

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**RÜZGAR ENERJİ SANTRALLARI ÜRETİM VE İŞLETME
DEĞİŞKENLERİNİN ÇOKLU-YARIVARIÖĞRAM YÖNTEMİ İLE ALANSAL
TAHMİNİ**

DOKTORA TEZİ

Murat DURAK

Meteoroloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Atmosfer Bilimleri Programı

26 EKİM 2018

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**RÜZGAR ENERJİ SANTRALLARI ÜRETİM VE İŞLETME
DEĞİŞKENLERİNİN ÇOKLU-YARIVARIÖGRAM YÖNTEMİ İLE ALANSAL
TAHMİNİ**

DOKTORA TEZİ

**Murat DURAK
(511992402)**

Meteoroloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Atmosfer Bilimleri Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ahmet Duran ŞAHİN

EKİM 2018

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 511992402 numaralı Doktora Öğrencisi Murat DURAK, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “RÜZGAR ENERJİ SANTRALLARI ÜRETİM VE İŞLETME DEĞİŞKENLERİNİN ÇOKLU-YARIVARIÖĞRAM YÖNTEMİ İLE ALANSAL TAHMİNİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Ahmet Duran ŞAHİN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Şükran Sibel MENTEŞ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Ercan İZGİ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Zafer ASLAN
İstanbul Aydın Üniversitesi

Prof. Dr. Kasım KOÇAK
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **04.10.2018**
Savunma Tarihi : **26.10.2018**





Eşime ve çocuklarıma,



ÖNSÖZ

Bu tezin konusu, rüzgar elektrik santrallerinden yarivariogram tekniği kullanılarak incelenen nokta ile diğer noktalar arasında farklar temeline dayanan, daha açık bir ifadeyle; bir noktaya diğer noktaların yani alanın etkilerini araştırılmasıdır. Tezde noktasal toplam yarivariogram yöntemi geliştirilerek çoklu noktasal toplam yarivariogram yöntemi önerilmiştir ve incelenen değişkenlerin alansal tahmini yapılmıştır.

Tez çalışmamın gerçekleşmesinde katkılarından dolayı başta Prof Dr Ahmet Duran ŞAHİN olmak üzere, Prof Dr Şükran Sibel MENTEŞ'e ve Doç. Dr. Ercan İZGİ'ye, sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bana yardımlarından dolayı Doç. Dr. Barış ÖNOL'a, Yrd. Doç. Barış ÇALDAĞ'a ve Arş. Gör. Bihter DURNA'ya, teşekkürü borç bilirim.

Rüzgar elektrik santral verilerinin temin edilmesinde Sn Habib Babacan ve Melih Er'e çok teşekkür ederim.

Doktora çalışmasına ilk başladığım hocam ve tez çalışmamda da makalelerinden bilimsel olarak çok faydalandığım Prof Dr. Zekai ŞEN'e de her zaman müteşekkirim.

Tüm hayatım ve özellikle eğitim ve öğrenim hayatım süresince benim maddi ve manevi her şekilde arkamda duran aileme, eşim Serpil ve oğullarım Muratcan ile İsmet Mete'ye ise hayatım boyunca minnettar kalacağım.

Eylül 2018

Murat DURAK
Meteoroloji Yüksek Mühendisi



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
KISALTMALAR.....	xi
SEMBOL LİSTESİ.....	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xix
ÖZET.....	xxi
SUMMARY.....	xxv
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Rüzgar Enerjisi Kullanımı Tarihçesi.....	2
1.2. Tezin Konusu	4
1.3. Dünyada Yapılan Çalışmalar	5
2. TEZDE UYGULANAN YÖNTEM	11
2.1. Variogram Yaklaşımı	11
2.2. Variogramların Özellikleri	13
2.3. Değişkenlerin Alansal Dağılımı	14
2.4. Objektif Analiz Süreci (Lineer İnterpolasyon).....	14
2.5. Noktasal Toplam Yarıvariogram (NTYV).....	18
3. TEZİN UYGULAMA ALANI VE KULLANILAN VERİ.....	23
3.1. Tezde Kullanılan İşletmedeki RES Projeleri.....	23
3.1.1. Aydın Söke Çatalbük RES	24
3.1.2. Balıkesir Edincik RES.....	25
3.1.3. Amasya Merzifon RES.....	26
3.1.4. İstanbul Silivri RES.....	27
3.2. Tezde Kullanılan Verilerin Açıklanması.....	28
4. YARIVARIİOGRAM UYGULAMASI.....	33
4.1. Yarıvariogram Özellikleri	33
4.1.1. Kontrolsüz etki varyansı.....	34
4.1.2. Eşik değer (Sill).....	34
4.1.3. Etki mesafesi (a, Range).....	35
4.2. Verilere Yarıvariogram Sürecinin Uygulanması.....	35
5. ÇOKLU-NOKTASAL TOPLAM YARIVARIİOGRAM (NTYV)	39
5.1. Alansal Modellemeler	39
5.2. Çoklu-NTYV Uygulaması	41
5.3. Eğitim ve Test Verisi.....	49
5.4. Çoklu-NTYV Uygulama Sonuçları.....	50
5.4.1. Çoklu-NTYV yöntemi değişkenlerinin bulunması	51
5.4.2. İncelenen değişkenlere ait alansal tahmin sonuçları	51
5.4.3. Gerçek ve tahmin değerlerinin saçılma diyagramı.....	53
5.5. Doğrusal Çoklu-Regresyon Modeli	55

5.5.1. Verilere çoklu regresyon analizi uygulanması	56
5.6. Bir Aylık Verilere Ait Uygulama Sonuçları	60
5.6.1. Bir aylık verilere çoklu-yarıvარიogram uygulama sonuçları	60
5.6.2. Bir aylık verilere çoklu regresyon uygulama sonuçları.....	63
5.7. Değişken Çıkarılarak Hesaplanan Alansal Modelleme Sonuçları	66
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	71
KAYNAKLAR	75
EKLER	83
ÖZGEÇMİŞ	155



KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
BD	: Bağımsız Değişken
BLUE	: Best Linear Unbiased Estimate
ÇYV	: Çoklu Yarı-Variogram
CFD	: Computational Fluid Dynamics
DK	: Dişli Kutusu
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
ETKB	: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
EWEA	: European Wind Energy Association
GT	: Jeneratör Sıcaklığı
kW	: Kilo Watt
MW	: Mega Watt
NWP	: Numerical Weather Prediction (Sayısal Hava Tahmini)
NTYV	: Noktasal Toplam Yarıvariogram
P	: Üretim
PCA	: Principal Component Analysis
PLSR	: Partial Least Square Regression
RES	: Rüzgar Elektrik Santrali
RP	: Reaktif Güç
RŞ	: Rüzgar Şiddeti
RT	: Rüzgar Türbini
RİTM	: Rüzgar İzleme ve Tahmin Merkezi
SAB	: Standart Alansal Bağımlılık
SBK	: Standart Alan Bağımlılık Katsayısı
SD	: Standartlaştırılmış Değer
SEK	: Saha Etki Katsayısı
T	: Sıcaklık
TAK	: Toplam alan Bağımlılık
V	: Rüzgar Şiddeti
VB	: Vibrasyon
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim A.Ş.
WRF	: Weather Research and Forecasting Model
YEK	: Yenilenebilir Enerji Kaynakları
YEGM	: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü



SEMBOL LİSTESİ

A	: Tesir katsayılarının ağırlıklı ortalamaya etkisi
C_0	: Kontrolsüz etki varyansı
C_0+C	: Eşik değeri (sill)
D_E	: Tahmini yapılan değişken
D_i	: Ölçüm yapılmayan nokta etrafındaki ölçümler
e	: Hata terimi
h	: Değişkenler arası mesafe
$h_1, \dots, h_n$	: Referans noktası ile diğer noktalar arasındaki değişimin karesinin beklenen değeri
n	: Toplam veri sayısı
$r_{i,E}$	: Mesafe
R	: Tesir Yarıçapı
R^2	: Belirlilik katsayısı
V_E	: Kare hatalar ortalaması
$W_{(r_i,E)}$	: Nokta ile tahmin edilen nokta arasındaki ağırlık fonksiyonu
w_t	: Tesir katsayısı
X_i	: Referans noktası
X_{i+h}	: h mesafe sonraki değişkenin ölçülmüş değeri
X_T	: Alan esaslı ağırlıklı ortalama tahmin değeri
y	: Bağımlı değişken
$\gamma(h_i)$	: Yarı-variogram
β_i	: Tahmin edilecek parametreler



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Söke RES özet verileri (ortalama veriler)	25
Çizelge 3.2 : Edincik RES özet verileri (ortalama veriler)	26
Çizelge 3.3 : Amasya RES özet verileri (ortalama veriler)	27
Çizelge 3.4 : Silivri RES özet verileri (ortalama veriler)	28
Çizelge 3.5 : Vibrasyon sensörü özellikleri	30
Çizelge 4.1 : Amasya 1 nolu rüzgar türbinine ait değerler	36
Çizelge 4.2 : Amasya 1 nolu rüzgar türbinine ait standartlaştırma süreci	37
Çizelge 5.1 : Çoklu-NTYVsaçılma denklemleri ve R^2 değerleri	54
Çizelge 5.2 : Söke RES%70 eğitim verisi ortalama değerleri	56
Çizelge 5.3 : Söke RES rüzgar şiddeti çoklu regresyon istatistikleri	57
Çizelge 5.4 : Çoklu regresyon sonuçları	57
Çizelge 5.5 : Amasya RES tam veri kıyaslama	59
Çizelge 5.6 : Söke RES tam veri kıyaslama	60
Çizelge 5.7 : Amasya RES Ağustos 2016 aylık SEK değerleri	60
Çizelge 5.8 : Söke RES Mayıs 2015 aylık SEK değerleri	62
Çizelge 5.9 : Söke RES ve Amasya RES 1-aylık veri denklem ve R^2 değerleri	63
Çizelge 5.10 : Amasya RES 1-aylık veri kıyaslama	64
Çizelge 5.11 : Söke RES 1-aylık veri kıyaslama	65
Çizelge 5.12 : Amasya RES tüm veri ve 1-aylık veri kıyaslama	65
Çizelge 5.13 : Söke RES tüm veri ve 1-aylık veri kıyaslama	66
Çizelge 5.14 : Yöntem kıyaslama	66
Çizelge 5.15 : Amasya RES incelenen değişkenler çıkarılması	68
Çizelge 5.16 : Amasya RES incelenen değişkenler çıkarılması basit gösterim	69
Çizelge 5.17 : Söke RES incelenen değişkenler çıkarılması	70
Çizelge 5.18 : Söke RES incelenen değişkenler çıkarılması basit gösterim	70
Çizelge A.1 : Amasya RT1 rüzgar şiddeti ve sıcaklık SEK süreci değerleri	85
Çizelge A.2 : Amasya RT1 üretim ve vibrasyon SEK süreci değerleri	86
Çizelge A.3 : Amasya RT2 rüzgar şiddeti ve sıcaklık SEK süreci değerleri	87
Çizelge A.4 : Amasya RT2 üretim ve vibrasyon SEK süreci değerleri	88
Çizelge A.5 : Söke RT5 rüzgar şiddeti SEK süreci değerleri	89
Çizelge A.6 : Söke RT5 üretim SEK süreci değerleri	90
Çizelge A.7 : Söke RT5 jeneratör sıcaklığı SEK süreci değerleri	92
Çizelge A.8 : Söke RT5 reaktif güç SEK süreci değerleri	93
Çizelge A.9 : Söke RT6 rüzgar şiddeti SEK süreci değerleri	94
Çizelge A.10 : Söke RT6 üretim SEK süreci değerleri	94
Çizelge A.11 : Söke RT6 jeneratör sıcaklığı SEK süreci değerleri	95
Çizelge A.12 : Söke RT6 reaktif güç SEK süreci değerleri	96
Çizelge A.13 : Edincik RT6 rüzgar şiddeti, sıcaklık ve üretim SEK süreci değerleri	97
Çizelge A.14 : Edincik RT7 rüzgar şiddeti, sıcaklık ve üretim SEK süreci değerleri	98
Çizelge A.15 : Edincik RT8 rüzgar şiddeti, sıcaklık ve üretim SEK süreci değerleri	99

Çizelge A.16 : Edincik RT9 rüzgar şiddeti, sıcaklık ve üretim SEK süreci değerleri	100
Çizelge A.17 : Silivri RT1 rüzgar şiddeti, sıcaklık ve üretim SEK süreci değerleri	101
Çizelge A.18 : Silivri RT2 rüzgar şiddeti, sıcaklık ve üretim SEK süreci değerleri	102
Çizelge A.19 : Silivri RT3 rüzgar şiddeti, sıcaklık ve üretim SEK süreci değerleri	103
Çizelge C.1 : Amasya RES %70 verilere ait özet tablo	107
Çizelge C.2 : Edincik RES %70 verilere ait özet tablo	107
Çizelge C.3 : Silivri RES %70 verilere ait özet tablo	107
Çizelge C.4 : Söke RES %70 verilere ait özet tablo	107
Çizelge D.1 : Amasya RES %30 verilere ait özet tablo	109
Çizelge D.2 : Edincik RES %70 verilere ait özet tablo	109
Çizelge D.3 : Silivri RES %30 verilere ait özet tablo	109
Çizelge D.4 : Söke RES %30 verilere ait özet tablo	109
Çizelge E.1 : Amasya RES çoklu-NTYV tahmin katsayıları	111
Çizelge E.2 : Edincik RES çoklu-NTYV tahmin katsayıları	111
Çizelge E.3 : Silivri RES çoklu-NTYV tahmin katsayıları	111
Çizelge E.4 : Söke RES çoklu-NTYV tahmin katsayıları	111
Çizelge F.1 : Amasya RES tahminler	113
Çizelge F.2 : Edincik RES tahminler	113
Çizelge F.3 : Silivri RES tahminler	113
Çizelge F.4 : Söke RES tahminler	113
Çizelge G.1 : Amasya RES tahmin bağıl hata	115
Çizelge G.2 : Edincik RES tahmin bağıl hata	115
Çizelge G.3 : Silivri RES tahmin bağıl hata	115
Çizelge G.4 : Söke RES tahmin bağıl hata	115
Çizelge K.1 : Amasya RES rüzgar şiddeti çoklu regresyon parametreleri	125
Çizelge K.2 : Amasya RES sıcaklık çoklu regresyon parametreleri	126
Çizelge K.3 : Amasya RES üretim çoklu regresyon parametreleri	127
Çizelge K.4 : Amasya RES vibrasyon çoklu regresyon parametreleri	128
Çizelge L.1 : Söke RES rüzgar şiddeti çoklu regresyon parametreleri	129
Çizelge L.2 : Söke RES üretim çoklu regresyon parametreleri	130
Çizelge L.3 : Söke RES jeneratör sıcaklığı çoklu regresyon parametreleri	131
Çizelge L.4 : Söke RES reaktif güç çoklu regresyon parametreleri	132
Çizelge M.1 : Amasya RES RŞ 1-aylık veri çoklu regresyon parametreleri	133
Çizelge M.2 : Amasya RES sıcaklık 1-aylık çoklu regresyon parametreleri	134
Çizelge M.3 : Amasya RES üretim 1-aylık çoklu regresyon parametreleri	135
Çizelge M.4 : Amasya RES vibrasyon 1-aylık çoklu regresyon parametreleri	136
Çizelge M.5 : Söke RES rüzgar şiddeti 1-aylık çoklu regresyon parametreleri	137
Çizelge M.6 : Söke RES üretim 1-aylık çoklu regresyon parametreleri	138
Çizelge M.7 : Söke RES jeneratör sıcaklığı 1-aylık çoklu regresyon parametreleri	139
Çizelge M.8 : Söke RES reaktif güç 1-aylık çoklu regresyon parametreleri	140
Çizelge N.1 : Söke RES çoklu-NTYV ve doğrusal çoklu regresyon tahmin sonuçları (tam veri)	141
Çizelge N.2 : Söke RES çoklu-NTYV ve doğrusal çoklu regresyon tahmin sonuçları (1-aylık veri)	142
Çizelge N.3 : Amasya RES çoklu-NTYV ve doğrusal çoklu regresyon tahmin sonuçları (tam veri)	143
Çizelge N.4 : Amasya RES çoklu-NTYV ve doğrusal çoklu regresyon tahmin sonuçları (1-aylık veri)	144
Çizelge O.1 : Amasya RES rüzgar şiddeti hariç çoklu-NTYV SEK değerleri	145
Çizelge O.2 : Amasya RES sıcaklık hariç çoklu-NTYV SEK değerleri	145

Çizelge O.3 : Amasya RES üretim şiddeti hariç çoklu-NTYV SEK değerleri	145
Çizelge O.4 : Amasya RES vibrasyon hariç çoklu-NTYV SEK değerleri.....	146
Çizelge O.5 : Amasya RES yükseklik hariç çoklu-NTYV SEK değerleri.....	146
Çizelge P.1 : Söke RES rüzgar şiddeti hariç çoklu-NTYV SEK değerleri	147
Çizelge P.2 : Söke RES üretim hariç çoklu-NTYV SEK değerleri.....	147
Çizelge P.3 : Söke RES jeneratör sıcaklığı hariç çoklu-NTYV SEK değerleri	148
Çizelge P.4 : Söke RES reaktif güç hariç çoklu-NTYV SEK değerleri.....	148





ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Variogram özellikleri	12
Şekil 2.2 : Doğrusal bağımlılık (a), uniform (b) ve zayıf bağımlılık.....	13
Şekil 3.1 : Kullanılan verilerin alındığı RES'ler	23
Şekil 3.2 : Söke Çatalbük RES google earth görünümü.....	24
Şekil 3.3 : Edincik RES google earth görünümü	26
Şekil 3.4 : Amasya RES google earth görünümü	27
Şekil 3.5 : Silivri RES google earth görünümü	28
Şekil 3.6 : Vibrasyon verisinin ölçüldüğü dişli kutusu ve jeneratör.....	30
Şekil 3.7 : Vibrasyon sensörü	20
Şekil 4.1 : Yarıvariogram parametreleri	33
Şekil 4.2 : Söke RES T7'ye ait yarıvariogram ve alan bağımlılık grafiği.....	37
Şekil 5.1 : Rüzgar şiddeti çoklu-NTYV süreci basitleştirilmiş diyagramı	42
Şekil 5.2 : NTYV'den çoklu-NTYV'ye geçiş	43
Şekil 5.3 : Amasya RES T14'e ait SBK değerleri	44
Şekil 5.4 : Söke RES RT7'e ait jeneratör sıcaklığı eğitim verisi grafikleri.....	44
Şekil 5.5 : Söke RES RT8 değişkenlerin standart değerleri	45
Şekil 5.6 : Söke RES rüzgar şiddeti tahmin ve ölçülen saçılma grafiği	53
Şekil 5.7 : Amasya RES çoklu regresyon saçılma grafikleri.....	58
Şekil 5.8 : Söke RES çoklu regresyon saçılma grafikleri.....	58
Şekil 5.9 : Amasya RES 1 aylık veri çoklu-NTYV saçılma grafikleri.....	61
Şekil 5.10 : Söke RES 1 aylık veri çoklu-NTYV saçılma grafikleri.....	62
Şekil 5.11 : Amasya RES 1 aylık veri çoklu-regresyon saçılma grafikleri	63
Şekil 5.12 : Söke RES 1 aylık veri çoklu-regresyon saçılma grafikleri	64
Şekil 5.13 : Çoklu-NTYV rüzgar şiddeti SEK hesaplama diyagramı (üretimsiz).....	67
Şekil B1 : Amasya RES 1 Nolu Türbine Ait Grafikler	105
Şekil B2 : Söke RES 7 Nolu Türbine Ait Grafikler	106
Şekil H1 : Amasya RES Gerçek ve Tahmini Değerler.....	117
Şekil H2 : Söke RES Gerçek ve Tahmini Değerler.....	118
Şekil H3 : Edincik RES Gerçek ve Tahmini Değerler	119
Şekil H4 : Silivri RES Gerçek ve Tahmini Değerler.....	120
Şekil I1 : Amasya RES Gerçek ve Tahmini Değerler Saçılma Diyagramı	121
Şekil I2 : Söke RES Gerçek ve Tahmini Değerler Saçılma Diyagramı	122
Şekil I3 : Edincik RES Gerçek ve Tahmini Değerler Saçılma Diyagramı.....	123
Şekil I4 : Silivri RES Gerçek ve Tahmini Değerler Saçılma Diyagramı	124
Şekil R.1 : Amasya RES rüzgar şiddeti ve üretim hariç saçılma diyagramları.....	149
Şekil R.2 : Amasya RES vibrasyon ve yükseklik hariç saçılma diyagramları.....	150
Şekil R.3 : Amasya RES sıcaklık hariç saçılma diyagramları.....	151
Şekil S.1 : Söke RES rüzgar şiddeti hariç saçılma diyagramları.....	153
Şekil S.2 : Söke RES jeneratör sıc. ve reaktif güç hariç saçılma diyagramları	154



RÜZGAR ENERJİ SANTRALLARI ÜRETİM VE İŞLETME DEĞİŞKENLERİNİN ÇOKLU-YARIVARIÖGRAM YÖNTEMİ İLE ALANSAL TAHMİNİ

ÖZET

Rüzgar kelime anlamı olarak, devir, hengam ve alem anlamlarını taşımaktadır. Meteorolojide anlamı ise, en basit olarak hareket eden havadır. İlk insanlar rüzgarın kaynağının nedenini bilmemekle beraber, onu kullanma yoluna gitmişlerdir. Bu yönde belki ilk uygulamalar, tahıl öğütme ve yelkenli gemilerin yüzdürülmesi ile başlamıştır. Eski Yunanlılar ve onları takiben Romalılar yelkenli gemilerini yüzdürmek için kullanmışsa da, toplumun diğer faaliyetlerinde rüzgar gücünden faydalanma doğu medeniyetinde başlamıştır. Dairesel hareketli yel değirmenlerinden yararlanma Orta ve Doğu Asya toplumlarında görülmüştür. Bunun örnekleri İran, Afganistan, Pakistan, Tibet ve Doğu Asya ve Çin’de karşımıza çıkmaktadır.

Endüstri devrimi ile beraber, 18. yüzyılda buhar makinalarının ortaya çıkması sonucu, enerji gücünün temini için termodinamik işlemlere dayanan makinalardan yararlanılmaya başlanmıştır. Özellikle kömür, petrol, gaz gibi fosil yakıtların kullanımı ile istenildiği zaman enerji kaynağı sağlanabildiği için bu makinalar daha avantajlı hale gelmiştir. Günümüzde rüzgar enerjisi, enerji açığını kapatabilecek miktarlarda üretilmese bile, kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Bunun temel nedenleri arasında, yerli enerji kaynağı olması, işletme giderlerinin çok düşük ve hammadde gerektirmemesi yatmaktadır.

Dünyada 2017 yılı sonu itibarı ile 500.000 MW’a yakın RES kurulu gücü bulunmaktadır. Tezin yazıldığı Haziran 2018 itibarı ile ise, 550.000 MW kurulu güç bulunuyor idi. Böyle büyük bir kurulu gücün üretim ve iletim sistem planlaması büyük önem arz etmektedir. Özellikle Avrupa Ülkeleri konu ile ilgili olarak 1990’lı yılların sonlarına doğru çalışmaya başlamıştır. Rüzgar elektrik santrallerinden (RES) kısa süreli rüzgar enerjisi tahmini yapılması ve enerji üretim planlaması çok önemli bir husus olmuştur.

Liberalleşen enerji piyasalarında en önemli özellik olarak elektrik enerji üretim ve elektrik enerjisi dağıtım planlamasının yapılması yatmaktadır. AB Ülkelerinin çoğunda elektrik dağıtım yapan şirketler ülkelerindeki mevzuat gereği enerjinin belli bir kısmını yenilenebilir enerji kaynaklarından (YEK) karşılamak zorundadırlar. Günümüzde YEK kullanımı en fazla rüzgar ve güneş enerjisi yolu ile olmaktadır. Şirketler bu amaçla planlama yaparken rüzgar elektrik santrallerine ağırlık vererek YEK kullanım portföyünü doldurabilmek için en azından 0-48 saate kadar olan enerji planlamalarını yapabilmek istemektedirler. Geleneksel enerji kaynakları ile çalışan elektrik santrallerinde böyle bir sorun bulunmaz iken; RES’lerde bu durum önemli bir sorun teşkil etmektedir. Bu yüzden Avrupa’daki birçok şirket, rüzgar enerjisi tahmin modelleri ile çalışmaktadır. Konu ile ilgili olarak ülkemizde de YEGM

bünyesinde 2010 yılında Rüzgar Gücü İzleme ve Tahmin Merkezi (RİTM) kurulmuştur.

