |
| | 2017 | 60,46 | 13,86 | 372 |
| | 2018 | 63,88 | 14,06 | 372 |
| | 2019 | 62,46 | 14,64 | 372 |
| | 2020 | 60,19 | 13,48 | 372 |
| | Toplam | 61,06 | 14,26 | 3720 |
| Manisa | 2011 | 54,23 | 16,59 | 372 |
| | 2012 | 52,24 | 17,18 | 372 |
| | 2013 | 55,85 | 19,13 | 372 |
| | 2014 | 65,42 | 16,69 | 372 |
| | 2015 | 63,05 | 15,04 | 372 |
| | 2016 | 58,93 | 13,65 | 372 |
| | 2017 | 59,98 | 15,97 | 372 |
| | 2018 | 63,48 | 15,56 | 372 |
| | 2019 | 61,93 | 16,62 | 372 |
| | 2020 | 59,51 | 14,19 | 372 |
| | Toplam | 59,46 | 16,61 | 3720 |
| İzmir | 2011 | 55,44 | 13,52 | 372 |
| | 2012 | 58,43 | 13,00 | 372 |
| | 2013 | 57,34 | 13,12 | 372 |
| | 2014 | 62,78 | 13,05 | 372 |
| | 2015 | 61,05 | 14,15 | 372 |
| | 2016 | 55,98 | 11,00 | 372 |
| | 2017 | 57,20 | 12,83 | 372 |
| | 2018 | 59,97 | 11,97 | 372 |
| | 2019 | 57,97 | 13,35 | 372 |
| | 2020 | 55,84 | 11,12 | 372 |
| | Toplam | 58,20 | 12,94 | 3720 |
| Çanakkale | 2011 | 71,88 | 11,69 | 372 |
| | 2012 | 78,45 | 14,58 | 372 |
| | 2013 | 68,62 | 12,63 | 372 |
| | 2014 | 73,73 | 11,23 | 372 |
| | 2015 | 69,99 | 10,73 | 372 |
| | 2016 | 67,14 | 9,85 | 372 |
| | 2017 | 66,98 | 11,29 | 372 |
| | 2018 | 70,27 | 10,85 | 372 |
| | 2019 | 65,15 | 11,17 | 372 |
| | 2020 | 68,52 | 11,29 | 372 |
| | Toplam | 70,07 | 12,14 | 3720 |

**EK 2** (Devam)

| Tanımlayıcı istatistikler | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Bağımlı Değişken: Nem | | | | |
| Yer | Yıl | Ortalama | Std.Sapma | N |
| Balıkesir | 2011 | 68,28 | 12,44 | 372 |
| | 2012 | 69,02 | 13,53 | 372 |
| | 2013 | 67,28 | 14,55 | 372 |
| | 2014 | 70,89 | 13,02 | 372 |
| | 2015 | 68,56 | 12,79 | 372 |
| | 2016 | 69,46 | 11,32 | 372 |
| | 2017 | 70,31 | 12,30 | 372 |
| | 2018 | 73,79 | 11,86 | 372 |
| | 2019 | 72,88 | 13,09 | 372 |
| | 2020 | 71,11 | 11,10 | 372 |
| | Toplam | 70,16 | 12,77 | 3720 |