Bu tezin konusu, rüzgar elektrik santrallerinden (RES) yarıvariogram tekniği kullanılarak incelenen nokta ile diğer noktalar arasında farklar temeline dayanan, daha açık bir ifadeyle; bir noktaya diğer noktaların yani alanın etkilerini araştırılmasıdır. Tezde noktasal toplam yarıvariogram yöntemi geliştirilerek çoklu noktasal toplam yarıvariogram yöntemi önerilmiştir ve incelenen değişkenlerin alansal tahmini yapılmıştır.

Yarıvariogram tekniği, jeostatistiğin önemli bir ölçüsüdür ve bir konum boyunca alan değişikliğinin oranını ifade etmektedir. Jeostatistiksel analiz, incelenen verinin uzaysal devamlılığını ve değişiminin modellenmesidir. Rüzgar ve değişkenlerinin alan modellenmesi yeni bir konudur. Genel itibarı ile bakıldığında, meteoroloji literatüründe alan çalışmalarında çoğunlukla gridlendirme ve haritalama yöntemleri kullanılmaktadır. Noktalar arasındaki mesafe ve alansal ilişki göz önüne pek alınmamaktadır. Tezin getirdiği önemli bir yenilik ise, noktasal toplam yarıvariogram (NTYV) tekniğini geliştirerek çoklu-NTYV yaklaşımının kullanılmasıdır. Ölçümü yapılan bütün değişkenlerin hesaba katılarak incelenen RES sahası için “Saha Etki Katsayısı” geliştirilmiştir. Kullanılan veri olarak ise, santral haricinde dışarıdan bir veriye gereksinim duymaması ise, santral işleticileri açısından önemli bir avantajdır. Böyle bir tez çalışmasının temel nedenleri aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Ülkemizin de enerji piyasasını liberalleştirme yönünde gitmesi ve RES’lerden üretim tahmininin önemli hale gelmesi,
- RES’lerden incelenen parametrelerin eksik verinin tamamlanması,
- RES’lerden alansal tahmin yapılması,
- NTYV konsepti geliştirilerek çoklu-NTYV tekniğinin önerilerek uygulanması.

Variogramlar, jeostatistiğin temel yaklaşımlarındandır. İncelenen parametrenin veya değişkenin mesafe ve yöne değişim oranını incelemektedir. Birbirine yakın olan 2 değişkenin daha fazla benzer özellikler ve değerler göstermesi beklenir. Yani, yakın değişkenler arasındaki korelasyon, birbirine uzak iki değişken arasındaki korelasyondan daha fazladır. Mesafe arttıkça, iki değişken arasındaki korelasyon alanın ve değişkenin homojen yapısına bağlı olarak azalır.

Matheron (1963) tarafından önerilen yarıvariogramın en önemli kabullerinin başında durağanlık ve eşit mesafelere bağlı olarak alan ilişkisi gelmektedir. Burada noktasal bir ilişkiden daha çok düzgün dağılım gösteren alansal ilişkiye bakılmaktadır. Durağanlığın bulunmaması durumunda rastgele dağılı noktalar arasındaki ilişkiye, yarıvariogram yaklaşımı doğru sonuçlar vermemektedir. Bu hususun aşılabilmesi için Şen (1989) tarafından yapılan çalışmada noktasal toplam yarıvariogram (NTYV) metodu, incelenen değişkenin durağanlığının bulunmaması ve incelenen noktaların rastgele dağılmış olmasına göre nokta ile alan arasındaki ilişki geliştirmiştir.

X_r , referans noktası ve, $h_1, \dots, h_n$ bu referans noktası ile diğer noktalar arasındaki mesafeler olmak üzere değişim karesinin beklenen değeri

$$E[(X_r - X_{hi})^2] \geq 0 \quad i = 1, \dots, n \quad (1)$$

ve yarıvariogram da

$$Y(h_i) = \frac{1}{2(n-1)} \sum_{i=1}^n (X_r - X_{hi})^2 \quad (2)$$

Bu tez çalışmasında tek değişken ve mesafeye bağlı olarak hesaplanan NTYV yaklaşımına ilave olarak çok değişken ve mesafeye bağlı çoklu-NTYV yaklaşımı getirilmiştir. Buna göre, alan tahmin hesaplamalarında tesir katsayılarının veri ile beraber mesafeye bağlı olarak oluşturdukları ağırlıklı ortalamalar kullanılmaktadır. Tahminlerin yapılabilmesi için;

$$A = w(h_{st,1}) + w(h_{st,2}) + \dots + w(h_{st,n}) \quad (3)$$

$$X_T = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^n X_i w(h_{st,i})$$

değerlerinin bulunması gerekmektedir. A, tesir katsayılarının ağırlıklı ortalama etkisini temsil ederken, X_T ise sonuç olarak alan esaslı ağırlıklı ortalama tahmin değerini vermektedir. Tezde aşağıdaki adımlar izlenmiştir;

1. Referans bir nokta seçilmiş ve seçilen bu nokta ile diğer noktalar arasındaki mesafeler hesaplanmıştır. Eğer, n tane nokta varsa, mesafe sayısı da n-1 tane olacaktır. Bu noktalar küçükten büyüğe doğru sıralanmıştır,
2. Seçilen referans nokta ile diğer noktalar arasındaki değerlerin farklarının karelerinin ardışık toplamaları alınmış ve yarıvariogram olabilmesi için her değer yarıya bölünmüştür,
3. Herbir noktanın mesafe değerlerine (X ekseninde) karşılık gelen NTYV değerleri Y ekseninde işaretlenmiştir,
4. Elde edilen fonksiyonun X ekseninde mesafeler ve Y ekseninde ise NTYV değerleri hesaplanmıştır. Bunların nokta-alan ilişkilendirme hesaplamalarında kullanabilmek için, her bir noktadaki değerler en büyük değerlere bölünerek standart ve birimsiz hale getirilmiştir.
5. İncelenen her nokta için bulunan SAB fonksiyonunda noktalar arasındaki mesafelere göre ağırlıklı ortalamalar alınarak alansal tahminler yapılmıştır.
6. Noktasal toplam yarıvariogram (NTYV) tekniği geliştirilerek herbir noktada birden fazla değişken için çoklu-yarıvariogram hesaplamaları üzerinden alansal tahminler yapılmıştır.

Tezde yapılmaya çalışılan incelenen bütün değişkenleri kullanarak alansal bir formülasyon geliştirilmesidir. İncelenen herbir değişken için alan bağımlılık katsayısı standartlaştırılmış değeri çarpılarak alan bağımlılık toplamına bölünmüştür. İncelenen rüzgar türbini için toplam alandaki değişkenlerin etkisi hesaplanmış ve Saha Etki Katsayısı bulunmuştur. Bu hesaplama çoklu-yarıvariogram tekniği ile yapılmıştır. Yani, her bir türbin ve incelenen değişken için alandaki bütün değişkenlerin de hesaba katıldığı bir katsayı geliştirilmiştir. SEK için aşağıdaki hesaplamalar yapılmaktadır. Aşağıdaki Denklem 4 ile rüzgar şiddeti (V) değişkeni için verilmiştir.

$$\begin{aligned}
SEK_v = & \left\{ (\sum_{i=1}^n (T)i * \frac{\sum_{i=1}^n (SBK)Ti}{\sum_{i=1}^n (TAKrefV)i} \right\} + \left\{ (\sum_{i=1}^n (P)i * \frac{\sum_{i=1}^n (SBK)Pi}{\sum_{i=1}^n (TAKrefV)i} \right\} \\
& + \left\{ (\sum_{i=1}^n (GT)i * \frac{\sum_{i=1}^n (SBK)GTi}{\sum_{i=1}^n (TAKrefV)i} \right\} + \left\{ (\sum_{i=1}^n (VB)i * \frac{\sum_{i=1}^n (SBK)VBi}{\sum_{i=1}^n (TAKrefV)i} \right\} \\
& + \left\{ (\sum_{i=1}^n (RP)i * \frac{\sum_{i=1}^n (SBK)RPi}{\sum_{i=1}^n (TAKrefV)i} \right\} \quad (4)
\end{aligned}$$

Yukarıdaki Denklem 4'ün yani rüzgar şiddeti değişkeni hesaplamasının matris gösterimi aşağıdaki şekilde verilebilir:

$$SEK_v = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n (PSD)i & \sum_{i=1}^n (TSD)i & \sum_{i=1}^n (GTSD)i & \sum_{i=1}^n (VBSD)i & \sum_{i=1}^n (RPSD)i \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \frac{\sum_{i=1}^n (SBKP)i}{TAKrefV} \\ \frac{\sum_{i=1}^n (SBKT)i}{TAKrefV} \\ \frac{\sum_{i=1}^n (SBKGT)i}{TAKrefV} \\ \frac{\sum_{i=1}^n (SBKVB)i}{TAKrefV} \\ \frac{\sum_{i=1}^n (SBKRP)i}{TAKrefV} \end{bmatrix} \quad (5)$$

Yapılan tez çalışmasında İstanbul, Aydın, Balıkesir ve Amasya illerinde işletmede bulunan 4 adet RES'e ait veriler kullanılmıştır. Toplamda 31 adet rüzgar türbini verisi incelenmiş olup 15 adet 2 MW; 16 adet 2.5 MW kurulu gücündeki rüzgar türbinlerinin, aralarındaki mesafe, rüzgar şiddeti, üretim, sıcaklık, jeneratör sıcaklığı, vibrasyon ve reaktif güç verileri incelenmiştir.

İncelenen her bir rüzgar türbin verisi %70 eğitim ve %30 test verisine ayrılmış olup çoklu-NTYV %70'e ait saha katsayılarından %30 ölçülmüş veri ile çarpılarak edilmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bulunan sonuçlar tahmin doğruluğunun ölçülmüş değere %85-%95 arasında yaklaştığını göstermiştir. RES projeleri için bulunan alansal tahmin aralığı iyi bir yaklaşımdır. Geliştirilen modelin karşılaştırılması amacı ile çoklu regresyon yaklaşımı da uygulanarak sonuçlar kıyaslanmıştır. Geliştirilen çoklu-NTYV yönteminden daha yüksek tahmin başarı oranı elde edilmiştir. Ortalama verilere ek olarak aynı yöntem 1 aylık veri için de uygulanmıştır. 1 aylık incelemede de önerilen çoklu-NTYV yönteminin çoklu regresyon yönteminden saha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Türbin konum yüksekliklerinin sonuçlar üzerinde etkisinin bulunduğu gözlemlenmiştir. Söke RES projesinde en başarılı alansal tahmin sonuçları elde edilmiştir. Diğer projelere bakıldığında yükseklik farklılıklarından dolayı alansal tahmin doğruluğunun biraz daha düşük olduğu görülmüştür.

Alansal modelleme için bütün değişkenler tek tek çıkarılarak hangi değişkenin alansal modellemeye negatif ve pozitif katkıda bulunduğu anlaşılmaya çalışılmıştır. Amasya RES için değişkenler çıkarılarak yapılan hesaplamalara bakıldığında vibrasyon değişkeni çıkarıldığında alansal modelleme doğruluğunun arttığı söylenebilir. Yükseklik değişkeni çıkarıldığında ise, diğer bütün değişkenlerin R² belirlilik değeri yani tahmin doğruluğu düşmektedir.

Söke RES değişken çıkarılarak yapılan alansal modelleme senaryo sonuçlarına göre reaktif güç çıkarıldığı durumda en yüksek tahmin doğruluğu elde edilmektedir. Rüzgar şiddeti değişkeni çıkarıldığında ise, her üç değişkenin de tahmin doğruluğu azalmaktadır.



SPATIAL FORECAST OF PRODUCTION AND OPERATION VARIABLES FROM WIND POWER PLANTS USING MULTI-SEMIVARIOGRAM METHOD

SUMMARY

Meaning of wind in meteorology science is simply moving air. From ancient times, people used wind as a source of energy although not knowing the source of the wind. In this respect, first practices of using wind was grain grinding and sailing boats. Although the ancient Greeks and Romans used to float the sailing boats, it was not done by them to take advantage of the wind power. Using wind energy for ordinary people has started in Central and East Asia. Windmills were first seen in Iran, Afghanistan, Pakistan, Tibet and East Asia and China.

With the industrial revolution, steam machines came out in the 18th century and the world began to take advantage of machines based on thermodynamic processes. Especially, the use of fossil fuels such as coal, oil and gas has become more advantageous due to the fact that they provide energy source when requested. Today, wind energy is increasing day by day, even though it cannot be produced in quantities that can cover energy deficit. The main reasons for this are relatively low operating costs and no need for raw materials.

As of the end of 2017, approximately 500,000 MW of wind power capacity connected to grid in the world. By June 2018, when the dissertation was written, it had 550,000 MW installed power. Planning such a large installed production and transmission system planning is crucial. Especially the European countries have started to work in the 1990s in the subject. Short-term wind energy forecasting from wind power plants (WPP) and energy production planning are becoming very important.

One of the most important features of liberalized energy markets lies in the planning of distribution and generation of electricity. Companies that supply electricity to the majority of EU countries have to meet a certain amount of energy required by the legislation in their country from renewable energy sources. Today, the use of renewables is mostly through wind and solar energy. When planning for this purpose, companies want to be able to make energy plans for at least 0-48 hours in order to be able to fill the portfolio by focusing on wind power plants. While there is no such problem in power plants operating with traditional energy sources, this situation poses a serious problem in renewables. That's the reason most companies in Europe work with wind energy forecasting models. Regarding the subject, the Wind Power Monitoring and Forecasting Center (RITM) was established in 2010 within the scope of YEĞM in our country.

The theme of this thesis is spatial forecast of variables from wind power plants. The method is based on the difference between the point studied by using wind power plants (WPP) and the variogram technique and the other points; to investigate the effects of other points, on examined point. Point total semivariogram (PTSV) method in the thesis has been developed and a multi point total semivariogram (MPTSV) method has been proposed and an area estimation of the examined variables has been made.

The semivariogram technique is an important measure of geo-statistics and represents the proportion of areal change along a field. Field modeling of wind and other variables is a new subject. In general, meteorological studies concentrated grid and mapping methods. The distance between the points and the spatial relationship are not usually taken into consideration. An important innovation brought by the thesis is the use of Multi-PTSV technique by improving PTSV technique. All measured variables are taken into account for the calculations. Due to fact that, wind power plant own data used, it is a significant advantage in terms of the power plant operators if it does not require an external data source other than the plant. The main reasons for such a thesis work can be listed as follows;

- The fact that our country is liberalizing the energy market and the forecasting of production from WPPs becomes important,
- Completion of incomplete data of parameters analyzed from WPP,
- Spatial forecast from WPP,
- The application of multi-point total semivariogram technique by developing semivariogram concept.

Variograms are the basic approaches to geostatistics. It examines the distance and direction change ratio of the variable examined. Two variables close to each other are expected to show more similar properties and values. That is, the correlation between nearby variables is greater than the correlation between two distant variables. As the distance increases, the correlation between the two variables diminishes and there is such a point that this correlation becomes zero. Thus, the variogram graph also shows the distance at which the correlation between the variables will be zero.

One of the most important assumptions of the semivariogram proposed by Matheron (1963) is the field relation, which depends on stationarity and equal distances. Here, a pointwise relation is given to a more uniform distribution of spatial relations. In the absence of stability, the relationship between randomly distributed points does not give accurate results. In order to overcome this issue, the point total semivariogram (PTSV) method was introduced by Şen (1989), the lack of stability of the examined variable and the random distribution of the examined points, PTSV, which is based on the variogram of the calculations and acceptance used, was mostly used in earth science studies.

X_r is the reference point and $h_1 \dots h_n$ is the expected value of the change point, which is the distance between this reference point and the other points

$$E[(X_r - X_{hi})^2] \geq 0 \quad i = 1, \dots, n \quad (1)$$

and thus semivariogram;

$$Y(h_i) = \frac{1}{2(n-1)} \sum_{i=1}^n (X_r - X_{hi})^2 \quad (2)$$

In the spatial estimation calculations, the weighted averages of the influence coefficients are used together with the data depending on the distance. Therefore, in order to make estimations;

$$A = w(h_{st,1}) + w(h_{st,2}) + \dots + w(h_{st,n}) \quad (3)$$

$$X_T = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^n X_i w(h_{st,i}) \quad (4)$$

can be formulated. A represents the weighted average effect of the influence coefficients, while X_T yields the area-based weighted average predicted value. The following steps carried out in order to calculate PTSV;

1. A reference point selected and distances between this selected point and other points calculated. If there are n points, the number of distances will be n-1. These points must be aligned from small to large distances,
2. Each value must be divided into half so that consecutive sums of the squares of differences of the values between the selected reference point and other points can be taken and the semi-variogram can be obtained,
3. The PTSV values corresponding to the respective distance values (on the X axis) are marked on the Y axis,
4. Obtain the distances on the X axis of the obtained function and the PT values on the Y axis. To use these in point-domain association calculations, the values at each point are divided by their largest values into standard and unit-free.
6. Semi-variogram technique was developed and estimates were made on multi-semivariogram calculations.

In the thesis, the relations between the variables investigated by the semivariogram method were found. A spatial formulation has been developed using all the variables studied. The field dependency coefficient for the examined variable and the standardized value of the examined variable are multiplied and divided by the field dependency sum. For the examined wind turbine, the effect of the variables in the total area was calculated and the site effect coefficient (SEC) was found. This calculation is done with a multi-semivariogram technique. That is, a coefficient has been developed for each turbine and for each variable examined. The developed equations for wind speed variablr can be given as follows:

$$\begin{aligned}
\mathbf{SEC} = & \left\{ \left(\sum_{i=1}^n (T)i * \frac{\sum_{i=1}^n (SBK)Ti}{\sum_{i=1}^n (TAKrefV)i} \right) + \left\{ \left(\sum_{i=1}^n (P)i * \frac{\sum_{i=1}^n (SBK)Pi}{\sum_{i=1}^n (TAKrefV)i} \right) \right. \right. \\
& + \left\{ \left(\sum_{i=1}^n (GT)i * \frac{\sum_{i=1}^n (SBK)GTi}{\sum_{i=1}^n (TAKrefV)i} \right) + \left\{ \left(\sum_{i=1}^n (VB)i * \frac{\sum_{i=1}^n (SBK)VBi}{\sum_{i=1}^n (TAKrefV)i} \right) \right. \right. \\
& \left. \left. + \left\{ \left(\sum_{i=1}^n (RP)i * \frac{\sum_{i=1}^n (SBK)RPi}{\sum_{i=1}^n (TAKrefV)i} \right) \right\} \right\} \right\} \quad (5)
\end{aligned}$$

Matris form of Equation 5 can be shown below:

$$\mathbf{SEK}_V = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n (PSD)i & \sum_{i=1}^n (TSD)i & \sum_{i=1}^n (GTSD)i & \sum_{i=1}^n (VBSD)i & \sum_{i=1}^n (RPSD)i \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \frac{\sum_{i=1}^n (SBKP)i}{TAKrefV} \\ \frac{\sum_{i=1}^n (SBKT)i}{TAKrefV} \\ \frac{\sum_{i=1}^n (SBKGT)i}{TAKrefV} \\ \frac{\sum_{i=1}^n (SBKVB)i}{TAKrefV} \\ \frac{\sum_{i=1}^n (SBKRP)i}{TAKrefV} \end{bmatrix} \quad (6)$$

This thesis used 4 wind power plants in operation in İstanbul, Aydın, Balıkesir and Amasya provinces of Turkey. A total of 31 wind turbine data were analyzed. 15 units of 2 MW; and 16 units of 2.5 MW wind turbine data studied. The wind turbine distance, wind speed, production, temperature, generator temperature, vibration and reactive power data are worked. Each of the wind turbine data examined was divided into 70% educational and 30% test data and the multi-point total semivariogram was processed with 30% of the field coefficients from 70% education data and the results obtained were compared. The results show that the prediction accuracy approximates the measured value between 85% and 95%. The forecast range given for the WPP projects is a good approach. The developed multi-semivariogram method has been tested with linear multiple regression approach. In addition, the same methods were applied for 1 month data. Total data and 1-month data study has shown that developed multi-point total semivariogram method had better forecast results than linear multiple regression method.

Considering the calculations made by subtracting the variables made for Amasya RES, it can be said that the correctness of the area modeling is increased when the vibration variable is removed. When the height variable is excluded, the R^2 value of all other variables falls. The highest prediction accuracy is obtained when reactive power is extracted according to the spatial modeling scenario results obtained by Söke RES. When the wind speed variable is removed, the prediction accuracy of all three variables is reduced.



1. GİRİŞ

Ülkemizde hızla büyüyen sanayi sektörüne paralel olarak gelişen sosyo-ekonomik kalkınmanın beraberinde getirdiği hayat standardının yükselmesi, elektrik enerjisine olan talebin giderek artmasına neden olmaktadır. Bu talebin sürekli gelişen teknolojiye bağlı olarak hızla artması elektrik enerjisini sosyal hayatın kaçınılmaz bir unsuru haline getirmiştir. Ayrıca, ülke geneline yayılan elektrik enterkonnekte sistemin sağladığı güvenilirlik ve süreklilik yanında, en küçük yerleşim birimine kadar uzanan dağıtım şebekesinin tüketiciye sağladığı kullanım kolaylığı, elektrik enerjisi tüketiminin toplam enerji tüketimi içindeki payının hızlı bir şekilde artmasına neden olmuştur. Ülkemizde 2001 yılı Mart ayına kadar enerji sektörü ile ilgili hedef ve politikaların saptanması ve uygulanması enerjinin, üretim, iletim ve dağıtım tesislerinin politikalara uygun şekilde kurulmaları ve işletilmeleri için gerekli tedbirlerin alınması, enerji fiyatlandırma esaslarının tespit edilmesi, enerji kaynak ve tesislerinin işletilmesine ilişkin hakların verilmesi, bu konuda çeşitli nitelikte sözleşmeler yapılması ve gerekli denetimlerin gerçekleştirilmesi Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının (ETKB) yetki ve sorumluluğunda bulunmakta idi. Liberal enerji piyasasına geçiş sürecinin gerçekleştirilmesi için kurulan Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK), Bakanlığın yerini almıştır. 4628 sayılı kanunun yürürlüğe girmesiyle; elektriğin yeterli, kaliteli, sürekli ve düşük maliyetli ve çevreyle uyumlu bir şekilde tüketicilerin kullanımına sunulması için rekabet ortamında özel hukuk hükümlerine göre faaliyet gösterebilecek, mali açıdan güçlü ve istikrarlı ve şeffaf bir elektrik enerjisi piyasası oluşturulması ve bu piyasada bağımsız bir düzenleme ve denetimin sağlanması amaçlanmıştır. Ardından gelen 6446 Sayılı Kanun da serbest elektrik piyasasını pekiştirmiştir. Bu kanunun yürürlüğe girmesine müteakip geçiş dönemi sonunda, EPDK, Türkiye’de enerji sektörü ilgili hedef ve politikaların saptanması, uygulanması, enerji üretim, iletim ve dağıtım tesislerinin politikalarına uygun şekilde kurulmaları ve işletimleri için gerekli tedbirlerin alınması, enerji fiyatlarının tespit edilmesi, enerji kaynak ve tesislerinin işletilmesine

ilişkin hakların serbest rekabet ortamında yürütülmesini sağlamaktadır (Durak, 2001).

1970’li yıllardaki petrol krizini takiben enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesine başlanmıştır ve ülkeler alternatif enerji arayışına girmişlerdir. O yıllarda yenilenebilir enerji kaynakları ekonomik olmayışı sebebi ile büyük bir gelişme kaydedememiştir. 1990’lı yılların başından itibaren YEK teknolojisi konvansiyonel (geleneksel) enerji kaynakları ile rekabet edilebilir seviyeye gelmeye başlamıştır.

1.1 Rüzgar Enerjisi Kullanımı Tarihçesi

Rüzgar kelime anlamı olarak, devir, hengan ve alem anlamlarını taşımaktadır. Meteorolojide anlamı ise, en basit olarak hareket eden havadır. İlk insanlar rüzgarın kaynağının nedenini bilmemekle beraber, onu kullanma yoluna gitmişlerdir. Bu yönde ilk uygulamalar, tahıl öğütme ve yelkenli gemilerin yüzdürülmesi ile başlamıştır. Eski Yunanlılar ve onları takiben Romalılar yelkenli gemilerini yüzdürmek için kullanmışsa da, toplumun diğer faaliyetlerinde rüzgar gücünden faydalanma onlar tarafından yapılmamıştır. Dairesel hareketli yel değirmenlerinden yararlanma Orta ve Doğu Asya toplumlarında görülmüştür. Bunun örnekleri İran, Afganistan, Pakistan, Tibet ve Doğu Asya ve Çin’de karşımıza çıkmaktadır.