**EK 3** İllerin hava basıncı (Pd) dağılımının istatistiksel (ANOVA) analizi

| Tanımlayıcı istatistikler | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Bağımlı Değişken: Pd | | | | |
| Yer | Yıl | Ortalama | Std.Sapma | N |
| Aydın | 2011 | 100.914,49 | 595,67 | 372 |
| | 2012 | 100.835,48 | 588,30 | 372 |
| | 2013 | 100.904,70 | 580,56 | 372 |
| | 2014 | 100.920,27 | 533,18 | 372 |
| | 2015 | 100.954,78 | 627,26 | 372 |
| | 2016 | 100.923,90 | 641,82 | 372 |
| | 2017 | 100.913,31 | 577,88 | 372 |
| | 2018 | 100.764,14 | 555,73 | 372 |
| | 2019 | 100.767,80 | 518,75 | 372 |
| | 2020 | 100.812,18 | 570,21 | 372 |
| | Toplam | 100.871,10 | 583,13 | 3720 |
| Manisa | 2011 | 100.899,22 | 630,23 | 372 |
| | 2012 | 100.762,74 | 603,16 | 372 |
| | 2013 | 100.822,02 | 621,00 | 372 |
| | 2014 | 100.818,04 | 561,48 | 372 |
| | 2015 | 100.938,47 | 657,27 | 372 |
| | 2016 | 100.895,65 | 663,54 | 372 |
| | 2017 | 100.813,66 | 569,83 | 372 |
| | 2018 | 100.646,83 | 583,72 | 372 |
| | 2019 | 100.663,36 | 518,63 | 372 |
| | 2020 | 100.734,03 | 592,04 | 372 |
| | Toplam | 100.799,40 | 608,06 | 3720 |
| İzmir | 2011 | 101.352,34 | 595,69 | 372 |
| | 2012 | 101.242,77 | 589,10 | 372 |
| | 2013 | 101.310,13 | 602,08 | 372 |
| | 2014 | 101.314,62 | 538,49 | 372 |
| | 2015 | 101.421,69 | 641,74 | 372 |
| | 2016 | 101.397,28 | 650,88 | 372 |
| | 2017 | 101.311,77 | 561,18 | 372 |
| | 2018 | 101.142,10 | 561,92 | 372 |
| | 2019 | 101.154,52 | 505,62 | 372 |
| | 2020 | 101.279,30 | 580,50 | 372 |
| | Toplam | 101.292,65 | 590,06 | 3720 |
| Çanakkale | 2011 | 101.871,16 | 622,38 | 372 |
| | 2012 | 101.676,13 | 617,18 | 372 |
| | 2013 | 101.700,40 | 658,50 | 372 |
| | 2014 | 101.688,44 | 581,59 | 372 |
| | 2015 | 101.864,95 | 699,13 | 372 |
| | 2016 | 101.815,16 | 713,22 | 372 |
| | 2017 | 101.735,81 | 585,95 | 372 |
| | 2018 | 101.591,67 | 620,89 | 372 |
| | 2019 | 101.594,78 | 559,70 | 372 |
| | 2020 | 101.699,76 | 639,54 | 372 |
| | Toplam | 101.723,83 | 637,81 | 3720 |

**EK 3** (Devam)

| Tanımlayıcı istatistikler | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Bağımlı Değişken: Pd | | | | |
| Yer | Yıl | Ortalama | Std.Sapma | N |
| Balıkesir | 2011 | 100.635,35 | 604,68 | 372 |
| | 2012 | 100.492,77 | 591,11 | 372 |
| | 2013 | 100.536,61 | 624,10 | 372 |
| | 2014 | 100.521,99 | 551,25 | 372 |
| | 2015 | 100.672,61 | 656,60 | 372 |
| | 2016 | 100.650,40 | 664,49 | 372 |
| | 2017 | 100.657,34 | 555,52 | 372 |
| | 2018 | 100.487,58 | 586,86 | 372 |
| | 2019 | 100.500,65 | 515,38 | 372 |
| | 2020 | 100.578,82 | 583,77 | 372 |
| | Toplam | 100.573,41 | 598,48 | 3720 |

**EK 4** İllerin hava basıncı (Pv) dağılımının istatistiksel (ANOVA) analizi

| Tanımlayıcı istatistikler | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Bağımlı Değişken: Pv | | | | |
| Yer | Yıl | Ortalama | Std. Sapma | N |
| Aydın | 2011 | 18,98 | 7,01 | 372 |
| | 2012 | 19,85 | 7,76 | 372 |
| | 2013 | 18,81 | 6,43 | 372 |
| | 2014 | 20,39 | 6,85 | 372 |
| | 2015 | 21,39 | 9,14 | 372 |
| | 2016 | 20,84 | 8,52 | 372 |
| | 2017 | 20,57 | 7,84 | 372 |
| | 2018 | 22,58 | 8,45 | 372 |
| | 2019 | 21,76 | 7,93 | 372 |
| | 2020 | 21,76 | 8,32 | 372 |
| | Toplam | 20,69 | 7,94 | 3720 |
| Manisa | 2011 | 14,44 | 5,35 | 372 |
| | 2012 | 15,17 | 5,79 | 372 |
| | 2013 | 15,66 | 5,18 | 372 |
| | 2014 | 18,76 | 6,18 | 372 |
| | 2015 | 18,86 | 7,61 | 372 |
| | 2016 | 18,39 | 7,32 | 372 |
| | 2017 | 18,01 | 6,73 | 372 |
| | 2018 | 19,85 | 7,40 | 372 |
| | 2019 | 18,91 | 6,99 | 372 |
| | 2020 | 19,09 | 7,47 | 372 |
| | Toplam | 17,71 | 6,89 | 3720 |
| İzmir | 2011 | 15,13 | 5,30 | 372 |
| | 2012 | 17,18 | 6,53 | 372 |
| | 2013 | 16,47 | 5,50 | 372 |
| | 2014 | 18,02 | 5,69 | 372 |
| | 2015 | 17,20 | 6,56 | 372 |
| | 2016 | 17,21 | 6,56 | 372 |
| | 2017 | 17,10 | 6,18 | 372 |
| | 2018 | 18,50 | 6,18 | 372 |
| | 2019 | 17,60 | 5,99 | 372 |
| | 2020 | 17,40 | 6,59 | 372 |
| | Toplam | 17,18 | 6,18 | 3720 |
| Çanakkale | 2011 | 16,88 | 7,21 | 372 |
| | 2012 | 20,51 | 8,86 | 372 |
| | 2013 | 17,12 | 6,01 | 372 |
| | 2014 | 18,20 | 6,70 | 372 |
| | 2015 | 18,14 | 7,75 | 372 |
| | 2016 | 17,96 | 7,60 | 372 |
| | 2017 | 17,55 | 7,34 | 372 |
| | 2018 | 18,17 | 6,82 | 372 |
| | 2019 | 18,40 | 6,96 | 372 |
| | 2020 | 19,19 | 7,73 | 372 |
| | Toplam | 18,21 | 7,39 | 3720 |

**EK 4** (Devam)

| Tanımlayıcı istatistikler | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Bağımlı Değişken: Pv | | | | |
| Yer | Yıl | Ortalama | Std. Sapma | N |
| Balıkesir | 2011 | 16,79 | 7,32 | 372 |
| | 2012 | 18,73 | 8,18 | 372 |
| | 2013 | 17,57 | 6,48 | 372 |
| | 2014 | 19,00 | 6,83 | 372 |
| | 2015 | 17,81 | 7,41 | 372 |
| | 2016 | 19,53 | 8,37 | 372 |
| | 2017 | 19,26 | 8,16 | 372 |
| | 2018 | 20,71 | 8,33 | 372 |
| | 2019 | 20,09 | 8,02 | 372 |
| | 2020 | 19,94 | 8,38 | 372 |
| | Toplam | 18,94 | 7,86 | 3720 |