İnsanlar, milattan önceki devirlerde bile, yelkenli gemilerin yüzdürülmesi dışında; düşük seviyelerdeki suların daha yükseğe çıkarılmasında ve buğday öğütülmesinde rüzgar enerjisinden faydalanmıştır. Özellikle İran’da bulunan yel değirmenleri, Haçlı Seferleri ile beraber Batı’ya götürülmüştür. Rüzgar enerjisinin toplum tarafından kullanımı, sanılan aksine Batı Medeniyetlerinde değil; Asya Medeniyetlerinden olan Çin, Tibet, Hindistan, Afganistan ve İran’da başlamıştır. Rüzgar türbinleri (RT) hakkında ilk yazılı bilgiler, M.Ö. 200 ~ 300 yıllarında yatay eksenli yel değirmenleri ile ilgili olarak yazılmıştır. Ayrıca M.Ö. 700 yıllarında İranlıların da düşey eksenli yel değirmenleri kullandığı somut kanıtlardan bilinmektedir. Rüzgar gücü kullanım olarak Asya’dan Avrupa’ya 10. yüzyıl civarında geçmiştir. Bu geçişin ilk belirtileri olarak 11. ve 12. yüzyılda İngiltere’de yel değirmenlerinin kullanımı gösterilebilir. 1190’lı yıllarda Alman Haçlıları yel değirmenlerini Suriye’den ülkelere götürmüşlerdir. Ortaçağ dönemlerinden bu yana kullanılan yel değirmenleri kuyulardan su çekmek ve tahıl öğütme amacı ile kullanılmıştır. Hollanda ve Akdeniz’deki bir çok adada bunların örnekleri bulunmaktadır. Tarihçiler, MÖ

1700'lü yıllarda Babillilerin Mezopotomya civarında sulama amaçlı yel değirmenlerinin kullanıldığını söylemektedirler. İlk yazılı bulgular da, MS 700'lü yıllarda İran'da bulunmuştur (Durak ve Özer, 2008).

Dünyamızın sahip olduğu yenilenebilir enerji potansiyeli yeryüzündeki ülkelerin enerji ihtiyaçlarının toplamını karşılayacak kapasitededir. Örneğin, günlük rüzgar enerjisi girdisinin %1'inin kullanımıyla dünya enerjisinin tamamını karşılamak mümkündür. Aslında rüzgarın günün hangi saatlerinde, yılın hangi mevsiminde nerelerde fazlaca estiği anlaşıldıktan sonra kullanım yoluna gidilmiştir. İlk insanlar uzun yıllara dayanan tecrübe ve tabiatın verilerini kullanarak rüzgar potansiyelini belirlemişlerdir.

Endüstri devrimi ile beraber 18. yüzyılda buhar makinalarının ortaya çıkması sonucu dünya enerji gücünün temini için termodinamik işlemlere dayanan makinalardan yararlanmaya başlamıştır. Özellikle kömür, petrol, gaz gibi fosil yakıtların kullanımı, istenildiği zaman enerji kaynağı sağladıkları için bu makinaları daha avantajlı hale getirmiştir. Günümüzde rüzgar enerjisi kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Bunun temel nedenleri arasında, yerli enerji kaynağı olması, işletme giderlerinin çok düşük olması ve ham madde gerektirmemesi yatmaktadır.

Dünyada 2017 yılı sonu itibarı ile 510.000 MW'a yakın rüzgar elektrik santral (RES) kurulu gücü bulunmaktadır. Tezin teslim edildiği Temmuz 2018 itibarı ile ise, 550.000 MW kurulu güç bulunuyor idi. Böyle büyük bir kurulu gücün üretim ve iletim sistem planlaması büyük önem arz etmektedir. Özellikle Avrupa Ülkeleri konu ile ilgili olarak 1990'lı yılların sonlarına doğru çalışmaya başlamıştır.

Liberalleşen enerji piyasalarında en önemli özellik olarak elektrik enerji üretim ve elektrik enerjisi dağıtım planlamasının yapılması yatmaktadır. Yenilenebilir Enerji Kaynakları (YEK) kullanımının yaygınlaştırılması için AB Ülkelerinin çoğunda elektrik dağıtımı yapan şirketler ülkelerindeki mevzuat gereği, enerjinin belli bir kısmını yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılamak zorundadır. Günümüzde YEK kullanımı en fazla rüzgar ve güneş enerjisi yolu ile olmaktadır. Şirketler bu amaçla planlama yaparken rüzgar elektrik santrallarına ağırlık vererek YEK kullanım portföyünü doldurabilmek için en azından 0-48 saate kadar olan enerji planlamalarını yapabilmek istemektedirler. Konvansiyonel enerji kaynakları ile çalışan elektrik santrallarında böyle bir husus pek bulunmaz iken; RES'lerde bu durum önemli bir

husus olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu yüzden Avrupa'daki birçok şirket, rüzgar enerjisi tahmin modelleri ile çalışmaktadır. Konu ile ilgili olarak ülkemizde de Mülga Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM, Mülga EİE) bünyesinde 2010 yılında Rüzgar Gücü İzleme ve Tahmin Merkezi (RİTM) kurulmuştur.

1.2 Tezin Konusu

Bu tezin konusu, işletmedeki rüzgar elektrik santrallerinin (RES) değişkenlerini kullanarak alansal tahmin yapmaktır. Yarıvariogram tekniği kullanılarak incelenen nokta ile diğer noktalar arasında yani alanın etkilerini araştırılması ve çoklu noktasal toplam yarıvariogram yöntemi geliştirilerek alansal tahmin modeli yapmaktır. Yarıvariogram analizi, veri dağılımının mesafeye ve yöne bağlı olarak değişimini yani incelenen değişken dağılımının alansal yapısını belirlemek için kullanılan bir yöntemidir. Sonuçta elde edilen eğriler ve noktalar arasında verisi eksik bulunan noktaların verileri de hesaplanabilmektedir. Yarıvariogram tekniği, jeostatistikin önemli bir ölçüsüdür ve bir konum boyunca alan değişikliğinin oranını ifade etmektedir. Rüzgar ve diğer meteorolojik değişkenlerinin alan modellenmesi gün geçtikçe kullanımı artan bir konudur. Genel itibarı ile bakıldığında, meteoroloji literatüründe alan çalışmalarında çoğunlukla gridlendirme ve haritalama yöntemleri kullanılmaktadır. Noktalar arasındaki mesafe ve alansal ilişki göz önüne pek alınmamaktadır. Tezin getirdiği önemli bir yenilik ise, yarıvariogram tekniğinin geliştirilerek Çoklu-Noktasal Toplam Yarıvariogram (çoklu-NTYV) tekniğinin önerilmesidir. Ölçümü yapılan bütün değişkenlerin hesaba katılarak incelenen RES proje sahası için her bir değişkene ait “Saha Etki Katsayısı” geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntem ile ilgili literatürde önemli bir eksiklik tespit edilmiştir. Kullanılan veri olarak, santral haricinde dışarıdan bir veriye gereksinim duymaması, santral işleticileri açısından önemli bir avantaj olarak değerlendirilmektedir.

Böyle bir tez çalışmasının temel nedenleri aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Ülkemizin de enerji piyasasını liberalleştirme yönünde gitmesi ve artan RES kurulu gücüne paralel olarak RES'lerden üretim tahmininin sistem planlayıcısı TEİAŞ için önemli hale gelmesi,
- RES'lerden incelenen parametrelerin eksik verinin tamamlanması,
- RES'lerin işletme değişkenlerinin alansal tahmininin yapılması,

- Yarıvარიogram tekniği geliştirilerek oklu-NTYV alansal modelleme tekniğinin onerilmesi.

1.3 Dünyada Yapılan alışmalar

Rüzgar enerjisi tahmini ve modellemesi ile ilgili olarak dünyada bir çok çalışma yapılmıştır. Özellikle Avrupa'daki niversite ve enstitülerde konu ile ilgili birçok model çalışması bulunmaktadır. Amerika'da ise 2000'li yıllardan sonra konu güncel olmuştur. Bu konudaki çalışmalar genellikle Danimarka ve Almanya'da başlamıştır. Madsen (1995) ile Nielsen ve Madsen (1996) tarafından 2-aşamalı modeller geliştirilmiştir. G korelasyonunu hesaba katarak çalışma yapmışlardır. Bu modeller de MOS sistemi gibi, genellikle istatistiksel post-processing yönteminden yararlanmıştır.

Girit adası için Kariniotakis ve ark. (1997; 1999) Girit adasındaki rüzgar enerji santralleri için çalışmalar yapmışlardır.

Vihriala ve ark. (1999), Kalman filtresini kullanarak değişken hızlı rüzgar türbinleri için güç tahmini yapmıştır.

Rüzgar enerjisi tahmininde yapay sinir ağları yöntemi de çokça kullanılmaktadır. Beyer ve ark. (94), RMS (root mean square) hata payının ısrarlılık modeli tahmin yöntemine göre 1 veya 10 dk aralıklarla ölçülen ortalama rüzgar hızlarında %10 civarında olduğunu bulmuşlardır.

Türksoy (1997), saatlik ve aylık rüzgar verilerini kullanarak modelleme yapmıştır.

Alexiadis ve ark (1998), hareketli ortalamalar (moving average) yöntemini rüzgar hızlarının farkları üzerinde kullanmışlardır ve bu yöntemin rüzgar şiddetinin sadece giriş verisi olarak kullanıldığı zaman verimli olduğunu bulmuşlardır. Israrlılık modelinde %13'lk bir iyileşme, aynı zaman serisinin sinir ağları yöntemine uygulanması ile de tahminlerde sadece %9.5'lik bir iyileşme sağlayabilmişlerdir.

Bechrakis ve Sparis (1998), sinir ağlarını kullanarak sadece hakim yöndeki rüzgar hız tahminlerinde bulunmuşlardır.

Sfetsos (2001), ARIMA ve sinir ağları yöntemlerini kullanarak İngiltere ve Yunanistan'da bulunan rüzgar enerjisi santralleri için 10 dakikalık veri yardımı ile 1

saatlik tahmin yapmıştır. Her 2 yöntemde de bulduğu sonuçlar ısrarlılık modeline alternatif olacak sonuçlar doğurmamıştır.

Oldenburg Üniversitesi tarafından geliştirilmiş olan Previento modeli (Beyer ve ark., 1999; Focken ve ark., 2001) Alman Meteoroloji Servisi tarafından tedarik edilen Deutschlandmodell ve Lokalmmodell (LM) verilerini NWP giriş verisi olarak kullanmışlardır. En önemli parametre olarak atmosferin stabilite durumu olduğu görülmüştür.

Şahin (2001), yarı-variogram tekniğini kullanarak alansal ve zamansal rüzgar enerjisi tahmini yapmıştır.

WPPT (Wind Power Prediction Tool) Danimarka Teknik Üniversitesi'nde Institute for Informatics Mathematical Modelling (IMM) tarafından geliştirilmiştir. 0.5 saat ile 30 saate kadar tahmin yapabilmektedir. HIRLAM verileri de eklenerek 40 saate çıkarılabilmektedir ve bu versiyon Elsam ve diğer Danimarka'lı Elektrik Şirketleri tarafından kullanılmıştır (Nielsen ve ark., 2002).

3Tier Environmental Forecast Group, Pacific Northwestern US için istatistiksel yöntemleri kullanarak bir model geliştirmiştir (Westrick, 2002).

Tammelin (2002) Finlandiya Meteoroloji Enstitüsü ile birlikte çalışarak rüzgar enerjisi tahmini yöntemi geliştirmiştir. Finlandiya HIRLAM versiyonunu kullanarak küçük ölçekli modellerle birleştirip tahmin modelini ortaya çıkarmışlardır.

Ernst ve ark. (2007), rüzgar üretim tahmininin ulusal elektrik şebekeleri seviyesinde planlama konusunda çalışmalarda bulunmuştur.

Kariniotakis (2009), ekstrem hava koşulları için kısa süreli rüzgar enerjisi konusunda çalışmıştır.

Holmgren ve ark. (2010), meteorolojik parametrelere göre kısa süreli rüzgar enerjisi konusunda çalışmalarda bulunmuştur.

İzgi ve ark. (2010) kısa süreli rüzgar şiddeti tahmini ve güç tahmini karşılaştırması konusunda çalışmıştır.

Öztopal ve ark. (2010), rüzgar şiddetinin bulanık mantık – yapay sinir (Anfis) yaklaşımı ile kısa süreli tahmini üzerine çalışmıştır.

Rüstemoğlu ve Menteş (2010), istatistiksel yöntemleri kullanarak alan akış modelleri ve rüzgar şiddeti tahmini yaparak enerji üretim hesaplamaları yapmıştır.

İzgi ve ark. (2011), yapay sinir ağları ile kısa ve orta vadeli rüzgar enerjisi tahmini üzerinde çalışmıştır.

Menteş ve ark. (2012), Manisa Soma bölgesi için CFD kullanarak WRF modeli kısa süreli rüzgar üretim tahmini üzerinde çalışmıştır.

Özgönenel ve Thomas (2012), Samsun'da 60 m yüksekliğinde ölçümü yapılan rüzgar şiddeti verilerine ARMA algoritmasını uygulayarak rüzgar şiddeti tahmini yapmıştır.

Efe (2012) ve ark., Manisa Soma bölgesi için Mesoölçek Sayısal Hava Tahmin Modeli (WRF) ve Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (WINDSIM) modelini kullanılarak kısa süreli rüzgar enerjisi tahmini çalışması yapmıştır.

Ünal ve ark. (2012), WRF ve MM5 modellerinin kullanarak kısa süreli rüzgar enerji tahmin sistemi oluşturmuştur.

Gernot ve Sebastian (2013), Alman Meteoroloji Servisinin kullandığı GME ve ECMWF'nin kullandığı IFS global modellerinin sayısal hava tahmin verilerini kullanarak Model Output Statistics (MOS) yöntemi ile üretim tahminleri yapmıştır.

Menteş ve ark. (2013), kısa süreli rüzgar tahmin sistemi hazırlayıp TÜBİTAK'a proje olarak sunmuştur.

Tunç (2013), İstanbul'da WRF Modelini kullanarak rüzgar tahmini doğrulamasını incelemiştir.

Kaya ve ark. (2013), Van der Hoven Spektrum yöntemini kullanarak rüzgar şiddeti tahmini yapmıştır.

Lawan ve ark. (2014), kısa süreli rüzgar şiddeti tahmininde kullanılan modelleri detaylı bir şekilde incelemiştir.

Madsen ve ark. (2014), wind atlas yöntemini kullanarak Danimarka'daki 2 RES için üretim tahmini yapmıştır.

Mirzaei ark. (2014), 5 MW referans rüzgar türbini kullanarak üretim tahmini yapmıştır.

Mogerman (2014), MSc tezinde Doppler Lidar yöntemini kullanarak kısa süreli rüzgar enerjisi üretim tahmini konusunu incelemiştir.

İzgi ve ark. (2014), yapay sinir ağlarını kullanarak rüzgar enerjisi tahmini yapmıştır.

Moorthy ve ark. (2015), yapay zeka tekniklerini kullanarak rüzgar enerjisi üretim tahmininde bulunmuştur.

Hodge ve ark. (2015), kısa süreli rüzgar enerjisi üretim tahmininin iletim sistemine etkilerini incelemiştir.

Rosgaard ve ark. (2015), sınırlı alan hava tahmin modelini (limited area weather forecast model - LAM) kullanarak 00 ve 12 olmak üzere günlük iki tahmin yapmıştır.

Svensson (2015), yaptığı MSc tez çalışmasında yapay sinir ağlarını kullanarak kısa süreli rüzgar enerjisi üretim tahmini konusunda çalışmıştır.

Kılıç ve Arabacı (2015), Burdur'da gelecekteki rüzgar hızı değerlerinin yapay sinir ağları metodu ile tahmini konusunda çalışmıştır.

Göçmen ve ark. (2015), denizüstü (offshore) RES'ler için gerçek verilerin kullanıldığı üretim tahmini yapmıştır.

Cadenas ve ark. (2016), ARIMA ve NARX modellerini kullanarak rüzgar şiddeti tahmini üzerine çalışmalarda bulunmuştur.

Men ve ark. (2016), yapay sinir ağlarını kullanarak kısa süreli rüzgar şiddeti ve elektrik üretim tahmini konusunda çalışmışlardır.

Tesfaye ve ark. (2016), küçük ölçekli iletim sistemlerinde elektrik üretim ve iletim planlanmasının yapılması amacı ile yapay sinir ağlarını kullanarak rüzgar enerjisi üretim tahmininde bulunmuşlardır.

Doğancı ve ark. (2016), Orta ve Batı Karadeniz Bölgesi'nde rüzgar enerjisi tahmin çalışmalarında bulunmuşlardır.

Kırbaş ve Kerem (2016), yapay sinir ağları modellerini kullanarak kısa süreli rüzgar enerjisi tahmini yapmışlardır.

Zhang ve ark. (2017), Ramp tahmin yöntemini kullanarak farklı alansal ölçeklerde rüzgar üretim tahmini konusunda önemli çalışmalarda bulunmuştur.

Lenzi ve ark. (2017), spatio-temporal modelleme yöntemini kullanarak 15 dakika – 5 saat arasında yüksek doğrulukta üretim tahmini konusunda çalışmalarda bulunmuştur.

Zheng ve ark. (2017), iki aşamalı ANFIS hiyerarşik model yaklaşımını kullanarak küçük elektrik şebekelerinde kısa süreli rüzgar enerjisi üretim tahmini yapmıştır.

Şenol ve Musayev (2017), yapay sinir ağlarını yöntemini kullanarak rüzgar enerjisi tahmini yapmıştır.





2. TEZDE UYGULANAN YÖNTEM

2.1 Variogram Yaklaşımı

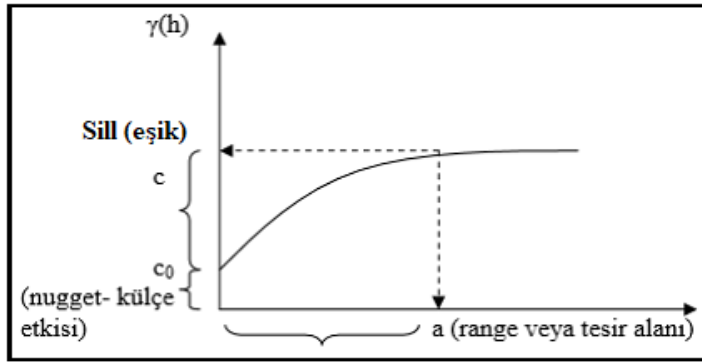
Meteoroloji bilimi ile ilgili yapılan alansal modelleme çalışmalarında çoğunlukla gridlendirme ve haritalama yöntemleri kullanılmaktadır. Noktalar arasındaki mesafe ve alansal ilişki ile ilgili çalışmalar çok fazla değildir. Variogramlar, jeostatistik (geostatistics) bilimlerde çok kullanılan yöntemlerdendir. Bu yöntem, incelenen değişkenin mesafe ve yönle değişim oranını incelemektedir. Tahmin edileceği gibi, birbirine yakın olan 2 değişkenin daha fazla benzer özellikler ve değerler göstermesi beklenir. Yani, yakın değişkenler arasındaki ilişki (korelasyon), birbirine uzak iki değişken arasındaki korelasyondan daha fazladır. Mesafe arttıkça, iki değişken arasındaki korelasyon azalır ve öyle bir nokta gelir ki bu korelasyon sıfır olur. Dolayısı ile variogram grafiği, incelenen değişkenler arasındaki korelasyonun hangi mesafede sıfır olacağını da göstermektedir. Aslında jeostatistiksel analiz yöntemi, konumsal bağımlılığın belirlenmesinde kullanılan genel yöntemlere verilen isimdir. Bu yaklaşım, incelenen değişkenin belirlenmesini ve bu özelliğin çalışma alanı içerisindeki seçilen herhangi bir noktadaki değerinin mümkün mertebe en az hata ile tahmin yöntemidir (Şahin, 2001).

Klasik istatistiksel yaklaşımda kullanılan yöntemlerin çoğu olasılık teorisine dayanır. Olasılık hesapları rastgele olayların bir sonucu olarak irdelenir. Diğer bir deyişle, klasik istatistik rastgele değişkenler teorisinin bir sonucudur. Rastgele olaylarda, değişkenlerin bir diğerinden bağımsızlığı söz konusudur. Halbuki meteorolojik olaylar göz önüne alındığında, bir çok atmosferik hadise, matematiksel bir yapı ile üç boyutlu uzay koordinatında açıklanmaktadır. Bu durum, atmosferik olayların rastgele davranmadığı ve değişkenlerin fonksiyonlarla ifade edilebilen bir davranış sergilediği anlamını taşımaktadır. Dolayısı ile rastgele olmayan değişken davranışının matematiksel bir fonksiyonla ifade edilmesi mümkün olabilmektedir. Bu mantıktan yola çıkarak bölgesel değişkenler kavramı ortaya çıkmıştır. Değişkenler iki türdür;

- i- Bölgesel (regional); değeri ve uzaydaki yer ilişkisi matematiksel bir fonksiyonla açıklanabilen değişkenlerdir. Bölgesel değişkenler “etki alanı” tabir edilen bir alanı veya hacmi tesiri altında tutar ve o alan veya hacme kendi değerinden bir etki taşır (Regional variable).
- ii- Rastgele (Random); değişkenlerin değeri pozisyonları itibarıyla bağımsızdır. Bu bağımsızlık, değişkenin belli bir fonksiyonla irtibatlandırılmalarını imkansız kılar.

Özetle rastgele yapılı veri tabanı için geleneksel istatistik, bölgesel yapılı yani veri-lokasyon ilişkili matematiksel bir fonksiyonla açıklanabilen değişken değerleri için jeostatistik kullanılır.

Variogramların belirli özellikleri bulunmaktadır. Etki alanı (range), incelenen değişkenin tesir mesafesini veya tesir yarıçapını göstermesi açısından çok önemlidir. Bu mesafe variogramda genellikle, eğrinin alt eksene paralel olarak düz bir platoya döndüğü nokta olarak variogramdan okunabilir. Bu plato bir $\gamma(h)$ değerine (varyansa) sahiptir. “sill” (eşik) olarak adlandırılır. Eğrinin sill değerine ulaştığı h mesafesi “range” veya “etki alanı” olarak adlandırılır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 : Variogram özellikleri.

Doğrusal davranışlı bir değişken için, $h=0$ olduğunda, tabii olarak $\gamma(h)$ 'ın da sıfır olması beklenirken pratikte bu durum gerçekleşmez. Çünkü birbirine yakın olan ölçüm noktalarında ölçüm değerleri arasındaki fark genelde sıfır olmaz ve bu durum variogramın sıfırdan farklı bir noktadan başlamasına neden olur. Bu duruma külçe etkisi (nugget effect) denir. Külçe etkisinin özellikleri;

- Örnekleme mesafesi h arttıkça arttığı görülür,

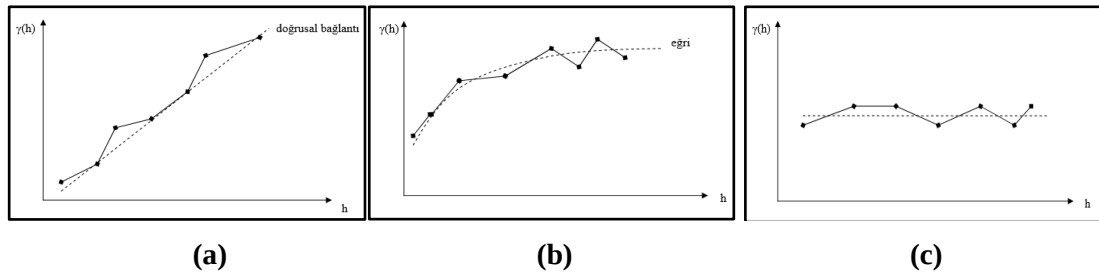
- Sahadan alınan veriler muntazam dağılmayıp bir bölgede kümelenmişse külçe etkisi artar,
- Veri azlığı, ölçüm hataları da külçe etkisini artırır.

2.2 Variogramların Özellikleri

Variogramların çeşitli özellikleri bulunmaktadır. Grafik şekillerine göre incelenen veriler ile ilgili ipuçları vermektedir. Bu özellikler, doğrusal, uniform ve zayıf bağımlılık olarak 3 kategoride incelenmektedir (Erarslan, 2008).

Doğrusal variogram, (h) “lag” mesafesinin artmasıyla muntazam yükselen bir varyans eğrisi iyi bir devamlılığı gösterir. Burada incelenen iki nokta arasındaki değişken arasında doğrusal bir ilişki vardır. Birbirine 300 m mesafede bulunan 2 rüzgar türbini arasında rüzgar şiddetinin değişimi örnek gösterilebilir (Şekil 2.2).

Tipik bir doğrusal variogram grafiği Şekil 2.2a ile incelenebilir. Burada incelenen iki nokta arasında doğrusal bir ilişki vardır. Bu duruma birbirine 500 m mesafede bulunan 2 rüzgar türbini arasındaki sıcaklığın veya rüzgar şiddetinin mesafe ile değişimi örnek gösterilebilir. Şekil 2.2b ile normal veya düşük bağımlılık variogram grafiği görülmektedir. Şekil 2.2c ile zayıf bağımlılık gösteren bir variogram grafiği görülmektedir. İncelenen değişken arasında bağımlılığın olmadığı ve değişkenlerin bağımsız olduğunu gösteren eğridir. Buna örnek olarak, birbirine 500 m mesafede bulunan 2 rüzgar türbini arasındaki reaktif güç ile vibrasyonun değişimi örnek gösterilebilir.



Şekil 2.2 : Doğrusal bağımlılık (a), uniform variogram (b) ve zayıf bağımlılık (c).

2.3 Değişkenlerin Alansal Dağılımı

Alansal dağılım veya uzaysal değişkenlik, alan değişkenlerinin temel bir özelliği olup teknik bilimlerde önemli bir yer tutar (Cressie, 1993). Konu ile ilgili yapılan ilk çalışmalar Matheron (1965, 1971) tarafından yapılmıştır. Ayrıca altın madeninin merkezini tahmin etmek için Güney Afrikalı bir mühendis olan Krige (1951) tarafından da çalışılmıştır. İngilizce anlamı “regionalized variable” olan alan değişkenliğinin isim babası Matheron’dur (1971). Bu teori, aynı zamanda jeoistatistik (geostatistics) olarak ifade edilen uzaysal değişkenlik parametrelerinin tanımlanmasında kullanılmaktadır. Jeostatistiğin temeli birbirine yakın konumda olan aynı değişkenin büyük bir benzerliğe sahip olduğu ve mesafe olarak uzaklaştıkça bu benzerliğin azaldığı ve sonunda biteceği fikrine dayanır. Bu durum olayların veya değişkenlerin alansal ilişki yapısı olarak tarif edilir (Şahin, 2001). Özellikle yer bilimlerinde bu yöntemler alan interpolasyon ve extrapolasyonlarında kullanılmıştır (Cressie, 1993).

Alansal dağılım yer bilimlerine daha çok uygulanmış olsa da bazı araştırmacılar tarafından atmosfer bilimlerine uygulanmıştır (Delhomme, 1978; Gambolati ve Volpi, 1979a,b; Volpi ve diğ., 1979; Pucci ve Murashiqe, 1987; Philip ve Kitanidis, 1989; Subyani ve Şen, 1989, Şen, 1991).

Öztopal ve Şen (1999), İstanbul’da hava kirliliği verilerini kullanarak tesir yarıçaplarını belirlemiştir.

2.4 Objektif Analiz Süreci (Lineer İnterpolasyon)

Lineer ve düzgün noktasal dağılmış olan alansal verilerin interpolasyonu genelde objektif analiz olarak adlandırılan yöntemler ile incelenmektedir. Bu yöntemler, özellikle eksik verilerin tamamlanmasında ve istasyonlar arasında değişkenin mesafeye bağlı olarak değişimin incelenmesinde ve istasyon tesir yarıçaplarının bulunmasında yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Tabii olarak, noktaların etki ağırlıkları mesafe ile ters orantılıdır. Yani, bir noktaya olan mesafe azaldıkça tesir artmakta, noktadan uzaklaştıkça azalmaktadır. Alansal (uzay) interpolasyonunun temeli komşu konumlarda bulunan bilgileri, komşu mesafe değerlerine göre kullanarak ağırlık fonksiyonları oluşturmaktır. Lineer (doğrusal) interpolasyon

tekniki Gandin (1963, 1970) tarafından önerilmiş olup birbirine komşu değerler arasında

$$D_E = \sum_{i=1}^n w_i D_i \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (2.1)$$

doğrusal bağıntı bulunmaktadır. Burada, D_i 'ler ölçüm bulunmayan nokta etrafındaki ölçümleri, D_E ise ölçüm yapılmayan alan değişkenliğinin tahmin değeridir. Tahmin yöntemi olan en küçük kareler yöntemi (least square method) ile kare hatalar ortalaması V_E kolaylıkla minimuma indirilebilmektedir.

$$V_E = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (D_E - D_i)^2 \quad (2.2)$$

Kriging yaklaşımında Best Linear Unbiased Estimate (BLUE) olarak adlandırılan doğrusal en iyi tahmin interpolasyonu kullanılır. Kriging yaklaşımı, doğrusal tahmin için verilen (2.1) ve (2.2) denklemleri ile gerçekleştirilen varyansın minimuma indirilmesi prensibine göre çalışır. Aslında kullanılan çoğu optimum analiz yöntemlerinde, herhangi bir noktadaki tahminin rastgele dağılı alanlardaki değerlerin ağırlıklı ortalaması olarak düşünülmesi esasına dayanır. Buna göre, eğer $i = 1, 2, \dots, n$ meteorolojik değişkeni D_i ölçüm değerlerine sahip istasyonlar veya veri noktası varsa, tahmin edilen değişken D_E

$$D_E = \frac{\sum_{i=1}^n W(r_{i,E}) D_i}{\sum_{i=1}^n W(r_{i,E})} \quad (2.3)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada $W(r_{i,E})$, i . nokta ile tahmin edilen nokta arasındaki ağırlık fonksiyonunu, $r_{i,E}$ ise mesafeyi göstermektedir. Bununla birlikte, (2.3) nolu denklem (2.1) nolu denklem ile birleştirildiğinde

$$w_i = W(r_{i,E}) / \sum_{i=1}^n W(r_{i,E}) \quad (2.4)$$

eşitliği gerçekleştiği sürece aynıdır. Ayrıca birçok çalışmada, ters mesafe $1/r_{i,E}$ ve ters mesafe kareleri $1/r_{i,E}^2$ yöntemi ağırlık değerleri de $W(r_{i,E})$ yerine kullanılmaktadır. Buradaki temel kabullerden birisi de, ağırlıkların incelenen olayın türüne göre belirli bir uzay bağımlılığı davranışı göstermesi gerektiği kabulüdür. Bu

durumda, alan kovaryans ve yarıvariogram fonksiyonları uzay ilişkisini içeren ağırlık fonksiyonlarının en önemli seçenekleri olmaktadır. Ağırlık fonksiyonları ve kovaryans yöntemi alansal değişkenin Gaussian dağılıma uyma şartını getirmektedir. Ancak, yarıvariogram yaklaşımında böyle bir temel şart söz konusu değildir (Şen, 1989). Buradaki temel sorun, fonksiyonların büyük bir kısmı gerçek olayları temsil etmemekte ve yalnızca mantık ve geometri kurallarına göre işlemektedir. Ancak gerçek olaylarda ise, ideal matematiksel eğriler oluşmamaktadır. Uluslararası literatürde çalışılan ağırlık fonksiyonları bütünüyle geometriye dayanmakta ve konumdan konuma değişim gösteren olaylar göz önüne alınmamaktadır. Örnek olarak meteoroloji biliminde Cressman (1959) tarafından çalışılarak önerilen yöntemde;

$$W(r_{i,N}) = \begin{cases} \frac{R^2 - r_{i,N}^2}{R^2 + r_{i,N}^2} & \text{ için } r_{i,N} \leq R \end{cases} \quad (2.5)$$

ağırlık sisteminde, R, tesir yarıçapı veya maksimum tesir mesafesi olup, genelde, kişisel tecrübe veya incelenen değişkenin alansal olaylarla ilgi derecesine göre tespit edilmektedir. Bu denklemde matematiksel olarak kesin bir tesir mesafesi belirlenmemektedir. Bu denklemlerin uygulanmasıyla küçük bir alanda bile değişim gösterebilmektedir. Örneğin, aynı çalışma bölgesinde komşu noktalar arasında ciddi farklar görülebilmektedir. Geometrik ağırlık fonksiyonunun başka bir şekli ise Sasaki (1960) tarafından ileri sürülen ve daha sonra Barnes (1964) tarafından çalışılarak geliştirilen yöntem;

$$W(r_{i,N}) = \exp \left[-4 \left(\frac{r_{i,N}}{R} \right)^2 \right] \quad (2.6)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Geometrik ağırlık fonksiyonları alansal olayların alansal değişkenliğine karşılık gelmemektedirler. Atmosferik olayların incelenmesinde kullanılan yarıvariogram

$$Yh = \sum_i^{i-n} (X_i - X_{i+h})^2 / 2n \quad (2.7)$$

şeklinde ifade edilir. Formülde kullanılan X_i , Bağımsız Değişkenin (BD) ölçülen değeri; X_{i+h} ise h mesafe sonraki değişkenin ölçülmüş değerini ifade etmektedir (Davis, 1986). Böylelikle, h aralığındaki noktalar arasındaki değişken farklarının karelerinin toplamı alınmış olmaktadır. Nokta sayısı n olmak üzere karşılaştırılan noktaların sayısı ise $n-h$ olmaktadır. Yukarıdaki formülden de görüleceği gibi örnek noktalar arasındaki mesafeler sıfır ise, aslında her noktadaki değer kendisiyle karşılaştırılıyor demektir. Böylece, bütün farklar ve yarıvariogram değeri de sıfır olacaktır. Δh 'nin küçük mesafeleri temsil etmesi durumunda karşılaştırılan noktalar birbirine yakın değerlerde olacak ve dolayısıyla yarıvaryans değerleri ise küçük değerler alacaktır. Δh mesafelerinin artması durumunda ise, incelenen ve karşılaştırılan noktalar birbirleriyle daha az ilişkili olacak, farklar artmaya başlayacak ve bunun sonucunda da büyük yarıvaryans değerleri görülecektir.

Bazı mesafelerde karşılaştırılan noktalar birbirlerine çok uzak olmakta ve birbirleriyle ilişkili olmamaktadır. İncelenen değişkenin farklarının kareleri, ortalama değer olarak varyansın değerine eşit büyüklüğe gelmektedir. Yarıvaryans fazla artmamakta ve yarıvariogram değerleri eşik olarak tanımlanan mesafelere paralel bir bölge oluşturmaktadır. İncelenen BD'nin durağan veya her yerde aynı ortalama değerlere sahip olduğu zaman ise; aralıklar dışındaki konumlar merkez noktadan tamamen bağımsız anlamını taşımaktadır. Ancak komşu değişkenlerin değerleri her halükarda merkezdeki BD noktası ile ilişkilidirler. Denklem (2.7) sadece BD'nin durağan olması durumunda geçerlidir. İncelenen değişkenin hareketli olması durumunda ise;

$$Y_h = \frac{\sum \left\{ (X_i - X_{i+h}) - \frac{\sum (X_i - X_{i+h})}{n} \right\}^2}{2n} \quad (2.8)$$

eşitliği geçerli olmaktadır. Eğer incelenen değişken durağan ise ikinci terim sıfır olur ve tekrar (2.7) eşitliği geçerli olur.

BD artık (residual) ve drift (beklenen değer) olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Beklenen değer, i noktasında incelenen BD'nin beklenen değeridir. Yani i noktası civarındaki bütün komşu noktaların ağırlıklı ortalamasıdır. Beklenen değer BD'den çıkarılması durumunda kalanlar ise $R_i = X_i - X_{ort}$ dir. Yani, kalanlar durağan (stasyoner)

olacaktır. Bir sonraki adımda yarivariogram değerlerini hesaplamak mümkündür. Beklenen değer şu şekilde ifade edilir;

$$\left. \begin{array}{l} \overline{X_0} = \sum b_1 X_i \\ \text{veya} \\ \overline{X_0} = \sum (b_1 X_i + b_2 X_i^2) \end{array} \right\} \quad (2.9)$$

Yukarıdaki eşitliklerden birincisi doğrusal beklenen değeri temsil ederken; ikinci eşitlik polinomsal (kuadratik) beklenen değeri temsil etmektedir. Beklenen değerde, b_j katsayılarının hesaplanabilmesi için, birçok denklemin eş zamanlı çözümü gerekmektedir. Yukarıda verilen denklemde farklı noktalara karşılık gelen farklı yanvaryans değerleri değişken olarak kabul edilmektedir. Bununla beraber, bu konumda hala gerekli yarivaryansları hesaplayabilecek yarivariogramlar bulunmamaktadır. Yarivariogramlar, alanlaştınlmış değişkenin veya kalanın uzay davranışını ifade etmektedirler.

Yarivariogramların modellenmesi ile ilgili çalışmalar Clark (1979) ve Olea (1975) ile başlamıştır. İdeal durumda yarivariogramı simgeleyen modelin orjinden başlayarak yumuşak bir şekilde üst limite ulaşması ve daha sonra ise sabit seviyede devam etmesi beklenir.

2.5 Noktasal Toplam Yarivariogram (NTYV)

Matheron (1963) tarafından önerilen yarivariogramın en önemli kabulleri, durağanlık ve eşit mesafelere bağlı olarak alan ilişkidir ve noktasal bir ilişkiden daha çok düzgün dağılım gösteren alansal ilişkiye bakılmaktadır. Değişkenler arasında durağanlığın bulunmaması durumunda rastgele dağılı noktalar arasındaki ilişkiye, yarivariogram yaklaşımı doğru sonuçlar vermemektedir. Bu hususun aşılabilmesi için Şen (1989) tarafından yapılan çalışmada noktasal toplam yarivariogram (NTYV) metodu, incelenen değişkenin durağanlığının bulunmaması ve incelenen noktaların rastgele dağılı olmasına göre nokta ile alan arasında ilişki geliştirmiştir. Kullanılan hesaplama ve kabullerin variogram temeline dayandığı NTYV, Şen (1989) tarafından daha çok yer bilimleri çalışmalarında kullanılmış ve yine Şen (1998) tarafından hava kirliliği konusunda çalışılarak atmosfer bilimlerine uygulanmıştır. NTYV'nin rüzgar

şiddeti ve rüzgar enerjisi verilerine uygulaması Şen ve Şahin (1998) tarafından çalışılmıştır. Şen ve Habib (1998) tarafından geliştirilen standart alansal bağımlılık (SAB) yöntemi ile de nokta ve alan tahminleri de yapılmıştır. Şahin (2001), yaptığı çalışmada NTYV metodolojisine zamanı da katarak alansal-zamansal modelleme gerçekleştirmiştir. Önerdiği bu yöntemleri Türkiye rüzgarlarına uygulayarak çalıştığı meteoroloji istasyonları için alan-zaman modelleri oluşturmuştur. NTYV yöntemi, bir nokta ile diğer noktalar arasındaki farkların temelini baz alan bir yöntemdir. Bu yöntem daha da geliştirilerek Trigonometrik Noktasal Toplam Yarıvarigoram (TNTYV) yöntemine evrilmiştir. Bir noktayı etkileyen en yakın çevre istasyonlarının objektif bir şekilde belirlenerek elde edilen SAB'nın kosinüsü ile çarpılması sonucunda geliştirilen TNTYV; toplam 68 istasyon için uygulanmıştır. Yöntemin başarısı için çalışılan her bir istasyonu her bir zamana göre belirlilik katsayıları (R^2) elde edilmiştir. Birkaç istasyon dışında anlamlı R^2 değerleri zaman tahmini için elde edilmiştir. Yapılan tahminlerin tutarlılığını test etmek için her bir istasyonun Weibull şekil parametreleri elde edilmiş ve ölçülen değerler ile tahminleer arasında bağıl hatalar hesaplanmıştır. Bulunan bağıl hatalar, %5-%20 seviyeye göre oluşturulmuştur (Şahin, 2001).

X_r , referans noktası ve, $h_1, \dots, h_n$ bu referans noktası ile diğer noktalar arasındaki mesafeler olmak üzere değişim karesinin beklenen değeri

$$E[(X_r - X_{hi})^2] \geq 0 \quad i = 1, \dots, n \quad (2.10)$$

ve yarıvarigram da

$$Y(h_i) = \frac{1}{2(n-1)} \sum_{i=1}^n (X_r - X_{hi})^2 \quad (2.11)$$

olarak yazılabilir. Bu durumda, $y(h_i) \geq 0$ ve $y(h_{i-1}) \leq y(h_i)$ eşitsizlikleri sağlanacaktır. Mesafe ve NTYV değerlerinin birlikte kullanımına imkan tanımak ve karelerden dolayı büyük değerler alan NTYV değerlerini 0-1 arasına taşıyabilmek için verinin özellikleri aynen korunacak şekilde standartlaştırma yapılmalıdır. Standartlaştırma yapılırken için her iki veri grubunun herbirisinin en büyük değerine bölünebilir. $y(h_n)$ de en büyük yarıvarigram ve h_n , ise en büyük mesafe değeri olmak üzere;

$$y_{st}(h_i) = \frac{y(h_i)}{y(h_n)} \quad i = 1, \dots, n \quad (2.12)$$

$$h_{st,i} = \frac{h_i}{h_n} \quad i = 1, \dots, n \quad (2.13)$$

$$0 \leq y_{st}(h_i) \leq 1 \text{ ve } 0 < h_{st,i} \leq 1$$

boyutsuz büyüklükleri tanımlanır. Bu hesaplamalarda kendisine yakın noktalarda tesir katsayısı azalacak ve en sonunda sıfır olacaktır. Bütün mesafeler gözönünde bulundurulduğunda ise, standart alan bağımlılık (SAB) fonksiyonu bulunacaktır. Tesir katsayısı w_t olmak üzere

$$(SAB)_i = w(h_{st,i}) = 1 - y_{st}(h_i) \quad (2.14)$$

ve bu durumda $0 \leq (SAB)_i = w(h_{st,i}) \leq 1$ olacaktır.

Alan tahmin hesaplamalarında ise tesir katsayılarının veri ile beraber mesafeye bağlı olarak oluşturdukları ağırlıklı ortalamalar kullanılmaktadır. Dolayısı ile tahminlerin yapılabilmesi için;

$$A = w(h_{st,1}) + w(h_{st,2}) + \dots + w(h_{st,n}) \quad (2.15)$$

$$X_T = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^n X_i w(h_{st,i}) \quad (2.16)$$

değerlerini bulunması gerekmektedir. A, tesir katsayılarının ağırlıklı ortalamaya etkisini temsil ederken, X_T ise sonuç olarak alan esaslı ağırlıklı ortalama tahmin değerini vermektedir. Şimdiye kadar anlatılanları özetlemek gerekir ise NTYV'nin hesaplanabilmesi için aşağıdaki adımlarının izlenmesi gerekmektedir;

- i- İncelenen değişken referans nokta olarak seçilmeli ve seçilen bu nokta ile diğer noktalar arasındaki mesafeler hesaplanmalıdır. Eğer, n adet veri var ise, mesafe sayısı da n-1 tane olacaktır.
- ii- Bu noktalar küçükten büyüğe doğru sıralanmalıdır,
- iii- Seçilen referans nokta ile diğer noktalar arasındaki değerlerin farklarının karelerinin ardışık toplamalarının alınması ve yarıvariogram olabilmesi için her değerın yarıya bölünmesi gerekmektedir,

- iv- Herbir noktanın mesafe değerlerine (X ekseninde) karşılık gelen NTYV değerleri Y ekseninde işaretlenmelidir,
- v- Elde edilen fonksiyonun X ekseninde mesafeler ve Y ekseninde ise NTYV değerleri hesaplanmış olunur. Bunların nokta-alan ilişkilendirme hesaplamalarında kullanabilmek için, her bir noktadaki değerler en buyk değerlere bolnerek standart ve birimsiz hale getirilir,
- vi- Objektif analiz teorisine göre (Cressman, 1959; Barnes 1964) mesafeler artıkça değişkenler arasındaki etkileşim de azalacaktır. Buna dayanarak standartlaştırılmış değerler, l'den çıkarılır,
- vii- İncelenen her nokta için bulunan SAB fonksiyonunda noktalar arasındaki mesafelere göre ağırlıklı ortalamalar alınır ve alansal tahminler yapılır.

Yukarıda detaylı anlatılan süreç, tez çalışmasında incelenen RES projelerine uygulanarak NTYV değerleri hesaplanmıştır.



3. TEZİN UYGULAMA ALANI VE KULLANILAN VERİ

Tez çalışmasında Türkiye'nin çeşitli bölgelerinden temin edilen işletmede olan Rüzgar Elektrik Santrallerinden (RES) rüzgar türbinlerine ait veriler kullanılmıştır. Kullanılan veriler, ilgili RES SCADA'dan alınan üretim, rüzgar şiddeti, sıcaklık, jeneratör sıcaklığı, reaktif güç, vibrasyon ve yükseklik değerleridir. Veriler, ovada, deniz kenarında ve dağda bulunan RES'lerden alınmıştır.

3.1. Tezde Kullanılan İşletmedeki RES Projeleri

Yapılan tez çalışması kapsamında Aydın İli Söke İlçesi, Balıkesir İli Edincik İlçesi, Amasya İli Merzifon İlçesi ve İstanbul İli Silivri İlçesi'nde bulunan rüzgar elektrik santrallerine ait veriler kullanılmıştır. Aşağıdaki Şekil 3.1 ile Türkiye haritası üzerinde çalışılan RES projeleri görülmektedir.



Şekil 3.1 : Kullanılan verilerin alındığı RES'ler.

Toplamda 15 adet 2 MW kurulu güçlü ve 16 adet 2.5 MW kurulu güce sahip dişli kutulu rüzgar türbini incelenmiştir.

3.1.1 Aydın Söke Çatalbük RES

Aydın İli Söke İlçesi Yenidoğan Mevkiinde bulunan 30 MW kurulu güçlü Söke Çatalbük RES projesi verileri üzerinde çalışılmıştır. Toplam 15 adet 2 MW dişli kutulu rüzgar türbini bulunmaktadır. Bu santrale ait yıllık üretim, türbinler arası mesafe, rüzgar şiddeti, jeneratör sıcaklığı ve reaktif güç üretimi verileri kullanılmıştır.

Proje sahası, Söke İlçe merkezine kuş uçuşu 5 km mesafededir. Saha Aydın İli'ne 43 km mesafede olup, Kuzeybatısında Savuca Beldesi ve Söke İlçe Merkezi, Güneybatısında Akçakonak, Gölbent ve Güllübahçe Beldeleri yer almaktadır. Sahanın doğusunda ve güneyinde herhangi bir engel bulunmamaktadır. Sahanın en düşük kotu 6 m iken en yüksek kotu 10 m olup ortalama yükseklik 8 m civarındadır. Kuzeybatısında ve hemen 1 km mesafe sonra Dilek Yarımadası Dağları başlamaktadır. Bu dağların yüksekliği yaklaşık 450 m ile 800 m civarında değişmektedir. Sahanın genel yapısı oldukça düz olmakla birlikte Dilek Yarımadası Dağları'nın bulunması dikkat edilmesi gereken bir durumdur. Hakim rüzgar yönü doğu-doğu-kuzey olup özellikle yaz aylarında yüksek rüzgar şiddeti ve dolayısıyla üretim değerleri görülmektedir. Proje sahasının 5 km batısında bulunan ve kotun 500 – 800 m arası değiştiği Dilek Yarımadası dağları sebebi ile yaz aylarında görülen kuzeyli rüzgarlar katabatik (fön) rüzgar karakterine sahiptir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 : Söke Çatalbük RES google earth görünümü.

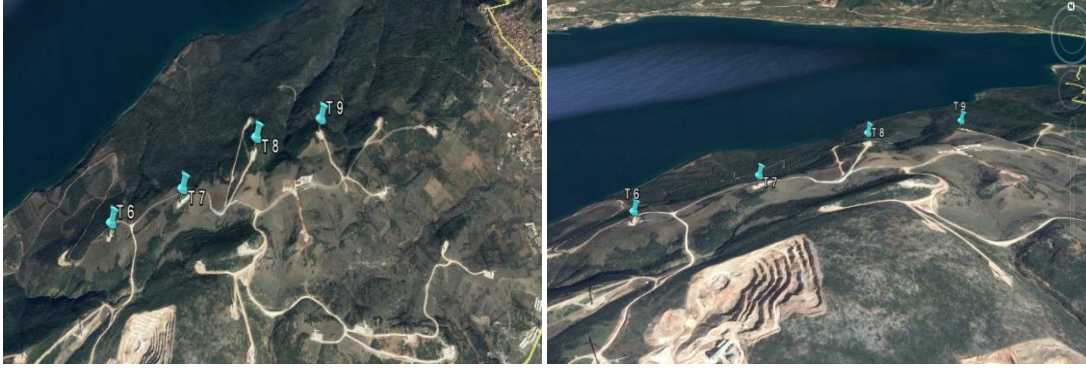
Yukarıdaki bilgiler ışığında incelenen Söke RES verilerine ait özet bilgiler aşağıdaki tabloda görülmektedir. Burada yaklaşık 4 yıllık üretim verilerinin ortalama değerleri görülmektedir. Sahada yıllık 6 m/s civarında rüzgar şiddeti olup Class III rüzgar türbinleri kullanılmıştır. Çizelge 3.1 kullanılan veriler, 01.02.2012 - 31.12.2016 arasını kapsamakta olup toplam 46 aylık veridir.