**EK 5** İllerin hava yoğunluğu dağılımının istatistiksel (ANOVA) analizi

| Tanımlayıcı istatistikler | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Bağımlı Değişken: Yoğunluk | | | | |
| Yer | Yıl | Ortalama | Std. Sapma | N |
| Aydın | 2011 | 1,18 | 0,04 | 372 |
| | 2012 | 1,18 | 0,04 | 372 |
| | 2013 | 1,18 | 0,04 | 372 |
| | 2014 | 1,18 | 0,04 | 372 |
| | 2015 | 1,18 | 0,04 | 372 |
| | 2016 | 1,18 | 0,04 | 372 |
| | 2017 | 1,18 | 0,04 | 372 |
| | 2018 | 1,17 | 0,04 | 372 |
| | 2019 | 1,17 | 0,04 | 372 |
| | 2020 | 1,17 | 0,04 | 372 |
| | Toplam | 1,18 | 0,04 | 3720 |
| Manisa | 2011 | 1,19 | 0,04 | 372 |
| | 2012 | 1,19 | 0,05 | 372 |
| | 2013 | 1,19 | 0,04 | 372 |
| | 2014 | 1,19 | 0,04 | 372 |
| | 2015 | 1,19 | 0,04 | 372 |
| | 2016 | 1,18 | 0,04 | 372 |
| | 2017 | 1,18 | 0,04 | 372 |
| | 2018 | 1,18 | 0,04 | 372 |
| | 2019 | 1,18 | 0,04 | 372 |
| | 2020 | 1,18 | 0,04 | 372 |
| | Toplam | 1,18 | 0,04 | 3720 |
| İzmir | 2011 | 1,20 | 0,04 | 372 |
| | 2012 | 1,19 | 0,04 | 372 |
| | 2013 | 1,19 | 0,04 | 372 |
| | 2014 | 1,19 | 0,03 | 372 |
| | 2015 | 1,20 | 0,04 | 372 |
| | 2016 | 1,19 | 0,04 | 372 |
| | 2017 | 1,19 | 0,04 | 372 |
| | 2018 | 1,19 | 0,04 | 372 |
| | 2019 | 1,19 | 0,04 | 372 |
| | 2020 | 1,19 | 0,04 | 372 |
| | Toplam | 1,19 | 0,04 | 3720 |
| Çanakkale | 2011 | 1,22 | 0,04 | 372 |
| | 2012 | 1,21 | 0,04 | 372 |
| | 2013 | 1,21 | 0,04 | 372 |
| | 2014 | 1,21 | 0,04 | 372 |
| | 2015 | 1,21 | 0,04 | 372 |
| | 2016 | 1,21 | 0,04 | 372 |
| | 2017 | 1,21 | 0,04 | 372 |
| | 2018 | 1,21 | 0,04 | 372 |
| | 2019 | 1,20 | 0,04 | 372 |
| | 2020 | 1,20 | 0,04 | 372 |
| | Toplam | 1,21 | 0,04 | 3720 |

**EK 5** (Devam)

| Tanımlayıcı istatistikler | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Bağımlı Değişken: Yoğunluk | | | | |
| Yer | Yıl | Ortalama | Std. Sapma | N |
| Balıkesir | 2011 | 1,20 | 0,04 | 372 |
| | 2012 | 1,19 | 0,05 | 372 |
| | 2013 | 1,19 | 0,04 | 372 |