Çizelge 3.1 : Söke RES özet veriler (ortalama değerler).

Türbin No	Mesafe (m)	Rüzgar Şiddeti (m/s)	Üretim Değeri	Jeneratör Sıcaklığı (C)	Reaktif Güç
T1	0	6,0800	633,880	75,840	29,460
T2	602	5,8100	551,360	73,320	33,780
T3	529	6,0600	620,330	76,460	28,770
T4	576	5,8600	577,300	74,460	37,460
T5	1060	6,0200	624,750	76,170	35,140
T6	946	5,8400	555,600	74,610	38,740
T7	1550	6,3200	648,860	79,200	37,700
T8	1398	5,8400	546,140	74,770	38,500
T9	1865	5,7800	549,320	75,530	35,090
T10	2086	5,9400	581,090	77,830	39,410
T11	2505	6,0000	578,540	76,390	35,810
T12	2350	5,6400	517,350	75,210	33,390
T13	2716	5,5700	516,540	74,500	29,720
T14	2888	5,7500	542,360	74,710	34,260
T15	3208	5,7800	530,230	73,790	32,640

3.1.2 Balıkesir Edincik RES

Balıkesir İli Edincik İlçesi'nde bulunan 30 MW kurulu güçlü Edincik RES projesi verileri kullanılmıştır. Toplam 12 adet 2.5 MW rüzgar türbini bulunmaktadır. Bu santralda bulunan 4 adet rüzgar türbinine ait, türbinler arası mesafe, rüzgar şiddeti, sıcaklık, üretim, vibrasyon ve yükseklik değerleri kullanılmıştır. Bandırma İlçesi'nin 15 km batısında bulunan proje sahasının yüksekliği 200 – 300 m arasında değişmektedir. Proje sahasının hemen kuzeyinde bulunan Marmara Denizi sebebi ile proje sahasının bağıl nemi yüksektir. Edincik RES proje sahasında yaz ve kış aylarında yüksek rüzgar şiddetleri görülmektedir. Geçiş ayları olan sonbahar ve ilkbahar aylarında daha düşük rüzgar şiddeti ve dolayısıyla da daha düşük elektrik üretimi görülmektedir. Rüzgarın esiş yönü kuzeydoğu ve kış aylarında da biraz güneybatı yönleridir. Ülkemizin rüzgar enerjisi potansiyeli yüksek olan bölgesinde bulunmakta olup, civarda da birçok RES bulunmaktadır. Ortalama sıcaklık 15 °C civarında olup yıllık 7.5 m/s rüzgar şiddeti ölçülmüştür. Kullanılan rüzgar türbinleri Class II dir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Edincik RES google earth görünümü.

Edincik RES verilerine ait özet bilgiler aşağıdaki Çizelge 3.2 ile verilmiş olup ölçüm aralığı, 01.01.2015 - 17.12.2016 arasını kapsamaktadır.

Çizelge 3.2 : Edincik RES özet veriler (ortalama değerler).

Türbin No	Rüzgar şiddeti	Sıcaklık	Üretim	Vibrasyon (Dişli kutusu)	Mesafe (m)	Yükseklik (m)
T6	6,959	16,183	152,305	10,650	0	205
T7	7,376	15,688	148,576	7,811	554	249
T8	7,905	15,401	180,122	7,526	1187	304
T9	7,214	15,262	169,371	7,701	1677	315

3.1.3 Amasya Merzifon RES

Amasya İli Merzifon İlçesi'nde bulunan 40 MW kurulu güçlü Amasya RES projesi verileri kullanılmıştır. Toplam 16 adet 2.5 MW rüzgar türbini bulunmaktadır. Bu santralda işletmede olan 8 adet RT'ye ait, türbinler arası mesafe, rüzgar şiddeti, sıcaklık, üretim, vibrasyon ve yükseklik değerleri kullanılmıştır.

Merzifon İlçesi'nin 10 km kuzeydoğusunda bulunan proje sahasının yüksekliği 1150 – 1320 m arasında değişmektedir. Proje sahası, dağlık bir arazide bulunmaktadır. Amasya RES proje sahasında kış aylarında daha yüksek rüzgar şiddetleri görülmektedir. Rüzgarın esiş yönü kuzeydoğu ve kış aylarında da biraz güneybatı yönleridir. Ortalama sıcaklık 10 °C civarında olup yıllık 7.5 m/s rüzgar şiddeti ölçülmüştür. Kullanılan rüzgar türbinleri Class II dir. Şekil 3.4 ile google earth görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.4. Amasya RES google earth görünümü.

Amasya RES verilerine ait özet bilgiler aşağıdaki Çizelge 3.3’te verilmiş olup ölçüm aralığı, 01.01.2015 - 17.12.2016 arasını kapsamaktadır.

Çizelge 3.3 : Amasya RES özet verileri (ortalama değerler).

Türbin No	Rüzgar Şiddeti	Sıcaklık	Üretim	Vibrasyon (Dişli kutusu)	Mesafe	Yükseklik
T1	6,3175	9,6122	144,8508	6,1114	0	1277
T2	7,3520	9,4525	151,0048	10,8060	305	1294
T3	7,3813	9,1288	148,9972	10,1214	526	1290
T4	7,5566	9,7217	149,7374	11,4749	716	1304
T9	7,4194	9,5828	158,9400	10,4924	1948	1229
T13	7,9795	9,2788	168,9919	9,1466	2926	1240
T14	7,7425	9,6119	164,1328	9,8458	3516	1185
T16	7,4616	10,1857	161,8659	9,4180	4878	1124

3.1.4 İstanbul Silivri RES

İstanbul İli Silivri İlçesi’nde bulunan Silivri RES projesi verileri kullanılmıştır. Toplam 4 adet 2.5 MW rüzgar türbini bulunmaktadır. Bu santrale ait, türbinler arası mesafe, rüzgar şiddeti, sıcaklık, üretim ve vibrasyon değerleri kullanılmıştır. Toplam 12 adet 2.5 MW rüzgar türbini bulunmaktadır. Silivri İlçesi’nin 11 km kuzeyinde bulunan proje sahasının yüksekliği 150 – 200 m arasında değişmektedir. Proje sahasının 12 km güneyinde bulunan Marmara Denizi sebebi ile proje sahasının bağıl nemi yüksektir. Silivri RES proje sahasında yaz ve kış aylarında yüksek rüzgar şiddetleri görülmektedir. Geçiş ayları olan sonbahar ve ilkbahar da daha düşük

rüzgar şiddeti ve dolayısıyla da daha düşük elektrik üretimi görülmektedir. Rüzgarın esiş yönü kuzeydoğu ve kış aylarında da biraz güneybatı yönleridir. Ülkemizin rüzgar enerjisi potansiyeli yüksek olan bölgesinde bulunmakta olup, civarda birçok RES bulunmaktadır. Ortalama sıcaklık 15 °C civarında olup yıllık 7.8 m/s rüzgar şiddeti ölçülmüştür. Kullanılan rüzgar türbinleri Class II dir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 : Silivri RES google earth görünümü.

Silivri RES verilerine ait özet bilgiler aşağıdaki Çizelge 3.4'te verilmiş olup ölçüm aralığı, 01.01.2015 - 17.12.2016 arasını kapsamaktadır.

Çizelge 3.4 : Silivri RES özet veriler (ortalama değerler).

Türbin No	Rüzgar şiddeti	Sıcaklık (C)	Üretim	Vibrasyon (DK)	Mesafe (m)
T1	7,746	15,149	178,798	7,558	0
T2	7,804	15,058	177,805	7,065	317
T3	7,808	15,381	183,415	7,462	618
T4	7,754	15,293	181,842	7,101	1572

3.2 Tezde Kullanılan Değişkenler

RES projelerinin bulunduğu bölgelerden sonra değişkenler hakkında bilgi ilerleyen sayfalarda verilmiştir. Tez için kullanılan veriler, Aydın, İstanbul, Amasya ve Balıkesir İllerinde bulunan RES'lerden elde edilmiştir. Bu veriler, türbinler arası mesafe (m), rüzgar şiddeti (m/s), sıcaklık (°C), üretim (MWh), vibrasyon değeri, jeneratör sıcaklığı (°C), reaktif güç (MWh) ve rüzgar türbininin denizden

yüksekliğidir (m). Veriler 10'ar dakikalık ortalama olarak her bir santralın SCADA sisteminde kayıt edilmektedir.

Variogram sürecinin ana belirleyicisi olan mesafeler yapılan RT micrositingine bağlıdır. Bu amaçla kullanılan türbinler arasındaki mesafeler hesaplanmıştır.

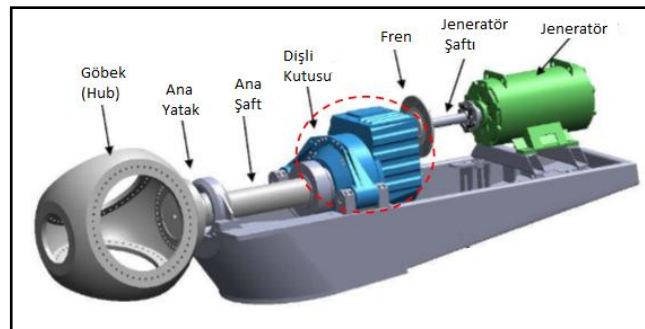
10'ar dakikalık m/s olarak ölçülen rüzgar şiddeti verilerinin ortalama değerlerini içermektedir. Rüzgar türbin naselin üzerinde bulunan anemometre ölçümlerine dayanmaktadır.

İncelenen bütün RES'lere ait yıllık türbin üretim verileri de hesaplamalarda kullanılmıştır. Bu tez çalışmasında yaklaşık 4 yıllık üretim verileri MWh cinsinden kullanılmıştır.

Naselin üzerinde bulunan 10'ar dakikalık ortalama sıcaklık verileri kullanılmıştır. Jeneratör sıcaklık verisi, naselin içinde jeneratörün altına monte edilmiş sensör yoluyla alınmıştır.

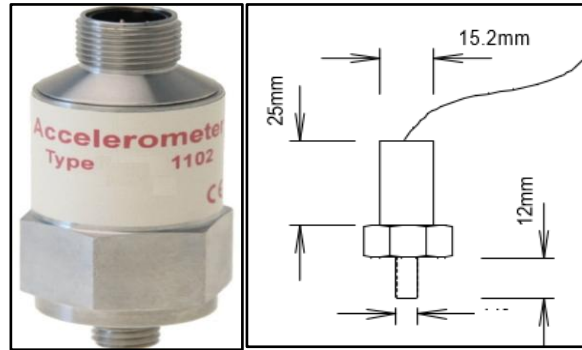
Amasya Merzifon, İstanbul Silivri, Balıkesir Edincik projelerinden tedarik edilen 10'ar dakikalık ortalama vibrasyon (titreşim) verileri kullanılmıştır. Rüzgar türbin dişli kutusu üzerinde bulunan sensörden alınan veriler kullanılmıştır.

Rüzgar türbinlerinde vibrasyon, rezonans, makina elemanının doğal dairesel frekansı ile zorlayıcının dairesel frekansının çakışması ve bunun sonucunda kabul edilemeyecek genliklerin oluşması durumu demektir ve bundan kaçınılması gerekir (Gürsel ve ark., 2003). şekil 3.6 ile tipik bir dişli kutulu rüzgar türbinine ait ana yatak ve üzerindeki aksam görölmektedir.



şekil 3.6 : Vibrasyon verisinin ölçüldüğü dişli kutusu ve jeneratör (Nordex).

Ölçümlerde kullanılan vibrasyon sensörü Şekil 3.7’de görülmektedir.



Şekil 3.7 : Vibrasyon sensörü (Nordex).

Çizelge 3.5 ile tipik bir vibrasyon sensörüne ait bilgiler görülmektedir.

Çizelge 3.5 : Vibrasyon sensörü özellikleri.

Teknik Veri	Minimum	Maksimum	Birim
Vibrasyon ölçüm aralığı	-5	+5	g
Gerilim	8	30	VDC
Güç tüketimi		2	mA
10 Hz hassasiyet	370	470	mV/g
Çözünürlük	0.02	0.03	G
Offset	1.875	3.125	V
Kalibrasyon doğruluğu		5	%
Sıcaklık aralığı	-40	+85	°C
Ağırlık		50	g

Kullanılan veriler, dişli kutusu üzerinde bulunan sensörlerden temin edilmiştir. Rüzgar türbinlerinde genellikle dişli kutusu veya jeneratör üzerinde vibrasyon ölçümleri yapılmaktadır.

Aydın İli Söke İlçesi Yenidoğan Mevkiinde bulunan 30 MW Söke RES projesinde 10’ar dakikalık ortalama reaktif güç verisi de kullanılmıştır. Bir rüzgar türbininde reaktif güç ve gerilim kontrolü kullanılan jeneratör tipine bağlıdır. Sabit hızlı rüzgar türbinlerinde sincap kafesli asenkron jeneratör reaktif güç tüketir (Çelikdemir ve Özdemir, 2014). Çift beslemeli asenkron generatör reaktif güç kontrolü yapabilme özelliğine sahiptir. Bu nedenle bünyesinde çok sayıda rüzgar türbini barındıran ve çok geniş bir alanda kurulan rüzgar santralinde gerilim değerlerini değiştirebilmektedir. Bir rüzgar elektrik santralinin performansı kurulacağı yerin

rüzgar verimine, micrositinge ve bu rüzgar verilerine uygulanacak en uygun rüzgar türbin tipinin seçilmesiyle belirlenir.

Asenkron jeneratörlerin rüzgar türbin sistemlerinde tercih edilme nedenleri, uygun fiyatları, dayanıklı ve mekanik olarak basit olmalarıdır. Bu özelliklerine karşın uyarma akımı (veya ikaz akımı) için harici bir kaynağa ihtiyaç duymaları ve stator sargılarının dışarıdan reaktif bir mıknatıslanma akımına ihtiyaç duymaları gibi olumsuz özelliklere sahiptirler. Harici kaynağa ihtiyaç duymalarından dolayı reaktif güç harcarlar. Bu reaktif güç, şebeke veya güç elektroniği devrelerinden karşılanır. Stator sargılarının reaktif mıknatıslanmaya ihtiyaç duymaları ise asenkron generatörlerinin sadece şebekeye bağlı olduğu durumda karşılanır. Meydana gelen bu manyetik alan, sargı kutup sayısı ve akımın frekansı tarafından belirlenen hızda döner. Bundan dolayı senkron hızı aşan hızlarda dönerse, nispi bir hareket tarafından dönen stator manyetik alanı ile rotor sargıları arasında elektrik alan indüklenir. Bunun sonucu olarak rotor sargılarından akım geçer. Rotor manyetik alanı ile stator manyetik alanı etkileşimi sonucu, rotor üzerinde tork meydana gelir.

Hesaplamalara geçilmeden önce, verilerdeki aykırı bazı değerler temizlenmiştir. Aykırı değerlerin oluşma sebepleri aşağıdaki nedenlerden dolayı olabilir:

- Yıldırım veya şimşek olayı,
- Şebekeden ani elektrik kesilmesi,
- İşletme zamanı bakım personelinin dikkatsizliği

sayılabilir.

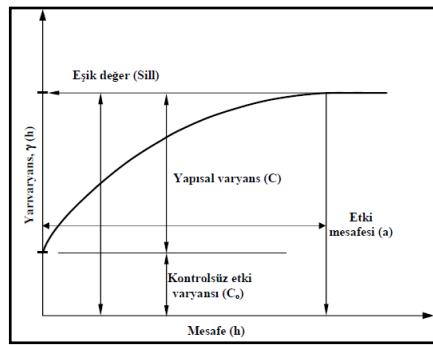


4. YARIVARIOGRAM UYGULAMALARI

Daha önce de belirtildiği gibi, variogram, birbirinden belirli bir mesafe ile ayrılmış iki değişken arasındaki farkın varyansıdır. Variogram yaklaşımı, incelenen alandaki farklı noktadaki değişkenler arasında var olan bağımlılığı belirlemeye çalışan jeostatistiksel bir yöntemdir. Yarivariogramlar, aralarında belirli bir mesafe olan iki değişkenin arasındaki varyansın mesafe ile olan ilişkisini gösterir. Diğer bir deyişle, veri çiftleri arasında mesafenin bir fonksiyonu olarak alansal bağımlılığı anlamamıza yardımcı olur.

4.1 Yarivariogram Özellikleri

Yarivariogram, incelenen değişkenin konumsal veya alansal (spatial) bağımlılığının derecesini yani noktalar arasındaki alansal bağımlılığı belirlemek için uygulanan bir analiz yöntemidir. Son yıllarda artan bir şekilde kullanılmaktadır (Yünsel, 2007). İdeal bir yarivariograma ait özellikler ve parametreleri aşağıdaki Şekil 4.1 ile görülmektedir.



Şekil 4.1 : Yarivariogram parametreleri.

Yarivariogram analizi genel olarak, veri davranışının mesafeye ve yöne bağlı olarak değişimini yani incelenen değişken dağılımının alansal yapısını (spatial structure) belirlemek için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemle dağılımın yapısına uygun olarak

veriler modellenir ve teorik yarıvariogramın model parametreleri bulunur. Model parametreleri daha sonraki tahmin aşamalarında kullanılmak üzere temel teşkil eder.

Yarıvariogram parametrelerine ait açıklamalar ilerleyen sayfalarda verilmiştir.

4.1.1 Kontrolsüz etki varyansı (C_0):

Yarıvariogram grafiğinde yarıvariogram eğrisinin y eksenini kestiği nokta ile orijin arası kontrolsüz etki varyansı olarak bilinir. Belirgin özellikleri aşağıda özetlenmiştir (Yünsel, 2007).

1. Kontrolsüz etki varyansı deneysel yarı-variogramlarda örnekler arasındaki mesafenin artmasıyla artmaktadır. Bu etki, karakteristik olarak verilerin çokluğu ve verilerin birbirleri ile uyumu ile değişmektedir. Yüksek kontrolsüz etki varyansı değeri, verilerin uyumsuzluğunun, örnekleme kalitesinin düşüklüğü gibi nedenlerden dolayı ortaya çıkar.
2. Verilerin kümelenmesi durumunda orantılı kontrolsüz etki söz konusudur.
3. Gauss (küresel) yarıvariogram modeli küçük kontrolsüz etkiye sahiptir.
4. Data seyrekliği ve ölçüm hataları “tam kontrolsüz etkiyi” oluşturmaktadır. Yarıvariogram model seçimini ve kriging kullanımını engeller. Bu durum yarıvariogramın eksik yorumlanmasına neden olur.
5. Genellikle kontrolsüz etki izotropik olarak modellenmektedir. Ancak, bu etki değişiminin kaynağı ile ilgili olabilir. Bu nedenle, etki mesafesinin en küçük örnekleme aralığından daha küçük olur. Bu durumda izotropi söz konusu değildir. Sonuç olarak, etki mesafesinin örnek aralığından küçük olması durumunda, kontrolsüz anizotropik olarak modellenebilir.
6. Lokal (yerel) varyansın artmasıyla yerel ortalama artar. Veri pozitif çarpıklık gösterirse “oransal etki: proportional effect”; dağılım negatif çarpıklık gösterirse “ters oransal etki: inverse proportional effect” yani yüksek varyans düşük ortalama oluşur.
7. Genellikle örnekleme kalitesinin bir ölçüsüdür. Yüksek kontrolsüz etkili örnekler arasındaki değişkenlik fazla, küçük kontrolsüz etkili örnekler arasındaki korelasyon daha fazla yani değişkenlik daha azdır.

4.1.2 Eşik değeri (Sill, C_0+C):

Yarıvariogram grafiğinde, değişimin bittiği veya sabit olarak gittiği noktanın y eksenini kestiği yer eşik (sill) olarak adlandırılır. Aslında sill kavramı, y ekseninde variogramın aldığı maksimum değerdir (Aslantaş ve ark., 2015). Tepe varyansı olarakta bilinir ve sill değerinin kitle varyansına yakın olması beklenir. Aksi durumlarda arazide bir yönelimin

(eğilim, trend) olduğu görüşüne varılır. Yarıvariogramın tepe noktasına ulaştığı nokta (sill) ile kontrolsüz etki arasında kalan varyans yapısal varyans olarak ifade edilir.

4.1.3 Etki mesafesi (Range, a):

Etki mesafesi, yarıvariogramın tepe noktasına (sill) ulaştığı “h” uzaklığıdır. Variogram değerleri, belirli bir alansal aralıktan sonra (lag mesafesi) artık değişmemeye başlar yani incelenen veriler arasında artık bir korelasyon yoktur. Variogramın yatay eksenindeki bu değer aralık (range) olarak tanımlanır (İnal ve Yiğit, 2003). Örnekler arasında bu mesafeye kadar olan uzaklıklarda örnekler arasında bir ilişkinin (korelasyon) olduğu (birbirlerini tanımlayıcı) ve aralarında bu mesafeden daha fazla mesafe olan örneklerin birbirleri ile ilişkili olmadığı kabul edilir. Bu tahmin aşamasında tahmin edilecek olan nokta etrafında örneklerin hangi mesafeye kadar tahmine katkıda bulunacaklarının belirlenmesinde (komşuluk parametreleri) önemli rol oynar. Herhangi bir değişkenin etki mesafesi ne kadar fazla ise değişkenlerin daha fazla mesafelerde etkili olduğu belirtilir.

4.2 Verilere NTYV Sürecinin Uygulanması

İncelenen bütün RES’lere NTYV süreci uygulanmıştır. Daha önce de belirtilen ve aşağıda detaylandırılan adımlar takip edilmiştir:

- i- İncelenen türbin referans noktası olarak belirlenmiştir ve türbinler en yakından en uzağa kadar mesafelerine göre sıralanmıştır,
- ii- Seçilen referans nokta ile diğer noktalar arasındaki değerlerin farklarının karelerinin ardışık toplamalarının alınmış ve yarıvariogram olabilmesi için bulunan her değer yarıya bölünmüştür,
- iii- Herbir noktanın mesafe değerlerine (X ekseninde) karşılık gelen NTYV değerleri Y ekseninde işaretlenmiştir,
- iv- Elde edilen fonksiyonun X ekseninde mesafeler ve Y ekseninde ise NTYV değerleri hesaplanmıştır. Bunların nokta-alan ilişkilendirme hesaplamalarında kullanabilmek için, her bir noktadaki değerler en büyük değerlere bölünerek standart ve birimsiz hale getirilmiştir
- v- Objektif analiz yöntemine göre, standartlaştırılmış değerler l'den çıkarılmıştır.

Çizelge 4.1 ile Amasya RES 1 nolu rüzgar türbinine ait NTYV süreci değerleri görülmektedir. Burada öncelikle türbinler mesafelere göre yakından uzağa şekilde dizilmiştir. Mesafenin yanına ölçülmüş olan değişken değeri (buradaki örnekte vibrasyon) değerleri yazılmıştır. Bütün diğer rüzgar türbinlerine ait vibrasyon değerleri, 1 nolu rüzgar türbininden çıkarılarak karesi alınarak variogram değerleri hesaplanmıştır. Sonraki adımda variogram değerlerinin ardışık toplamaları hesaplanmıştır. Son süreç olarak da ardışık toplamaların yarısı alınarak NTYV süreci bitirilmiştir. Tablo incelendiğinde her bir türbine ait farklı vibrasyon değerleri görülmektedir. Doğal olarak her bir türbinde, rüzgar şiddeti, vibrasyon değeri, sıcaklık, reaktif güç vb gibi değerler Micrositinge bağlı olarak değişiklikler gösterecektir. İncelenen RT1'den uzaklaştıkça yarıvariogram değerleri de artış göstermektedir. Yarıvariogram değerleri, ardışık toplamın yarısı alındığından dolayı, sonuçların böyle çıkması doğaldır. Mesafe arttıkça 1 nolu rüzgar türbininin uzak mesafelerdeki türbinlere olan etkisinin azaldığı görülmektedir.

Çizelge 4.1 : Amasya 1 nolu rüzgar türbinine ait değerler (örnek tablo).

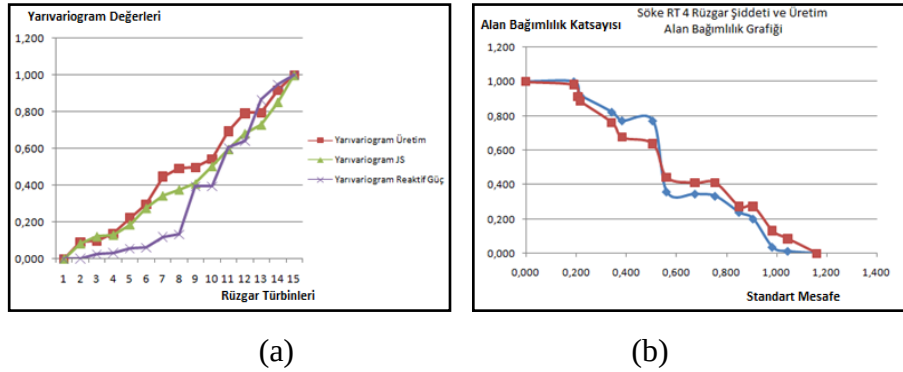
Türbin No	Mesafe (m)	Vibrasyon Değeri	Variogram Değerleri	Ardışık Toplama	Yarı-variogram Değerleri
T1	0	6,111	0,000	0,000	0,000
T2	305	10,806	22,039	22,039	11,019
T3	526	10,121	16,080	38,119	19,060
T4	716	11,475	28,767	66,886	33,443
T9	1948	10,492	19,193	86,079	43,039
T13	2926	9,147	9,213	95,291	47,646
T14	3516	9,846	13,946	109,237	54,619
T16	4878	9,418	10,934	120,171	60,086

NTYV süreci tamamlandıktan sonra verilerin ve yarıvariogram değerlerinin standartlaştırılması işlemine geçilmiştir. Burada incelenen rüzgar türbinine ait mesafe, değişken (bu örnekte vibrasyon) ve NTYV değerleri standart hale getirilmiştir. Standartlaştırma sürecinde ölçülen değişken ve hesaplanan değerlerin, en yüksek değerine bölünerek standart hale getirilmiştir (Çizelge 4.2). Alan bağımlılık katsayısı ise, 1 değerinden standart NTYV değerlerinin çıkarılması ile elde edilmiştir.

Çizelge 4.2 : Amasya 1 nolu rüzgar türbinine ait standartlaştırma süreci (vibrasyon).

Standart Yarıvariogram	Standart Mesafe	Alan Bağıml. Katsayısı	Standart Vibrasyon
0,00	0,00	1,00	0,533
0,18	0,06	0,82	0,942
0,32	0,11	0,68	0,882
0,56	0,15	0,44	1,000
0,72	0,40	0,28	0,914
0,79	0,60	0,21	0,797
0,91	0,72	0,09	0,858
1,00	1,00	0,00	0,821

Aşağıda verilen Şekil 4.2a ile Söke RE T7'e ait üretim, reaktif güç ve jeneratör sıcaklığının mesafe arasındaki yarıvariogram grafiği görülmektedir. Tipik bir yarıvariogram grafiği olup değişkenler arasında doğrusal bir ilişki olduğunu göstermektedir. Mesafe arttıkça etki azalmaktadır. Yani incelenen 7 nolu rüzgar türbininin üretim, reaktif güç ve jeneratör sıcaklığının diğer türbinlere etkisi, türbinler arasındaki mesafe arttıkça azalmaktadır. Söke RES T7'e ait rüzgar şiddeti ve üretim değişkenlerinin aynı grafik üzerinde gösterildiği Şekil 4.2b ile incelendiğinde, mesafe arttıkça her iki değişken için olarak alan bağımlılık katsayısının azaldığı görülmektedir. T7'den uzaklaştıkça, T7'nin tesir yarıçapının azaldığı ve sonunda da 0 değerine ulaştığı görülmektedir.



Şekil 4.2 : Söke RES T7'ye ait yarıvariogram (a) ve alan bağımlılık (b) grafiği.



5. ÇOKLU-NOKTASAL TOPLAM YARIVARİOGRAM (ÇOKLU-NTYV)

Variogramlar, iki nokta arasındaki ilişkiye (korelasyon) dayandığından dolayı bazı yapısal kısıtlamaları da barındırmaktadır (Huymans ve Dassargues, 2009). Variogramlar, özellikle kompleks yapılı arazilerde iyi sonuç vermemektedir. Bu yüzden çoklu-nokta jeostatistik (multiple-point geostatistics) yaklaşımı geliştirilmiştir. Çoklu-nokta jeostatistik yaklaşımı, variogram yaklaşımının eksikliklerini gidermek için geliştirilmiştir (Guardino ve Srivastava, 1993). Uygulamalı yer bilimlerinde incelenen sahada yeterli sayıda kuyu veya sondaj mevcut değil ise, eğitim imajları (training image) yöntemi ile örnekleme yapılarak çalışılmaktadır. Eğitim imajı, incelenen alanda beklenen özelliklerin alansal olarak ilişkilendirilmesi ve incelenen sahada dağılımının örneklendirilmesi yöntemidir.

5.1 Alansal Modellemeler

Alansal modelleme kavramı, jeostatistik uygulamalarda çok kullanılsa da; son on yıllarda meteoroloji biliminde kullanımı gittikçe artmaya başlamıştır. Çoklu-nokta jeostatistik yaklaşımı geçtiğimiz yıllarda petrol mühendisliğinde yoğun olarak kullanılmaya başlamıştır (Strebelle, 2000, 2002; Caers ve Zhang, 2004; Hu ve Chugunova, 2008). Ronayne ve ark. (2008), çoklu-nokta jeostatistik yaklaşımını kullanarak hidrojeoloji konusunda çalışmışlardır. Yaptıkları çalışmada çoklu-nokta jeostatistik yaklaşım kullanılarak kompleks jeolojik heterojenliğin yeraltı akışına etkisi ve akışın taşınımı üzerine modelleme yapılmıştır. Genel olarak alansal modellemenin avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Arazi topoğrafyasını dikkate alması,
- Sahadaki değişkenlerin modelleme sistemine dahil edilmesi,
- Alansal bilgi içermesi ve alansal yoruma izin vermesi,
- Mesafeye bağlı olarak tesir yarıçaplarının hesaplanabilmesi sayılabilir.

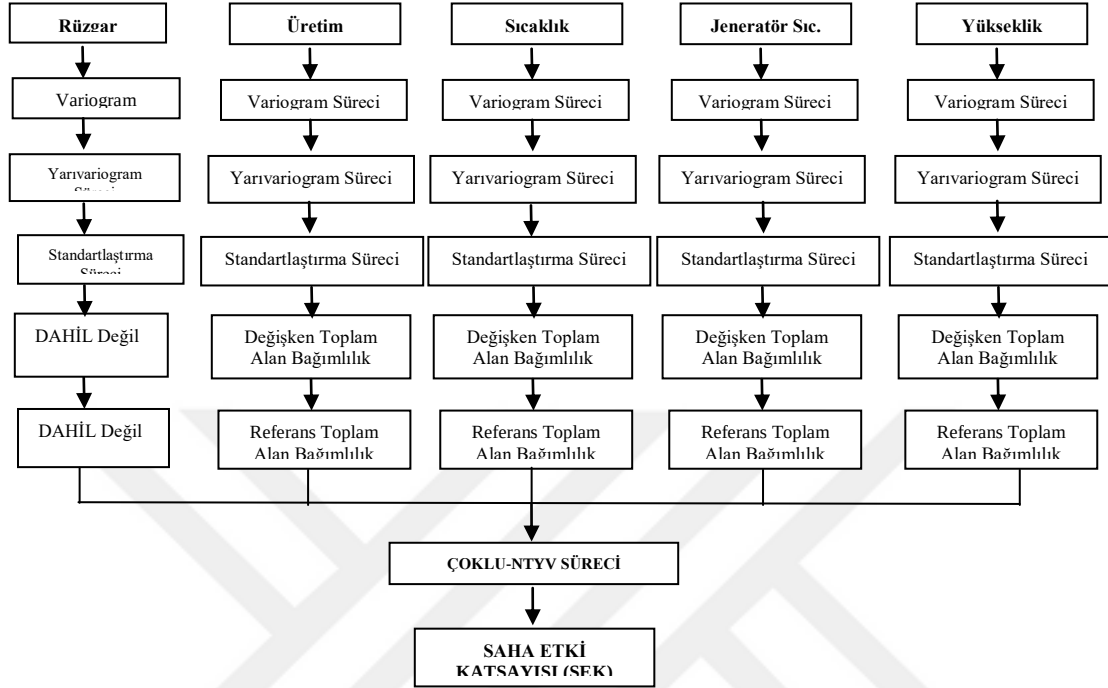
Meteorolojide alansal modellemenin kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Yıllık yağışın alansal modellenmesi konusunda en bilinen yöntem Thieses Poligon Yöntemi'dir. Şen (1995) tarafından bu yönteme izohiyet yöntemi önerisi getirilmiştir. Noktasal Toplam Yarıvariogram yöntemi (NTYV), Şen ve Habib (1998) tarafından yağış verilerine uygulanmıştır. Hevesi ve ark. (1992) çoklu jeostatistik yöntemlerini yağış hesaplamalarında kullanmışlardır. Şen ve Şahin (1997 ve 1998) NTYV modelini rüzgar enerjisi alansal tahminleri için kullanmıştır. Tarawneh ve Şen (2003), Ürdün'deki yağışların yarıvariogram tekniği ile alansal modellenmesi konusunda çalışmıştır. Hava kirliliği alanında alansal tahmin konularında çalışmalar yapılmıştır. Öztopal (1996), İstanbul'un hava kirliliği yarıvariogram haritalarını oluşturarak yorumlamasını yapmıştır. Öztopal ve Şen (1999), NTYV yöntemini kullanarak İstanbul hava kirliliği verilerinin tesir yarıçaplarını hesaplamada kullanmışlardır. Son yıllarda fiziksel modellemenin integrasyonu ve non-lineer öğrenme teknikleri birlikte kullanılarak yarı fiziksel (semi-physical) modelleme algoritmaları geliştirilmiş ve alansal rüzgar tahmin konusunda çalışmalar yapılmaya başlanmıştır (Vaccaro ve ark., 2012; Özkan ve Karagöz, 2015). Caro ve ark. (2017), yaptıkları çalışmada Case-Based Reasoning olarak adlandırdıkları yöntemle alansal tahmin modeli geliştirmişlerdir. Ana bileşen analizi (Principal Component Analysis-PCA) ve Partial Least Square Regression (PLSR) yöntemlerini kullanmışlardır. Uyguladıkları çalışmada, CFD (Computational Fluid Dynamics) modellerden de yardım alarak dijital yükseklik modeli yardımı ile sahanın topografyasını da dikkate almışlardır. PCA ve PLSR tekniklerini kullanarak özellikle büyük veri seti üzerinde alansal rüzgar enerjisi çalışmaları yapılmıştır. Skittides ve Früh (2014), PCA yöntemini kullanarak istatistiksel alansal rüzgar tahmin algoritması geliştirmiştir. Bu yöntemde zaman regresyon probleminin çözümü de basitleştirilmiştir. Davo ve ark. (2013), PCA yöntemini sinir ağları yöntemi ile birlikte kullanarak mezo ölçek alansal rüzgar tahmini üzerinde çalışmışlardır. Wu ve Peng (2016), yarı fiziksel modelleri kullanarak PCA yöntemini sinir ağları ile birlikte geliştirmiştir. Wang ve ark. (2015), alansal rüzgar şiddeti tahminine yönelik hibrid bir model üzerinde çalışmıştır. Model, alansal korelasyon kullanılarak geliştirilmiştir. Coupla fonksiyonu tekniğine göre seviye korelasyon katsayısı (rank correlation coefficient) hesaplanmıştır. Hesaplanan bu katsayı, model giriş verisi olarak kullanılmıştır. Destek vektör regresyon (support vector regression) mekanizması nonlineer durum alan modeli olarak tanıtılarak hibrid model oluşturulmuştur. Daha

sonra alansal korelasyon yöntemi geliştirilerek referans RES projesinin etrafındaki RES proje verileri kullanılarak alansal rüzgar şiddeti tahmini yapılmıştır. Durak ve Şahin (2017), alansal yarıvariogram yöntemi ile kısa süreli rüzgar enerjisi tahmini yapmıştır.

5.2 Çoklu-NTYV Uygulaması

Çoklu-NTYV aslında bir alansal (spatial) modellemedir. Alansal modellemeler daha çok yer bilimlerinde kullanılmaktadır (Şen, 2009). Yapılan tez çalışmasında yer bilimlerinde kullanılan çoklu-nokta jeostatistik yaklaşımı; atmosfer bilimine uygulanmaya çalışılmıştır. Tezde incelenen RES'lere ait değişkenlerin arasında NTYV yöntemi ile ilişki bulunmaya çalışılmıştır. Yarıvariogram süreci incelenip anlaşıldıktan sonra tezde geliştirilen çoklu-NTYV yöntemi üzerinde çalışılmıştır. Çoklu-NTYV yönteminin ana amacı, incelenen bütün değişkenlerin kullanılarak alansal etki katsayısı geliştirilmesidir. NTYV iki nokta arasındaki ilişkiyi baz aldığından arazinin topoğrafik özellikleri hesaba katılmamaktadır. Çoklu-NTYV ile incelenen bütün değişkenler hesaba katıldığından sahanın topoğrafyası da hesaplamalara dahil edilmektedir. Yani incelenen değişken için sahayı temsil eden bir katsayı geliştirilmektedir. Böylelikle yarıvariogram yaklaşımının alansal dezavantajı da mümkün mertebe azaltılmaya çalışılmıştır. Aslında bulunan bu etki katsayısı, incelenen değişken için alansal tahmin katsayısıdır. İncelenen değişken için alan bağımlılık katsayısı ve incelenen değişkenin standartlaştırılmış değeri çarpılarak alan bağımlılık toplamına bölünmüştür. İncelenen rüzgar türbini için toplam alandaki diğer değişkenlerin etkisi hesaplanmış ve **“Saha Etki Katsayısı (SEK)”** bulunmuştur. Bu hesaplama çoklu-NTYV tekniği ile yapılmıştır. Çoklu-NTYV yöntemi ile tezde yeni bir alansal tahmin yöntemi geliştirilmeye çalışılmıştır. RES içerisindeki ölçümü yapılan bütün değişkenler standartlaştırılarak (objektif analiz sürecine tabi tutularak) alandaki bütün değişkenlerin incelenen değişkene etkisi araştırılmıştır. Yani, her bir türbin ve incelenen değişken için alandaki bütün değişkenlerin de hesaba katıldığı bir “Saha Etki Katsayı” geliştirilmiştir. Buna ilave olarak sonra doğrusal çoklu-regresyon yöntemi kullanılarak geliştirilen yöntemin kıyaslaması yapılmıştır. Konuya detaylı girilmeden önce teorik açıdan tezde ne yapıldığı anlatılmaya çalışılacaktır. Şekil 5.1’de verilen diyagram tezde uygulanan çoklu-NTYV sürecini en basit halini göstermektedir. Burada rüzgar şiddeti için örnek

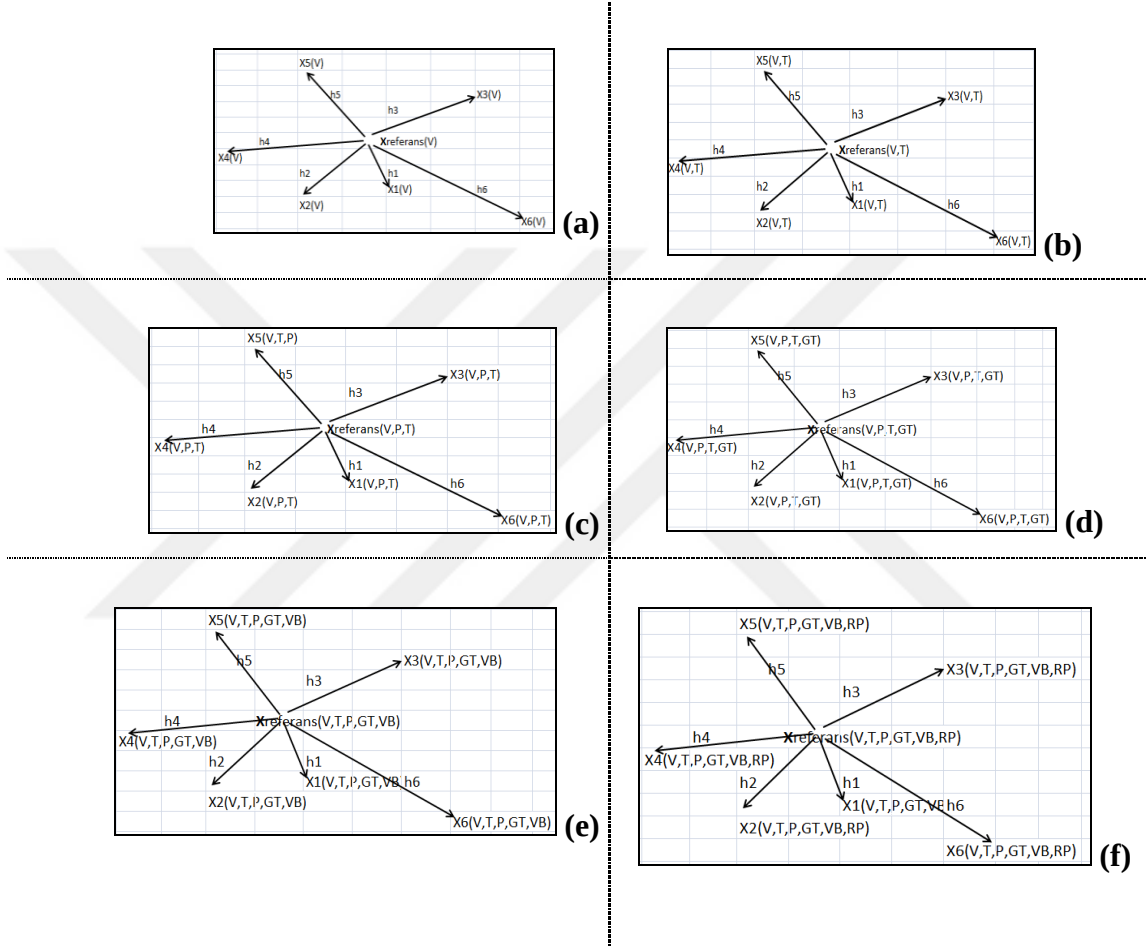
verilen şemada 3 ana süreç olan, variogram, yarıvariogram ve standartlaştırma süreçleri görülmektedir.



Şekil 5.1 : Rüzgar şiddeti çoklu-NTYV süreci basitleştirilmiş diyagramı.

Çoklu-NTYV simülasyon için ise, bütün veri noktalarını ve mesafelerini göstererek simüle edilmeye çalışıldığı Şekil 5.2 incelenmelidir. Şekil 5.2, tek değişkenli NTYV sürecinde çoklu-NTYV sürecine geçişin aşamalarını göstermektedir. Burada X referans alınan veri noktası olmak üzere X_1 , X_2 , X_3 , X_4 , X_5 ve X_6 ; referans veriden h_1 , h_2 , h_3 , h_4 , h_5 ve h_6 mesafede (yakından uzağa doğru) olan değişkenlerdir. Ayrıca, veri noktalarının alt indislerinde yer alan V, T, P, GT, VB, RP sırası ile rüzgar şiddeti, sıcaklık, üretim, jeneratör sıcaklığı, vibrasyon ve reaktif gücü ifade ettiğini varsayalım. Şekil 5.2a'da görülen rüzgar şiddeti değişkeni NTYV uygulamasını anlatmaktadır. Burada iki değişken arasında bir ilişki kurulmaya çalışılmıştır; yani normal NTYV süreci görülmektedir. Şekil 5.2b'de rüzgar şiddeti ve sıcaklık dahil edilerek alanda iki değişkenli yani çoklu-NTYV tekniği kullanılmaya başlanmıştır. Şekil 5.2c'de rüzgar şiddeti, sıcaklık ve üretim değişkenleri eklenerek 3 değişkenli çoklu-NTYV çalışması yapılmıştır. Değişken sayısı artırılarak incelenen alan daha da iyi temsil edilmektedir. Şekil 5.2d'de ise, rüzgar şiddeti, sıcaklık, üretim ve jeneratör

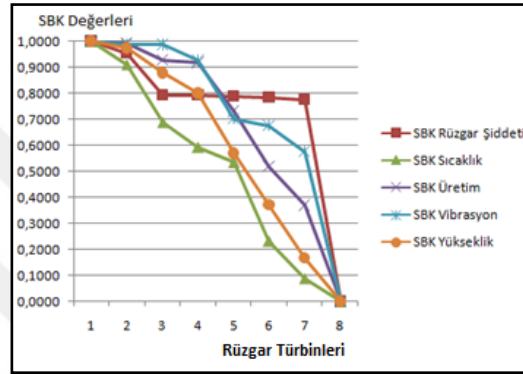
sıcaklığını da içeren 4 değişkenli çoklu-NTYV sürecini göstermektedir. Şekil 5.2f, sahada incelenen tüm 5 değişkenin de hesaba katıldığı çoklu-NTYV süreci anlatılmaya çalışılmıştır. Şekil 5.2f’de sahadaki bütün değişkenler hesaplamalara dahil edilerek; hem alansal tahmin doğruluğu arttırılmakta; hem de sistemdeki bütün çıktı verileri sistem için girdi verisi olarak kullanılmaktadır. Grafiklerin büyüklükleri değişken sayısını şematize etmek için değişik yapılmıştır.



Şekil 5.2 : NTYV sürecinden çoklu-NTYV sürecine geçiş.

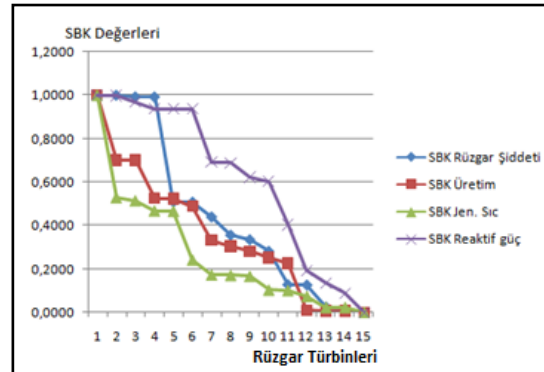
Tüm bu süreç uygulandığında çoklu-NTYV yöntemi ile sahadaki bütün standartlaştırılmış değişkenler; bir nevi aynı sahada üst üste çakıştırılmış değişken tabakaları gibi düşünülebilir. Şekil 5.2a’da NTYV yöntemi ile alanı temsil eden ağırlık sayısı 6 iken; tezde önerilen Şekil 5.2f ile gösterilen çoklu-NTYV yöntemi ile sahayı temsil eden ağırlık sayısı 36’ya çıkmaktadır. İncelenen alan, daha iyi temsil edilebilme imkanına kavuşarak yüksek doğrulukta alansal tahmin edilebilme imkanı mümkün olmaktadır. Şekil 5.3 ile Amasya RES RT 14’e ait Standart Alan Bağımlılık Katsayıları (SBK) değerleri aynı grafikte verilmiştir. Burada incelenen değişkenler

olan rüzgar şiddeti, sıcaklık, üretim, vibrasyon ve yükseklik değişkenlerine ait Saha Bağımlılık Katsayıları aynı grafikte gösterilmiştir. Önerilen çoklu-NTYV süreci ile sahadaki bütün değişken değerlerinin hesaba dahil edildiği süreci daha iyi anlamamıza yardım etmektedir. Sadece üretim değeri kullanılsa idi, eğrilerin ortasında görülen profil dikkate alınacaktı. Çoklu-NTYV yöntemi ile en solda kalan sıcaklık ve en sağda bulunan rüzgar şiddeti değerleri de hesaplamalara dahil edildiğinden dolayı sahayı temsil eden en iyi tahmin sonuçlarına ulaşılabacaktır. Grafikteki bütün eğriler hesaba katılmaktadır.



Şekil 5.3 : Amasya RES RT 14 SBK değerleri.

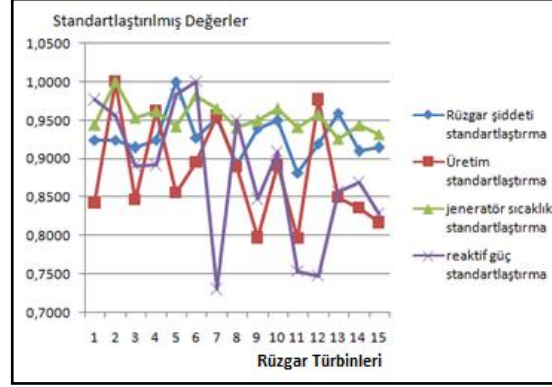
Aynı mantıkla Söke RES RT 8'e ait Standart Alan Katsayıları (SBK) değerleri Şekil 5.4'te değerlendirilebilir. Grafikte reaktif güç diğer değişkenlere göre daha aykırı değerlere sahip olsa dahi, hesaplamalara katılmaktadır.



Şekil 5.4 : Söke RES RT 8 SBK değerleri.

Söke RT 8'e ait standart değerleri Şekil 5.5'te aynı grafikte verilmiştir. Rüzgar şiddeti ile üretim, reaktif güç ve jeneratör sıcaklığı arasında doğrusal bir trend

bulunmaktadır. Üretim ile jeneratör sıcaklığı ve reaktif güç arasında da doğrusal trend görülmektedir. En fazla salınım reaktif güç değişkeninde görülmektedir.