| | 2014 | 1,19 | 0,04 | 372 |
| | 2015 | 1,19 | 0,04 | 372 |
| | 2016 | 1,19 | 0,04 | 372 |
| | 2017 | 1,19 | 0,04 | 372 |
| | 2018 | 1,19 | 0,04 | 372 |
| | 2019 | 1,19 | 0,04 | 372 |
| | 2020 | 1,19 | 0,04 | 372 |
| | Toplam | 1,19 | 0,04 | 3720 |

**EK 6** İllerin rüzgâr hızı dağılımının istatistiksel (ANOVA) analizi

| Tanımlayıcı istatistikler | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Bağımlı Değişken: Hız | | | | |
| Yer | Yıl | Ortalama | Std. Sapma | N |
| Aydın | 2011 | 6,72 | 1,66 | 372 |
| | 2012 | 6,80 | 1,72 | 372 |
| | 2013 | 7,09 | 1,81 | 372 |
| | 2014 | 6,88 | 1,63 | 372 |
| | 2015 | 6,70 | 1,66 | 372 |
| | 2016 | 6,77 | 1,63 | 372 |
| | 2017 | 6,11 | 1,40 | 372 |
| | 2018 | 6,10 | 1,49 | 372 |
| | 2019 | 6,17 | 1,51 | 372 |
| | 2020 | 5,64 | 1,35 | 372 |
| | Toplam | 6,50 | 1,65 | 3720 |
| Manisa | 2011 | 6,33 | 2,45 | 372 |
| | 2012 | 6,35 | 2,48 | 372 |
| | 2013 | 6,37 | 2,86 | 372 |
| | 2014 | 6,00 | 2,51 | 372 |
| | 2015 | 6,39 | 2,74 | 372 |
| | 2016 | 6,58 | 2,86 | 372 |
| | 2017 | 5,89 | 2,24 | 372 |
| | 2018 | 5,90 | 2,44 | 372 |
| | 2019 | 5,40 | 2,37 | 372 |
| | 2020 | 5,27 | 2,28 | 372 |
| | Toplam | 6,05 | 2,56 | 3720 |
| İzmir | 2011 | 8,59 | 2,36 | 371 |
| | 2012 | 8,66 | 2,49 | 371 |
| | 2013 | 8,91 | 2,85 | 371 |
| | 2014 | 8,46 | 2,31 | 371 |
| | 2015 | 8,69 | 2,67 | 371 |
| | 2016 | 8,96 | 2,58 | 372 |
| | 2017 | 8,21 | 2,06 | 372 |
| | 2018 | 8,35 | 2,41 | 371 |
| | 2019 | 8,32 | 2,44 | 372 |
| | 2020 | 8,13 | 2,25 | 372 |
| | Toplam | 8,53 | 2,46 | 3714 |
| Çanakkale | 2011 | 10,77 | 3,60 | 372 |
| | 2012 | 10,87 | 3,81 | 372 |
| | 2013 | 10,66 | 4,01 | 372 |
| | 2014 | 10,04 | 3,60 | 372 |
| | 2015 | 11,00 | 4,28 | 372 |
| | 2016 | 11,23 | 4,13 | 372 |
| | 2017 | 10,08 | 3,57 | 372 |
| | 2018 | 10,44 | 3,63 | 372 |
| | 2019 | 10,33 | 3,63 | 372 |
| | 2020 | 10,40 | 3,63 | 372 |
| | Toplam | 10,58 | 3,81 | 3720 |