Şekil 5.5 : Söke RT 8 değişkenlerin standart değerleri.

Yukarıda izah edilen çoklu-NTYV sürecinin teorik-matematiksel ifadesi ilerleyen sayfalarda verilmiştir. Yapılan ilk işlem, incelenen değişkenlere yarıvariogram sürecinin uygulanmasıdır. Çoklu-NTYV sürecine geçilebilmesi için incelenen türbinlerin objektif analiz katsayıları (standartlaştırılmış değerler) hesaplanmıştır. İncelenen rüzgar türbinindeki değişkene diğer değişkenlerin etkisinin bulunması amacı ile alan bağımlılık ve standartlaştırılmış değerlerinin toplamı bulunmuştur. İncelenen verilerin standartlaştırılması için aşağıdaki adımlar takip edilmiştir. İlk olarak verilere yarıvariogram (NTYV) süreci uygulanmıştır;

$$Yh = \sum_i^{i-n} (X_i - X_{i+h})^2 / 2n \quad (5.1)$$

NTYV sürecinden sonra aşağıdaki adımlar izlenerek standartlaştırılma sağlanmıştır.

$$y_{st}(h_i) = \frac{y(h_i)}{y(h_n)} \quad i = 1, \dots, n \quad (5.2)$$

$$h_{st,i} = \frac{h_i}{h_n} \quad i = 1, \dots, n \quad (5.3)$$

$$(SBK)_i = w(h_{st,i}) = 1 - y_{st}(h_i) \quad (5.4)$$

İncelenen değişkenin toplam alan bağımlılık katsayısının hesaba katılmadığı **Referans Saha Bağımlılık Katsayısı** ($SBK_{referans}$) hesaplanmıştır. Örnek olarak

Denklem 5.5'te referans olarak rüzgar şiddeti değişkeninin (V) hesaba katılmadığı eşitliği göstermektedir:

$$SBK_{referans} = (SBK)_T + (SBK)_P + (SBK)_{GT} + (SBK)_{VB} + (SBK)_{RP} \quad (5.5)$$

Denklem 5.5'te SBK fonksiyonlarının alt indislerinde yer alan d2, d3, d4, d5 ve d6 sırası ile sıcaklık (T), üretim (P), jeneratör sıcaklığı (GT), vibrasyon (VB) ve reaktif güç (RP) değişkenlerinin standartlaştırılmış değerlerini ifade etmektedir.

Yukarıda eşitlikte verilen formüllerle incelenen her bir değişken için standartlaştırılmış değerler edilmiştir. Bütün değişkenlere ait SBK katsayıları toplanarak **Toplam Alan Bağımlılık Katsayısı (TAK)** bulunmuştur. Burada incelenen değişkenin de **Saha Bağımlılık Katsayısı (SBK)** eklenmiştir. TAK_{ref} ile ise, incelenen değişkenin Saha Bağımlılık Katsayısının dahil edilmediği Referans Toplam Alan Bağımlılık Katsayısı hesaplanmıştır.

$$TAK_{ref} = \sum_{i=1}^n (SBK) di \quad (5.6)$$

Bulunan bu değerlerden sonra Saha Etki Katsayısı (SEK) hesaplamasına geçilmiştir. SEK için aşağıdaki hesaplamalar yapılmaktadır. İzleyen sayfalarda yukarıda açıklanan sürecin matematiksel altyapısı verilmiştir. Aşağıdaki Denklem 5.7, rüzgar şiddeti (V) değişkeni için verilmiştir.

$$\begin{aligned} SEK_V = & \left\{ \left(\sum_{i=1}^n (T) i * \frac{\sum_{i=1}^n (SBK) Ti}{\sum_{i=1}^n (TAK_{ref} V)_i} \right) + \left\{ \left(\sum_{i=1}^n (P) i * \frac{\sum_{i=1}^n (SBK) Pi}{\sum_{i=1}^n (TAK_{ref} V)_i} \right) \right. \right. \\ & + \left\{ \left(\sum_{i=1}^n (GT) i * \frac{\sum_{i=1}^n (SBK) GTi}{\sum_{i=1}^n (TAK_{ref} V)_i} \right) + \left\{ \left(\sum_{i=1}^n (VB) i * \frac{\sum_{i=1}^n (SBK) VBi}{\sum_{i=1}^n (TAK_{ref} V)_i} \right) \right. \right. \\ & \left. \left. + \left\{ \left(\sum_{i=1}^n (RP) i * \frac{\sum_{i=1}^n (SBK) RPi}{\sum_{i=1}^n (TAK_{ref} V)_i} \right) \right\} \right\} \right\} \quad (5.7) \end{aligned}$$

Denklem 5.8 ile sıcaklık (T) değişkeni için denklem görülmektedir.

$$\begin{aligned} SEK_T = & \left\{ \left(\sum_{i=1}^n (V) i * \frac{\sum_{i=1}^n (SBK) Vi}{\sum_{i=1}^n (TAK_{ref} T)_i} \right) + \left\{ \left(\sum_{i=1}^n (P) i * \frac{\sum_{i=1}^n (SBK) Pi}{\sum_{i=1}^n (TAK_{ref} T)_i} \right) \right. \right. \\ & + \left\{ \left(\sum_{i=1}^n (GT) i * \frac{\sum_{i=1}^n (SBK) GTi}{\sum_{i=1}^n (TAK_{ref} T)_i} \right) + \left\{ \left(\sum_{i=1}^n (VB) i * \frac{\sum_{i=1}^n (SBK) VBi}{\sum_{i=1}^n (TAK_{ref} T)_i} \right) \right. \right. \\ & \left. \left. + \left\{ \left(\sum_{i=1}^n (RP) i * \frac{\sum_{i=1}^n (SBK) RPi}{\sum_{i=1}^n (TAK_{ref} T)_i} \right) \right\} \right\} \right\} \quad (5.8) \end{aligned}$$

Üretim (P) hesaplaması için, aşağıdaki gibi verilebilir (Denklem 5.9):

$$\begin{aligned} \mathbf{SEK_P} = & \left\{ (\sum_{i=1}^n (V)i * \frac{\sum_{i=1}^n (SBK)Vi}{\sum_{i=1}^n (TAKrefP)i} \right\} + \left\{ (\sum_{i=1}^n (T)i * \frac{\sum_{i=1}^n (SBK)Ti}{\sum_{i=1}^n (TAKrefP)i} \right\} \\ & + \left\{ (\sum_{i=1}^n (GT)i * \frac{\sum_{i=1}^n (SBK)GTi}{\sum_{i=1}^n (TAKrefP)i} \right\} + \left\{ (\sum_{i=1}^n (VB)i * \frac{\sum_{i=1}^n (SBK)VBi}{\sum_{i=1}^n (TAKrefP)i} \right\} \\ & + \left\{ (\sum_{i=1}^n (RP)i * \frac{\sum_{i=1}^n (SBK)RPi}{\sum_{i=1}^n (TAKrefP)i} \right\} \end{aligned} \quad (5.9)$$

Jeneratör sıcaklığı (GT) değişkeni hesaplaması aşağıda görülmektedir (Denklem 5.10).

$$\begin{aligned} \mathbf{SEK_{GT}} = & \left\{ (\sum_{i=1}^n (V)i * \frac{\sum_{i=1}^n (SBK)Vi}{\sum_{i=1}^n (TAKrefGT)i} \right\} + \left\{ (\sum_{i=1}^n (T)i * \frac{\sum_{i=1}^n (SBK)Ti}{\sum_{i=1}^n (TAKrefGT)i} \right\} \\ & + \left\{ (\sum_{i=1}^n (P)i * \frac{\sum_{i=1}^n (SBK)Pi}{\sum_{i=1}^n (TAKrefGT)i} \right\} + \left\{ (\sum_{i=1}^n (VB)i * \frac{\sum_{i=1}^n (SBK)VBi}{\sum_{i=1}^n (TAKrefGT)i} \right\} \\ & + \left\{ (\sum_{i=1}^n (RP)i * \frac{\sum_{i=1}^n (SBK)RPi}{\sum_{i=1}^n (TAKrefGT)i} \right\} \end{aligned} \quad (5.10)$$

Vibrasyon (VB) değişkeni hesaplaması aşağıda incelenebilir (Denklem 5.11):

$$\begin{aligned} \mathbf{SEK_{VB}} = & \left\{ (\sum_{i=1}^n (V)i * \frac{\sum_{i=1}^n (SBK)Vi}{\sum_{i=1}^n (TAKrefVB)i} \right\} + \left\{ (\sum_{i=1}^n (T)i * \frac{\sum_{i=1}^n (SBK)Ti}{\sum_{i=1}^n (TAKrefVB)i} \right\} \\ & + \left\{ (\sum_{i=1}^n (P)i * \frac{\sum_{i=1}^n (SBK)Pi}{\sum_{i=1}^n (TAKrefVB)i} \right\} + \left\{ (\sum_{i=1}^n (GT)i * \frac{\sum_{i=1}^n (SBK)GTi}{\sum_{i=1}^n (TAKrefVB)i} \right\} \\ & + \left\{ (\sum_{i=1}^n (RP)i * \frac{\sum_{i=1}^n (SBK)RPi}{\sum_{i=1}^n (TAKrefVB)i} \right\} \end{aligned} \quad (5.11)$$

Son olarak reaktif güç (RP) değişkeni hesaplaması verilmiştir (Denklem 5.12):

$$\begin{aligned} \mathbf{SEK_{RP}} = & \left\{ (\sum_{i=1}^n (V)i * \frac{\sum_{i=1}^n (SBK)Vi}{\sum_{i=1}^n (TAKrefRP)i} \right\} + \left\{ (\sum_{i=1}^n (T)i * \frac{\sum_{i=1}^n (SBK)Ti}{\sum_{i=1}^n (TAKrefRP)i} \right\} \\ & + \left\{ (\sum_{i=1}^n (P)i * \frac{\sum_{i=1}^n (SBK)Pi}{\sum_{i=1}^n (TAKrefRP)i} \right\} + \left\{ (\sum_{i=1}^n (GT)i * \frac{\sum_{i=1}^n (SBK)GTi}{\sum_{i=1}^n (TAKrefRP)i} \right\} \\ & + \left\{ (\sum_{i=1}^n (VB)i * \frac{\sum_{i=1}^n (SBK)VBi}{\sum_{i=1}^n (TAKrefRP)i} \right\} \end{aligned} \quad (5.12)$$

Denklem 5.7'nin yani rüzgar şiddeti değişkeni hesaplamasının matris gösterimi aşağıdaki şekilde verilebilir:

$$\mathbf{SEK}_V = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n (PSD)_i & \sum_{i=1}^n (TSD)_i & \sum_{i=1}^n (GTSD)_i & \sum_{i=1}^n (VBSD)_i & \sum_{i=1}^n (RPSD)_i \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \frac{\sum_{i=1}^n (SBKP)_i}{TAKrefV} \\ \frac{\sum_{i=1}^n (SBKT)_i}{TAKrefV} \\ \frac{\sum_{i=1}^n (SBKGT)_i}{TAKrefV} \\ \frac{\sum_{i=1}^n (SBKVB)_i}{TAKrefV} \\ \frac{\sum_{i=1}^n (SBKRP)_i}{TAKrefV} \end{bmatrix} \quad (5.13)$$

Matriste kullanılan;

SD: Standartlaştırılmış Değer ve SBK: Saha Bağımlılık Katsayısını ifade etmektedir.

Denklem 5.8, yani sıcaklık değişkeni hesaplamasının matris gösterimi ise aşağıdaki şekilde verilebilir:

$$\mathbf{SEK}_T = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n (VSD)_i & \sum_{i=1}^n (PSD)_i & \sum_{i=1}^n (GTSD)_i & \sum_{i=1}^n (VBSD)_i & \sum_{i=1}^n (RPSD)_i \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \frac{\sum_{i=1}^n (SBKV)_i}{TAKrefT} \\ \frac{\sum_{i=1}^n (SBKP)_i}{TAKrefT} \\ \frac{\sum_{i=1}^n (SBKGT)_i}{TAKrefT} \\ \frac{\sum_{i=1}^n (SBKVB)_i}{TAKrefT} \\ \frac{\sum_{i=1}^n (SBKRP)_i}{TAKrefT} \end{bmatrix} \quad (5.14)$$

Denklem 5.9, yani üretim değişkeni hesaplamasının matris gösterimi ise aşağıda görülmektedir:

$$\mathbf{SEK}_P = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n (VSD)_i & \sum_{i=1}^n (TSD)_i & \sum_{i=1}^n (GTSD)_i & \sum_{i=1}^n (VBSD)_i & \sum_{i=1}^n (RPSD)_i \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \frac{\sum_{i=1}^n (SBKV)_i}{TAKrefP} \\ \frac{\sum_{i=1}^n (SBKT)_i}{TAKrefP} \\ \frac{\sum_{i=1}^n (SBKGT)_i}{TAKrefP} \\ \frac{\sum_{i=1}^n (SBKVB)_i}{TAKrefP} \\ \frac{\sum_{i=1}^n (SBKRP)_i}{TAKrefP} \end{bmatrix} \quad (5.15)$$

Denklem 5.10, yani jeneratör sıcaklığı değişkeni hesaplamasının matris ifadesi aşağıda incelenebilir:

$$\mathbf{SEK}_{GT} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n (VSD)_i & \sum_{i=1}^n (TSD)_i & \sum_{i=1}^n (PSD)_i & \sum_{i=1}^n (VBSD)_i & \sum_{i=1}^n (RPST)_i \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \frac{\sum_{i=1}^n (SBKV)_i}{TAKrefGT} \\ \frac{\sum_{i=1}^n (SBKT)_i}{TAKrefGT} \\ \frac{\sum_{i=1}^n (SBKP)_i}{TAKrefGT} \\ \frac{\sum_{i=1}^n (SBKVB)_i}{TAKrefGT} \\ \frac{\sum_{i=1}^n (SBKRP)_i}{TAKrefGT} \end{bmatrix} \quad (5.16)$$

Denklem 5.11, yani vibrasyon değişkeni hesaplamasının matris gösterimi ise aşağıdaki şekilde verilebilir:

$$\mathbf{SEK}_{VB} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n (VSD)_i & \sum_{i=1}^n (TSD)_i & \sum_{i=1}^n (PSD)_i & \sum_{i=1}^n (GTSD)_i & \sum_{i=1}^n (RPST)_i \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \frac{\sum_{i=1}^n (SBKV)_i}{TAKrefVB} \\ \frac{\sum_{i=1}^n (SBKT)_i}{TAKrefVB} \\ \frac{\sum_{i=1}^n (SBKP)_i}{TAKrefVB} \\ \frac{\sum_{i=1}^n (SBKGT)_i}{TAKrefVB} \\ \frac{\sum_{i=1}^n (SBKRP)_i}{TAKrefVB} \end{bmatrix} \quad (5.17)$$

Denklem 5.12, yani reaktif güç sıcaklığı değişkeni hesaplamasının matris gösterimi ise aşağıdaki şekilde verilebilir:

$$\mathbf{SEK}_{RP} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n (VSD)_i & \sum_{i=1}^n (TSD)_i & \sum_{i=1}^n (PSD)_i & \sum_{i=1}^n (VBSD)_i & \sum_{i=1}^n (GTSD)_i \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \frac{\sum_{i=1}^n (SBKV)_i}{TAKrefRP} \\ \frac{\sum_{i=1}^n (SBKT)_i}{TAKrefRP} \\ \frac{\sum_{i=1}^n (SBKP)_i}{TAKrefRP} \\ \frac{\sum_{i=1}^n (SBKVB)_i}{TAKrefRP} \\ \frac{\sum_{i=1}^n (SBKGT)_i}{TAKrefRP} \end{bmatrix} \quad (5.18)$$

5.3 Eğitim ve Test Verisi

Önerilen çoklu-NTYV alansal tahmin modelinin çalıştırılması için veri setlerinin eğitim ve test sürecine geçilmiştir. Bu aşamada tez çalışmasında kullanılan işletmedeki 4 adet RES'te bulunan rüzgar türbinlerine ait verilerin, %70'i eğitim ve %30'u test için ikiye ayrılmıştır. Diğer bir deyişle, her bir zaman serisinin %70'i eğitim kümesine; %30'u da test kümesine dahil edilmiştir.

EK A'da eğitim verisine ait NTYV, SAB, TAK ve SEK fonksiyonlarına ait her bir RES projesi için rastgele seçilen 2 adet türbine ait detaylı tablolar verilmiştir. Tablolarda incelenen değişkene ait çoklu-NTYV katsayıları verilmiş olup eşitlik (5.1) ile (5.12) arasındaki süreçler uygulanmıştır. Bu tablolarda %70 eğitim verisinden elde edilen SEK ile %30 test verisi ölçülmüş değerleri çarpılarak alansal tahmin sonuçları bulunmuş olunacaktır.

5.4 Çoklu-NTYV Uygulama Sonuçları

Önerilen çoklu-NTYV yöntemi için ülkemizdeki işletmede bulunan 4 farklı RES projesinde bulunan toplam 31 adet rüzgar türbinine ait veriler üzerinde çalışılmıştır. Onbeş adedi 2 MW diğer onaltı adet ise 2.5 MW kurulu gücüne sahiptir. İncelenen bütün rüzgar türbinlerinde dişli kutusu bulunmaktadır. Veriler 10'ar dakika ara ile alınmış olup RES için oldukça hassas bir veri setidir. Veriler arasında yarıvარიogram tekniğine göre doğrusal bir ilişki olduğu görülmüştür. Yani incelenen parametrelerin değişkenliği doğrusal bir orantı ile ifade edilebilmektedir. RES projelerinin doğası gereği, ilk adım rüzgar esmesi ile başlamaktadır. Tahmin edileceği gibi, rüzgar şiddeti ile, üretim, vibrasyon, jeneratör sıcaklığı, reaktif güç arasında doğru bir orantı bulunmaktadır. Yani rüzgar şiddeti arttıkça üretim artmaktadır. Buna mukabil, türbinin daha hızlı dönmesinden dolayı vibrasyon, jeneratör sıcaklığı değerleri de artmaktadır.

EK B ile tam veriye ait olan kısmın her bir proje için rastgele seçilen türbinlere ait yarıvარიogram grafikleri görülmektedir. Her bir RES projesinden birer rüzgar türbini örnek seçilerek eke konulmuştur. Grafikler incelendiğinde tipik yarıvარიogram özelliklerini gösterdiği görülmektedir. İncelenen rüzgar türbininden uzaktaki türbinlere gidildikçe yarıvარიogram değerleri artmakta yani değişkenler arasında ilişki azalmaktadır. Tezde çalışılan bütün değişkenler için aynı durum söz konusudur. Alan bağımlılık katsayılarına ait grafikler incelendiğinde mesafe arttıkça alan bağımlılık katsayılarının azaldığı, ve bir nokta geldiğinde de sıfır değerini aldığı görülmektedir. Yani tesir yarıçapının son noktasıdır. İncelenen iki türbin değişkeni arasındaki korelasyonun sıfır olduğu noktadır.

5.4.1 Çoklu-NTYV yöntemi değişkenlerinin bulunması

Çoklu-NTYV tekniği geliştirildikten sonra incelenen parametrelerin ve RES'ten değişkenlerin alansal tahmininin yapılması sürecine geçilmiştir. Burada %70 eğitim verisine çoklu-NTYV yöntemi uygulanmış ve alansal tahmin katsayıları her bir değişken için ayrı ayrı bulunmuştur. Eğitim verisine ait özet tablo EK C'de görülmektedir. Bu tabloda incelenen verilerin ortalama değerleri bulunmaktadır. Aynı şekilde %30 test verisine ait ortalama değerler EK D'de verilmiştir.

5.4.2 İncelenen değişkenlere ait alansal tahmin sonuçları

EK E'de %70 eğitim verisine uygulanan çoklu-NTYV sonuçlarından sonra elde edilen SEK (yani alansal tahmin katsayıları) görülmektedir. Burada görülen katsayılar EK A ile detaylandırılan %70 eğitim verisinden elde edilmiştir. İncelenen RES projelerinin türbinlere ait her bir değişken için çoklu-NTYV yöntemi ile hesaplanmış münhasır SEK bulunmuştur. Tezde kullanılan çoklu-NTYV yönteminin katsayıları bu tablolarda yapılan hesaplamalar sonucunda ulaşılmıştır. Bulunan SEK değerleri EK D'de verilen %30 test verisi ile çarpılarak EK F'de görülen alansal tahminler bulunmuştur. Hesaplanan her bir rüzgar türbinine ait incelenen rüzgar şiddeti, üretim, sıcaklık, jeneratör sıcaklığı, reaktif güç, vibrasyon değişkenleri için %70 eğitim verisinden hesaplanarak elde edilen SEK %30 test verisinde bulunan ortalama değerler ile çarpılarak alansal tahminler bulunmuştur.

Alansal tahminlerin anlamlandırılabilmesi için EK G ile Bağlı Hataları hesaplanmıştır. %30 test kümesi verisi ile gerçek ölçülen değerler elde olduğundan dolayı yapılan alansal tahminlerin daha iyi görülebilmesi için bağlı hatalar da hesaplanmıştır. Bağlı hataları hesaplamak için aşağıdaki yöntem uygulanmıştır:

$$\text{Bağlı Hata} = \frac{\text{Ölçülen değer} - \text{Tahmini değer}}{\text{Ölçülen değer}} \quad (5.8)$$

Sonuçlar irdelendiğinde tezde önerilen çoklu-NTYV yöntemi ile oldukça iyi bir yaklaşımla alansal tahminler yapıldığı görülmüştür. Alansal tahmin aralığının %80 ile %90 başarı aralığında değiştiği görülmektedir. Yapılan alansal tahminler gerek RES üretim açısından ve gerekse de incelenen diğer değişkenler açısından oldukça başarılıdır. Çoklu-NTYV tekniği kullanılarak alandaki bütün değişkenlerin incelenen değişken üzerine etkisi araştırılmış ve oldukça tatmin edici sonuçlar elde edilmiştir.

EK H ile de tezde çalışılan bütün RES projelerine ait tahmin ve üretim değerlerinin grafik üzerinde gösterimleri verilmiştir. Grafikler incelendiğinde tahmin sonuçlarının gerçek ölçülmüş değerler ile paralel olarak seyrettiği ve %10-%20 arasında daha düşük alansal tahminler yapıldığı görülmektedir. Oluşturulan modelde 1'den çıkarıldığı için ağırlıklar gittikçe azaldığı için alansal model sonuçları daha düşük çıkmaktadır. EK H1a Amasya RES ile rüzgar şiddeti tahmin edilen rüzgar şiddeti ile ölçülen rüzgar şiddeti arasında doğrusal bir ilişki bulunmakta olup tahmin doğruluğu %86 ile %97 arasında değişmektedir. EK H1b ile Amasya RES projesine ait sıcaklık değerleri lineer bir ilişkiye sahip olup sadece T4 nolu türbinde azalma görülmektedir. Üretim tahmini %72 ile %92 arasında değişmektedir. EK H1c Amasya RES projesine ait üretim değerlerinin grafiği görülmektedir. Aynı trend eğrisine sahip olup tahmin aralığı %93-%86 arasında değişmektedir. Amasya RES T4 nolu türbin sıcaklık sensöründe arıza olduğu anlaşılmaktadır. EK H1d ve EK H1e ile dişli kutusu üzerindeki vibrasyon tahmini ve ölçülen değerler verilmiştir. Yine aynı trende sahip ve %83 ile %90 arasında değişen bir alansal tahmin aralığında değerler hesaplanmıştır.

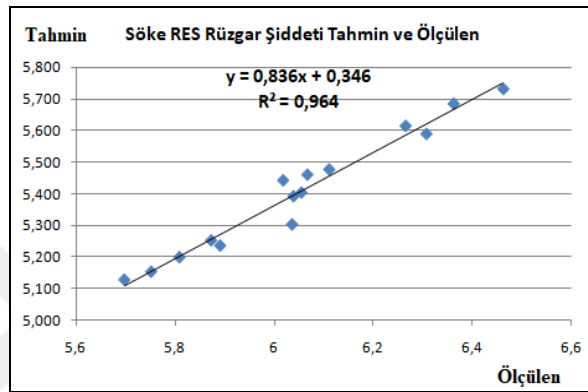
EK H2 ile Balıkesir Edincik RES projelerine ait alansal tahmin ve ölçülmüş değerlerin karşılaştırılması görülmektedir. Bu proje için de oldukça başarılı alansal tahmin doğruluğu elde edilmiş olup, gerçek veriye %85 ile %95 arasında yaklaşmıştır.

Silivri RES projesine ait değişkenlerin tahmin EK H3a, H3b ve H3c ile rüzgar şiddeti, üretim ve sıcaklık grafikleri incelendiğinde bağıl hatanın diğer değişkenler ve diğer RES projelerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Alansal tahmin doğruluğu %80 ile %90 arasında değişmektedir.