**EK 6** (Devam)

| Tanımlayıcı istatistikler | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Bağımlı Değişken: Hız | | | | |
| Yer | Yıl | Ortalama | Std. Sapma | N |
| Balıkesir | 2011 | 10,61 | 4,03 | 372 |
| | 2012 | 10,59 | 4,13 | 372 |
| | 2013 | 10,09 | 4,18 | 372 |
| | 2014 | 9,75 | 3,87 | 372 |
| | 2015 | 10,58 | 4,36 | 372 |
| | 2016 | 10,86 | 4,16 | 372 |
| | 2017 | 10,56 | 3,79 | 372 |
| | 2018 | 10,85 | 4,15 | 372 |
| | 2019 | 10,85 | 4,34 | 372 |
| | 2020 | 11,14 | 4,18 | 372 |
| | Toplam | 10,59 | 4,14 | 3720 |

**EK 7** İllerin güç dağılımının istatistiksel ANOVA analizi ve çoklu karşılaştırma testi olarak TUKEY testi sonucu

| Çoklu Karşılaştırma | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Bağımlı Değişken | | (I) Yer | (J) Yer | Ortalama Farkı (I-J) | Std. Hata | p değeri | %95 Güven Aralığı | |
| | | | | | | | Alt Limit | Üst Limit |
| Güç1 | Tukey HSD | Aydın | Manisa | -5,5698 | 5,472 | 0,847 | -20,497 | 9,357 |
| | | | İzmir | -81,6069* | 5,472 | 0 | -96,534 | -66,680 |
| | | | Çanakkale | -244,4359* | 5,472 | 0 | -259,363 | -229,509 |
| | | | Balıkesir | -246,9105* | 5,472 | 0 | -261,838 | -231,983 |
| | | Manisa | Aydın | 5,5698 | 5,472 | 0,847 | -9,357 | 20,497 |
| | | | İzmir | -76,0371* | 5,472 | 0 | -90,964 | -61,110 |
| | | | Çanakkale | -238,8661* | 5,472 | 0 | -253,793 | -223,939 |
| | | | Balıkesir | -241,3407* | 5,472 | 0 | -256,268 | -226,414 |
| | | İzmir | Aydın | 81,6069* | 5,472 | 0 | 66,680 | 96,534 |
| | | | Manisa | 76,0371* | 5,472 | 0 | 61,110 | 90,964 |
| | | | Çanakkale | -162,8290* | 5,472 | 0 | -177,756 | -147,902 |
| | | | Balıkesir | -165,3036* | 5,472 | 0 | -180,231 | -150,377 |
| | | Çanakkale | Aydın | 244,4359* | 5,472 | 0 | 229,509 | 259,363 |
| | | | Manisa | 238,8661* | 5,472 | 0 | 223,939 | 253,793 |
| | | | İzmir | 162,8290* | 5,472 | 0 | 147,902 | 177,756 |
| | | | Balıkesir | -2,4746 | 5,472 | 0,991 | -17,402 | 12,453 |
| | | Balıkesir | Aydın | 246,9105* | 5,472 | 0 | 231,983 | 261,838 |
| | | | Manisa | 241,3407* | 5,472 | 0 | 226,414 | 256,268 |
| | | | İzmir | 165,3036* | 5,472 | | 150,377 | 180,231 |
| | | | Çanakkale | 2,4746 | 5,472 | 0,991 | -12,453 | 17,402 |
| | | | Çanakkale | 2,4746 | 5,472 | 0,651 | -8,251 | 13,200 |
| Güç2 | Tukey HSD | Aydın | Manisa | -12,5321 | 12,311 | 0,847 | -46,118 | 21,054 |
| | | | İzmir | -183,6156* | 12,311 | 0 | -217,202 | -150,030 |
| | | | Çanakkale | -549,9807* | 12,311 | 0 | -583,567 | -516,395 |
| | | | Balıkesir | -555,5486* | 12,311 | 0 | -589,135 | -521,963 |
| | | Manisa | Aydın | 12,5321 | 12,311 | 0,847 | -21,054 | 46,118 |
| | | | İzmir | -171,0835* | 12,311 | 0 | -204,670 | -137,498 |
| | | | Çanakkale | -537,4487* | 12,311 | 0 | -571,035 | -503,863 |
| | | | Balıkesir | -543,0166* | 12,311 | 0 | -576,603 | -509,431 |
| | | İzmir | Aydın | 183,6156* | 12,311 | 0 | 150,030 | 217,202 |
| | | | Manisa | 171,0835* | 12,311 | 0 | 137,498 | 204,670 |
| | | | Çanakkale | -366,3651* | 12,311 | 0 | -399,951 | -332,779 |
| | | | Balıkesir | -371,9330* | 12,311 | 0 | -405,519 | -338,347 |
| | | Çanakkale | Aydın | 549,9807* | 12,311 | 0 | 516,395 | 583,567 |
| | | | Manisa | 537,4487* | 12,311 | 0 | 503,863 | 571,035 |
| | | | İzmir | 366,3651* | 12,311 | 0 | 332,779 | 399,951 |
| | | | Balıkesir | -5,5679 | 12,311 | 0,991 | -39,154 | 28,018 |
| | | Balıkesir | Aydın | 555,5486* | 12,311 | 0 | 521,963 | 589,135 |
| | | | Manisa | 543,0166* | 12,311 | 0 | 509,431 | 576,603 |
| | | | İzmir | 371,9330* | 12,311 | 0 | 338,347 | 405,519 |
| | | | Çanakkale | 5,5679 | 12,311 | 0,991 | -28,018 | 39,154 |

**EK 7** (Devam)

| Çoklu Karşılaştırma | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Bağımlı Değişken | | (I) Yer | (J) Yer | Ortalama Farkı (I-J) | Std. Hata | p değeri | %95 Güven Aralığı | |
| | | | | | | | Alt Limit | Üst Limit |
| Güç3 | Tukey HSD | Aydın | Manisa | -22,2792 | 21,887 | 0,847 | -81,988 | 37,429 |
| | | | İzmir | -326,4277* | 21,887 | 0 | -386,136 | -266,719 |
| | | | Çanakkale | -977,7435* | 21,887 | 0 | -1037,452 | -918,035 |
| | | | Balıkesir | -987,6420* | 21,887 | 0 | -1047,351 | -927,933 |
| | | Manisa | Aydın | 22,2792 | 21,887 | 0,847 | -37,429 | 81,988 |
| | | | İzmir | -304,1484* | 21,887 | 0 | -363,857 | -244,440 |
| | | | Çanakkale | -955,4643* | 21,887 | 0 | -1015,173 | -895,756 |
| | | | Balıkesir | -965,3628* | 21,887 | 0 | -1025,071 | -905,654 |
| | | İzmir | Aydın | 326,4277* | 21,887 | 0 | 266,719 | 386,136 |
| | | | Manisa | 304,1484* | 21,887 | 0 | 244,440 | 363,857 |
| | | | Çanakkale | -651,3158* | 21,887 | 0 | -711,024 | -591,607 |
| | | | Balıkesir | -661,2144* | 21,887 | 0 | -720,923 | -601,506 |
| | | Çanakkale | Aydın | 977,7435* | 21,887 | 0 | 918,035 | 1037,452 |
| | | | Manisa | 955,4643* | 21,887 | 0 | 895,756 | 1015,173 |
| | | | İzmir | 651,3158* | 21,887 | 0 | 591,607 | 711,024 |
| | | | Balıkesir | -9,8985 | 21,887 | 0,991 | -69,607 | 49,810 |
| | | Balıkesir | Aydın | 987,6420* | 21,887 | 0 | 927,933 | 1047,351 |
| | | | Manisa | 965,3628* | 21,887 | 0 | 905,654 | 1025,071 |
| | | | İzmir | 661,2144* | 21,887 | 0 | 601,506 | 720,923 |
| | | | Çanakkale | 9,8985 | 21,887 | 0,991 | -49,810 | 69,607 |
| Gözlemlenen araçlara göre<br>Hata terimi Ortalama Karesi (Hata) = 891.013,200. | | | | | | | | |
| *. Ortalama fark 0,05 düzeyinde anlamlıdır. | | | | | | | | |

**EK 8** Aydın, Manisa, İzmir, Çanakkale, Balıkesir İllerinin Yıllara Göre Türbin Bazında Analizi

| | | | TB1 | | TB2 | | TB3 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Yer | Yıl | Mean | Std. Deviation | Mean | Std. Deviation | Mean | Std. Deviation |
| Güç1 | Aydın | 2011 | 62,72 | 46,71 | 141,11 | 105,11 | 250,86 | 186,86 |
| | | 2012 | 65,82 | 61,63 | 148,09 | 138,68 | 263,27 | 246,54 |
| | | 2013 | 75,04 | 74,22 | 168,84 | 166,99 | 300,16 | 296,88 |
| | | 2014 | 65,96 | 45,41 | 148,41 | 102,17 | 263,83 | 181,63 |
| | | 2015 | 62,50 | 51,98 | 140,61 | 116,95 | 249,98 | 207,90 |
| | | 2016 | 62,97 | 45,62 | 141,69 | 102,65 | 251,89 | 182,49 |
| | | 2017 | 46,14 | 35,24 | 103,82 | 79,29 | 184,57 | 140,95 |
| | | 2018 | 46,41 | 33,67 | 104,42 | 75,75 | 185,63 | 134,66 |
| | | 2019 | 48,58 | 40,24 | 109,29 | 90,53 | 194,30 | 160,95 |
| | | 2020 | 36,70 | 28,64 | 82,57 | 64,44 | 146,79 | 114,55 |
| | | Toplam | 57,28 | 49,38 | 128,89 | 111,11 | 229,13 | 197,53 |
| | Manisa | 2011 | 66,61 | 104,70 | 149,87 | 235,58 | 266,44 | 418,82 |
| | | 2012 | 68,25 | 102,61 | 153,56 | 230,87 | 273,00 | 410,43 |
| | | 2013 | 77,22 | 132,75 | 173,74 | 298,68 | 308,87 | 530,99 |
| | | 2014 | 59,00 | 82,57 | 132,75 | 185,79 | 236,01 | 330,29 |
| | | 2015 | 76,69 | 173,54 | 172,55 | 390,47 | 306,76 | 694,17 |
| | | 2016 | 82,35 | 133,89 | 185,29 | 301,24 | 329,41 | 535,54 |
| | | 2017 | 52,82 | 73,58 | 118,84 | 165,55 | 211,27 | 294,32 |
| | | 2018 | 57,41 | 93,85 | 129,18 | 211,16 | 229,66 | 375,39 |
| | | 2019 | 45,23 | 70,44 | 101,77 | 158,48 | 180,92 | 281,75 |
| | | 2020 | 42,94 | 85,78 | 96,61 | 193,00 | 171,76 | 343,10 |
| | | Toplam | 62,85 | 110,41 | 141,42 | 248,41 | 251,41 | 441,63 |
| | İzmir | 2011 | 138,21 | 120,22 | 310,97 | 270,49 | 552,84 | 480,87 |
| | | 2012 | 144,64 | 142,96 | 325,43 | 321,65 | 578,54 | 571,83 |
| | | 2013 | 166,73 | 207,49 | 375,13 | 466,86 | 666,90 | 829,97 |
| | | 2014 | 130,61 | 111,00 | 293,87 | 249,76 | 522,44 | 444,01 |
| | | 2015 | 153,74 | 193,80 | 345,91 | 436,04 | 614,95 | 775,18 |
| | | 2016 | 160,73 | 162,03 | 361,64 | 364,56 | 642,91 | 648,11 |
| | | 2017 | 116,91 | 98,93 | 263,04 | 222,59 | 467,62 | 395,72 |
| | | 2018 | 129,95 | 131,29 | 292,39 | 295,41 | 519,81 | 525,17 |
| | | 2019 | 129,30 | 130,32 | 290,93 | 293,21 | 517,21 | 521,27 |
| | | 2020 | 118,09 | 128,15 | 265,70 | 288,35 | 472,35 | 512,61 |
| | | Toplam | 138,89 | 147,19 | 312,50 | 331,18 | 555,56 | 588,76 |

**EK 8** (Devam)

| | | | TB1 | | TB2 | | TB3 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Yer | Yıl | Mean | Std. Deviation | Mean | Std. Deviation | Mean | Std. Deviation |
| Güç1 | Çanakkale | 2011 | 302,60 | 313,45 | 680,84 | 705,26 | 1210,38 | 1253,80 |
| | | 2012 | 319,99 | 370,68 | 719,98 | 834,04 | 1279,96 | 1482,74 |
| | | 2013 | 317,06 | 423,63 | 713,39 | 953,16 | 1268,24 | 1694,50 |
| | | 2014 | 258,77 | 335,77 | 582,23 | 755,48 | 1035,08 | 1343,08 |
| | | 2015 | 361,31 | 523,25 | 812,95 | 1177,31 | 1445,25 | 2093,00 |
| | | 2016 | 364,38 | 456,99 | 819,85 | 1028,23 | 1457,51 | 1827,97 |
| | | 2017 | 256,79 | 301,16 | 577,78 | 677,60 | 1027,17 | 1204,63 |
| | | 2018 | 281,92 | 309,94 | 634,32 | 697,37 | 1127,67 | 1239,77 |
| | | 2019 | 274,88 | 322,55 | 618,49 | 725,75 | 1099,53 | 1290,21 |
| | | 2020 | 279,49 | 357,14 | 628,84 | 803,57 | 1117,94 | 1428,56 |
| | | Toplam | 301,72 | 379,33 | 678,87 | 853,49 | 1206,87 | 1517,31 |
| | Balıkesir | 2011 | 299,68 | 279,55 | 674,29 | 628,98 | 1198,73 | 1118,19 |
| | | 2012 | 303,32 | 323,35 | 682,48 | 727,53 | 1213,29 | 1293,39 |
| | | 2013 | 271,03 | 278,93 | 609,81 | 627,59 | 1084,10 | 1115,71 |
| | | 2014 | 239,14 | 252,20 | 538,07 | 567,44 | 956,57 | 1008,78 |
| | | 2015 | 319,65 | 385,52 | 719,22 | 867,42 | 1278,62 | 1542,08 |
| | | 2016 | 323,59 | 338,34 | 728,08 | 761,26 | 1294,37 | 1353,36 |
| | | 2017 | 286,61 | 265,61 | 644,86 | 597,62 | 1146,42 | 1062,44 |
| | | 2018 | 321,59 | 327,02 | 723,58 | 735,79 | 1286,37 | 1308,07 |
| | | 2019 | 331,13 | 333,34 | 745,05 | 750,01 | 1324,53 | 1333,35 |
| | | 2020 | 346,18 | 332,51 | 778,90 | 748,15 | 1384,71 | 1330,04 |
| | | Toplam | 304,19 | 315,13 | 684,43 | 709,04 | 1216,77 | 1260,51 |