İncelenen RES projeleri içerisinde en yüksek alansal tahmin sonuçları Söke RES projesine aittir. Burada %85-%95 arasında yaklaşım görülmüştür. Bunun sebepleri arasında proje sahasının ovada bulunması nedeni ile yükseklik farklarının olmaması, rüzgar şiddeti değerlerinin türbinler arasında büyük bir değişim göstermemesi, bölge ikliminin daha belirli ve düzenli bir yapıda olması ve verilerin düzenli bir şekilde kayıpsız olarak toplanmış olması gösterilebilir. Ayrıca Söke RES projesinde rüzgar türbinleri düz bir arazi boyunca yayılmış olduğundan dolayı alansal bağımlılık daha yüksektir. Bu durum alansal tahmin doğruluğunu da etkilemekte olup, yüksek doğrulukta sonuçlara ulaşılmasına neden olmuştur.

5.4.3 Gerçek ve tahmin değerlerinin saçılma diyagramı

İncelenen RES projelerinin alansal tahmin ve ölçülen değerlere ait saçılma grafikleri çizdirilmiştir. Belirlilik katsayısı R^2 değerleri de hesaplanarak yorum ve kıyaslama yapılmıştır. Şekil 5.6 ile Söke RES'e ait rüzgar şiddeti tahmin ve ölçülen değerlerin saçılma grafiği verilmiştir. %30 test verisine ait ölçülen rüzgar şiddeti ile tezde önerilen çoklu-NTYV yöntemi ile elde edilen tahminlerin verildiği saçılma grafiği, denklem ve R^2 (belirlilik katsayısı) değeri görülmektedir.



Şekil 5.6 : Söke RES rüzgar şiddeti tahmin ve ölçülen saçılma grafiği.

Çizelge 5.1’de alansal tahmin ve ölçülmüş değer aynı grafikte çakıştırılıp elde edilen regresyon eşitliği ve R^2 değerleri görülmektedir. Çizelgeden de görüldüğü gibi, Söke RES projesinde en yüksek alansal tahmin sonuçları elde edilirken; en düşük alansal tahmin sonuçları Silivri RES projesinden alınmıştır. Amasya ve Edincik RES vibrasyon tahmini yüksek doğrulukta iken; Silivri RES projesine ait vibrasyon sonuçları daha düşük bulunmuştur. Üretim alansal tahminine bakıldığında bütün RES projelerinin oldukça yüksek başarı elde edildiği görülmüştür. Söke ve Edincik RES projelerinin rüzgar şiddeti tahmin doğruluğu yüksek iken; Silivri ve Amasya RES projelerinin rüzgar şiddeti alansal tahmin doğruluğu daha düşüktür. Sıcaklığın alansal tahminlerine bakıldığında ise, Silivri RES projesi en düşük tahmin doğruluk sonuçlarını vermiştir. Silivri RES projesine ait rüzgar türbinlerindeki sıcaklık sensörünün arızalı olduğu anlaşılmaktadır. İncelenen diğer RES projelerinde sıcaklığa ait alansal tahminler başarı ile modellenmiştir.

Çizelge 5.1 : Çoklu-NTYV saçılma denklemleri ve R^2 değerleri.

Santral Adı	Rüzgar Şiddeti	Sıcaklık	Üretim	Vibrasyon
Amasya RES	$y = 0,5988x + 1,985$ $R^2 = 0,4383$	$y = 0,7417x + 1,5757$ $R^2 = 0,541$	$y = 0,6384x + 7,173$ $R^2 = 0,8974$	$y = 0,8383x + 0,4022$ $R^2 = 0,9903$
Edincik RES	$y = 0,690x + 1,380$ $R^2 = 0,505$	$y = 0,296x + 9,102$ $R^2 = 0,765$	$y = 0,684x + 32,3$ $R^2 = 0,707$	$y = 0,889x + 0,106$ $R^2 = 0,975$
Silivri RES	$y = 6,326x - 45,82$ $R^2 = 0,317$	$y = 3,553x + 3,4818$ $R^2 = 0,5049$	$y = 42,99x + 31,411$ $R^2 = 0,568$	$y = -0,411x + 10,23$ $R^2 = 0,233$

Santral Adı	Rüzgar Şiddeti	Üretim	Jeneratör Sıcaklığı	Reaktif Güç
Söke RES	$y = 0,8361x + 0,3464$ $R^2 = 0,9641$	$y = 0,9108x + 0,2251$ $R^2 = 0,9919$	$y = 0,7958x + 7,2491$ $R^2 = 0,8735$	$y = 0,955x - 1,3379$ $R^2 = 0,995$

EK I ile projelere ait bütün tahmin ve ölçülen değerlerin saçılma regresyon grafiği verilmiştir. Grafiklerin üzerinde denklem ve R^2 değerleri de verilmiştir. Amasya RES projesi Merzifon'da ve yüksek rakımlı (1100 – 1300 m) bir sahada bulunmakta ve karasal iklim karakteristiklerine haizdir. Rüzgar türbinleri arasında 200 m'ye varan kot farkları bulunmaktadır. Bu husus, rüzgar şiddeti değerlerinde farklılıklara yol açmakta olup R^2 değerinin Amasya RES'teki diğer değişkenlerden daha düşük çıkmasına sebep olmakta olduğu mütalaa edilmektedir. Sıcaklık değerlerinde yüksek fark olmamakla birlikte 10 numaralı türbin, diğer türbinlerden daha yüksek sıcaklık değerine sahiptir ve R^2 değeri 0,541 olarak hesaplanmıştır. Amasya RES üretim ve vibrasyon değerlerinin saçılma grafiği ve R^2 değerleri incelendiğinde oldukça yüksek doğrulukta tahmin sonuçları bulunmuştur. R^2 değeri, 0,897 civarında hesaplanmıştır. Bu iki santralde türbin adedi 4 olduğundan dolayı tahminlerin daha düşük çıkmaktadır. Amasya RES 10 adet; Söke RES projesinde 15 adet rüzgar türbini yani alansal dağılmış veri veya istasyon sayısı bulunmaktadır. Yani, yapılan tez çalışmasındaki önemli sonuçlardan birisi de, önerilen çoklu-NTYV yönteminin tahmin doğruluğunun alansal dağılmış veri sayısı ile doğru orantılı olduğu söylenebilir.

5.5 Doğrusal Çoklu-Regresyon Modeli

Geliştirilen çoklu-NTYV yönteminin test edilmesi amacı için verilere Doğrusal Çoklu-Regresyon yöntemi uygulanmıştır. Regresyon analizi bir bağımlı değişken ile bir bağımsız (basit regresyon) veya birden fazla bağımsız (çoklu regresyon) değişken arasındaki ilişkilerin matematiksel eşitlik ile açıklanması sürecidir. Regresyon analizinde değişkenler arasındaki ilişki doğrusal ise doğrusal regresyon, değil ise doğrusal olmayan regresyon olarak adlandırılır. Regresyon analizi, aralarında sebep-sonuç ilişkisi bulunan iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi belirlemek ve bu ilişkiyi kullanarak o konu ile ilgili tahminler (estimation) ya da kestirimler (prediction) yapabilmek amacıyla yapılır. Doğada birçok olayda sebep sonuç ilişkisine rastlamak mümkündür. Bu analiz tekniğinde iki (basit regresyon) veya daha fazla değişken (çoklu regresyon) arasındaki ilişki açıklamak için matematiksel bir model kullanılır ve bu model regresyon modeli olarak adlandırılır. Basit doğrusal regresyon modeli birçok durum için elverişli olabilir ancak gerçek hayatta birçok modelin açıklanması için iki veya daha fazla açıklayıcı (bağımsız) değişkene ihtiyaç duyulacaktır. Birden fazla açıklayıcı değişkene sahip regresyon modellerine çoklu regresyon modelleri adı verilmektedir.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + e \quad (\text{Basit doğrusal regresyon modeli})$$

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_n x_n + e \quad (\text{Çoklu doğrusal regresyon modeli})$$

y: Bağımlı değişken, x_i : Bağımsız değişkenler, β_i : Tahmin edilecek parametreler ve e: Hata terimini ifade etmektedir. Çoklu regresyon modelinin varsayımları aşağıdaki gibi sıralanabilir;

1. Normal dağılım ve doğrusallık
2. Hata terimlerinin ortalaması 0'dır
3. Sabit varyans
4. Otokorelasyon ve bağımsız değişkenler arasında çoklu bağlantının olmaması.

Çoklu regresyon modelinde H_0 hipotezi tüm regresyon katsayılarının sıfıra eşit olduğu ($H_0 = \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \dots = \beta_n$) şeklinde kurulurken; H_a hipotezi en az bir β_i 'nin sıfırdan farklı olduğu şeklinde kurulur. Parametrelerin tek tek istatistiksel olarak anlamlılığı için t testi sonuçlarına ve modelin bir bütün olarak anlamlılığı için F testi sonuçlarına bakılır.

5.5.1 Verilere doğrusal çoklu regresyon analizi uygulaması

Doğrusal çoklu regresyon analizi, Amasya ve Söke RES projelerine uygulanmıştır. Çizelge 5.3 ile verilen örnek üzerinden çoklu-regresyon sürecinin nasıl işletildiği aşağıda özetlenmiştir. Çoklu-NTYV ile aynı teknik kullanılarak %70 test ve %30 eğitim verisine ayrılmıştır. Bu durumda, %70 test verisine ait elde edilen regresyon istatistikleri %30 eğitim verisine uygulanmıştır. Amasya ve Söke RES projelerinde daha fazla rüzgar türbini bulunduğundan dolayı çoklu-regresyon bu iki santraldan elde edilen RES işletme verilerine uygulanmıştır. Aşağıdaki Çizelge 5.2 ile Söke RES %70 eğitim verisine ait değerler görülmektedir.

Çizelge 5.2 : Söke RES %70 eğitim verisi ortalama değerleri.

Türbin No	Rüzgar Şiddeti (m/s)	Üretim (MWh/y)	Jeneratör Sıcaklık (C)	Reaktif Güç (WWh/y)
T1	5,967	614,652	74,936	28,330
T2	5,730	536,440	72,600	32,740
T3	5,970	603,340	76,010	26,580
T4	5,790	563,940	74,280	38,470
T5	5,910	607,510	75,130	35,080
T6	5,750	540,960	73,660	38,890
T7	6,260	637,390	78,970	38,900
T8	5,760	531,860	73,780	38,670
T9	5,748	540,757	74,980	35,045
T10	5,895	572,084	77,232	39,793
T11	5,951	568,567	76,237	35,462
T12	5,600	508,301	74,728	32,350
T13	5,517	507,702	74,094	28,457
T14	5,697	532,330	74,199	32,690
T15	5,773	523,344	74,049	31,953

Yukarıdaki tabloda en başa rüzgar şiddeti yazıldığından rüzgar şiddeti için çoklu-regresyon değerleri hesaplanacağı anlamını taşımaktadır. Çizelge 5.3 ile verilen değerlerin çoklu-regresyon istatistikleri Çizelge 5.3 ile verilmiştir.

Çizelge 5.3 : Söke RES rüzgar şiddeti çoklu-regresyon istatistikleri.

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Anlamlılık F</i>
Regresyon	3	0,406436	0,135479	35,17379	6,24E-06
Fark	11	0,042369	0,003852		
Toplam	14	0,448804			

	<i>Katsayılar</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-değeri</i>	<i>Düşük %95</i>	<i>Yüksek %95</i>	<i>Düşük 95,0%</i>	<i>Yüksek 95,0%</i>
Kesişim	1,848671	0,904203	2,044532	0,06559	-0,14147	3,838808	-0,14147	3,838808
X1 (Üretim)	0,003348	0,000574	5,832101	0,000114	0,002084	0,004611	0,002084	0,004611
X (Jene.Sıcak.)	0,025618	0,015047	1,702473	0,116721	-0,0075	0,058737	-0,0075	0,058737
X (Reak.Güç)	0,005235	0,004048	1,293318	0,222401	-0,00367	0,014145	-0,00367	0,014145

a: Kesişim değeri

b: X değişkeni 1 (üretim değeri çoklu-regresyon katsayısı)

c: X değişkeni 2 (jeneratör sıcaklık değeri çoklu-regresyon katsayısı)

d: X değişkeni 3 (reaktif güç değeri çoklu-regresyon katsayısı)

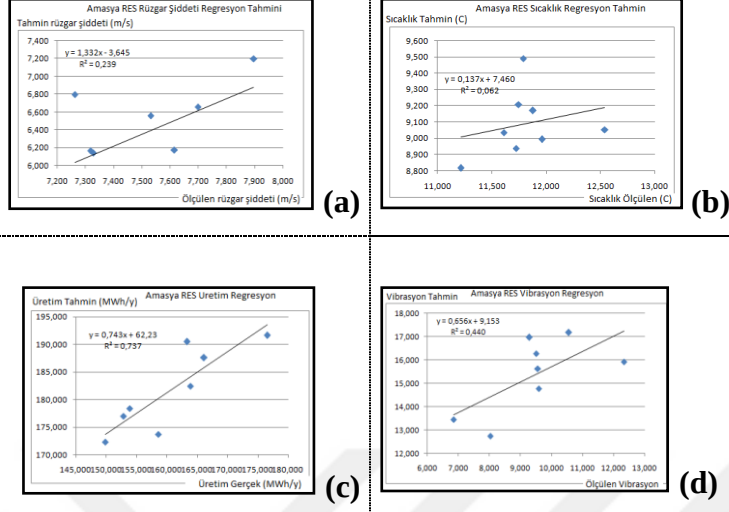
Yukarıdaki çoklu-regresyon süreci, her bir değişken için uygulanmıştır. Çizelge 5.4 ile çoklu-regresyon yöntemine göre yapılan modelleme sonuçları görülmektedir.

Çizelge 5.4 : Çoklu-regresyon sonuçları.

Santral Adı	Rüzgar Şiddeti	Sıcaklık	Üretim	Vibrasyon
Amasya	$y = 1,332 - 3,645$	$y = 0,485x + 3,512$	$y = 0,743x + 62,23$	$y = 0,656x + 9,153$
RES	$R^2 = 0,239$	$R^2 = 0,134$	$R^2 = 0,737$	$R^2 = 0,440$
Santral Adı	Rüzgar Şiddeti	Üretim	Jeneratör Sıcaklığı	Reaktif Güç
Söke RES	$y = 0,899x + 0,579$	$y = 0,872 + 70,30$	$y = 0,618x + 28,589$	$y = 0,2x + 27,382$
	$R^2 = 0,955$	$R^2 = 0,848$	$R^2 = 0,618$	$R^2 = 0,256$

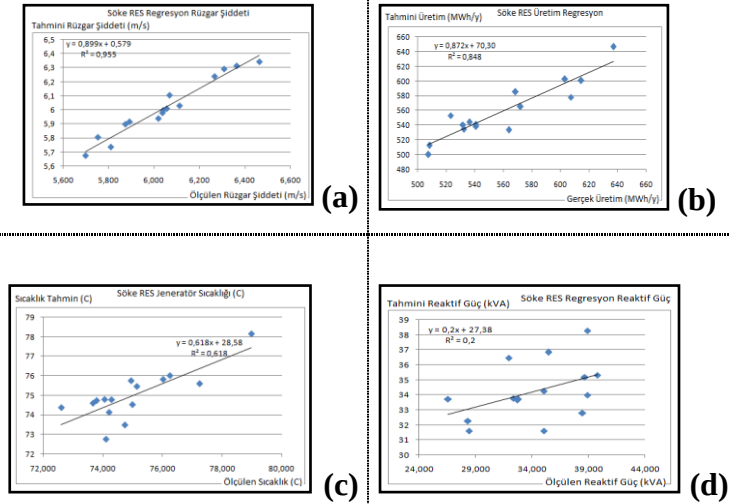
EK K'da çoklu-regresyon istatistikleri ve parametreleri ayrıntılı bir şekilde verilmiştir. Şekil 5.7 ile Amasya RES projesine ait çoklu-regresyon saçılma grafiği, denklemi ve R^2 değerleri görülmektedir. Amasya RES doğrusal çoklu-regresyon sonuçlarına bakıldığında en başarılı sonuçların üretim değişkeninden elde edildiği anlaşılmakta olup, vibrasyon değerinin model başarısı onu takip etmektedir. Sıcaklık

ve rüzgar şiddetine ait saçılma diyagramı ise, düşük R^2 değerlerine sahiptir. Özellikle sıcaklık çok düşük bir yaklaşımla temsil edilebilmiştir (Şekil 5.7).



Şekil 5.7 : Amasya RES çoklu regresyon saçılma grafikleri.

Şekil 5.8 ile Söke RES projesine ait çoklu-regresyon saçılma grafiği, denklemi ve R^2 değerleri görülmektedir. Söke RES projesi doğrusal çoklu-regresyon tahmin sonuçları incelendiğinde reaktif güç haricindeki diğer değişkenler olan üretim, rüzgar şiddeti ve jeneratör sıcaklığı değişkenlerinde oldukça yüksek R^2 değerleri hesaplandığı görülmektedir. Reaktif güç değişkeni için R^2 düşüktür. Çoklu-NTYV tahmininde daha yüksek R^2 değeri bulunmuştur.



Şekil 5.8 : Söke RES çoklu regresyon saçılma grafikleri.

EK L’de çoklu-regresyon saçılma grafikleri, denklemler ve R^2 değerleri verilmiştir.

Tezde önerilen ve geliştirilen çoklu-NTYV ile kıyaslama için çalışılan çoklu-regresyon eşitlikleri ve R^2 değerleri Amasya RES projesi için Çizelge 5.5 ile verilmiştir. Görüldüğü gibi, tezde önerilen çoklu-NTYV yönteminden daha iyi tahmin sonuçları alınmıştır. Çoklu-NTYV yöntemi ile hesaplanan modelleme sonuçlarının R^2 değerleri daha yüksek çıkmıştır. Her iki yöntemdeki sonuçlar birbirine paralel olarak çıkmıştır. Üretim tahmini her iki yöntemde de yüksek doğrulukta çıkmıştır. Vibrasyon ve rüzgar şiddeti daha düşük doğrulukta; sıcaklık ise tahmin doğruluğu en düşük değişken olmuştur. Sıcaklığın düşük çıkmasındaki en büyük nedenin çeşitli zamanlarda meydana gelen sensör arızalanması olduğu değerlendirilmektedir.

Çizelge 5.5 : Amasya RES tam veri kıyaslama.

Santral Adı	Yöntem Adı	Rüzgar Şiddeti	Sıcaklık	Üretim	Vibrasyon
Amasya RES	Çoklu-NTYV	$y=0,5988x+1,985$ $R^2 = 0,4383$	$y= 0,7417x+1,5757$ $R^2 = 0,541$	$y=0,6384x+7,173$ $R^2 = 0,8974$	$y=0,8383x+0,4022$ $R^2 = 0,9903$
	Çoklu regresyon	$y=1,332x-3,645$ $R^2 = 0,239$	$y = 0,485x+3,512$ $R^2 = 0,134$	$y=0,743x + 62,23$ $R^2 = 0,737$	$y=0,656x+9,153$ $R^2 = 0,440$

Söke RES tam veriye ait çoklu-NTYV ile çoklu-regresyon kıyaslaması ile aşağıdaki Çizelge 5.6 ile görülmektedir. Söke RES projesinde yükseklik farkları olmadığından dolayı gerek çoklu-NTYV ve gerekse de çoklu regresyon modelinde çok iyi sonuçlar alınmıştır. Bunun nedenleri arasında; Söke RES proje sahasının ovada bulunması nedeni ile yükseklik farklarının olmaması, rüzgar şiddeti değerlerinin türbinler arasında büyük bir değişim göstermemesi, bölge ikliminin daha belirli ve düzenli bir yapıda olması ve verilerin düzenli bir şekilde kayıpsız olarak toplanmış olması gösterilebilir. Ayrıca Söke RES projesinde rüzgar türbinleri düz bir arazi boyunca yayılmış olduğundan dolayı alansal bağımlılık daha yüksek olduğunu hatırlamak lazımdır. Yarıvariogram sürecinin en önemli özelliklerinden birisi Söke RES projesinde karşımıza çıkmaktadır. Bu durum, tahmin doğruluğunu pozitif olarak etkilemekte olup, yüksek doğrulukta alansal tahmin sonuçlarına ulaşılmasına neden olmuştur. Her iki yöntem kıyaslandığında ise, tezde önerilen çoklu-NTYV yönteminin daha başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. Ayrıca Söke RES projesinin rüzgar türbinlerinin ölçüm sensörlerinin daha doğru çalıştığı da

görülmektedir. Çoklu-regresyon yönteminde jeneratör sıcaklığı ve reaktif güç saçılma grafiklerinin R^2 değerleri diğer değişkenlerden daha düşük çıkmıştır. Ancak üretim ve rüzgar şiddeti değişkenleri her iki yöntem de yüksek tahmin doğruluğuna sahip olup yüksek R^2 değerleri görülmektedir.

Çizelge 5.6 : Söke RES tam veri kıyaslama.

Santral Adı	Yöntem Adı	Rüzgar Şiddeti	Üretim	Jeneratör Sıcaklığı	Reaktif Güç
Söke RES	Çoklu-NTYV	$y=0,8361x+0,3464$ $R^2 = 0,9641$	$y=0,9108x+0,2251$ $R^2 = 0,9919$	$y=0,7958x+7,2491$ $R^2 = 0,8735$	$y=0,955x-1,3379$ $R^2 = 0,995$
	Çoklu regresyon	$y=0,899x+0,579$ $R^2 = 0,955$	$y=0,872 + 70,30$ $R^2 = 0,848$	$y=0,618x+28,589$ $R^2 = 0,618$	$y=0,2x+27,382$ $R^2 = 0,256$

5.6 Bir Aylık Verilere Ait Uygulama Sonuçları

Daha önce de belirtildiği gibi, tez uygulaması yaklaşık 48 aylık verilere uygulanmıştır. Uzun süreli ortalama verilerle çalışmanın yanında kısa süreli ve değişkenliği yüksek veri ile de çalışılarak tezde önerilen yöntem, kısa süreli verilerde de denenmiştir. Söke ve Amasya RES projelerine ait veriler seçilerek 1 aylık verilere göre de çalışma yapılmıştır. Amasya RES için Ağustos 2016; Söke RES için ise Mayıs 2015 verisi rastgele seçilmiştir.

5.6.1 Bir aylık veri çoklu-NTYV uygulama sonuçları

Amasya RES projesi Ağustos 2016 yılı, Söke RES Mayıs 2015 yılına ait 1 aylık verilere, çoklu-NTYV çalışması için tüm veriye uygulanan işlem süreci burada da aynı şekilde uygulanmıştır. Çizelge 5.7 ile Amasya RES %70 test verisinden tahmin parametreleri (Saha Etki Katsayısı) görülmektedir.

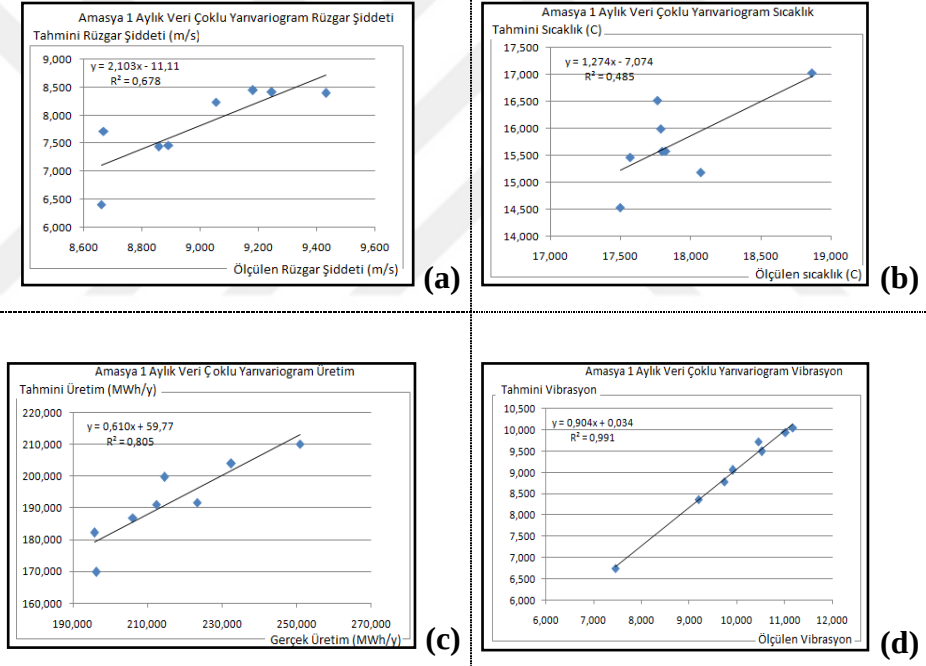
Çizelge 5.7 : Amasya RES Ağustos 2016 aylık SEK değerleri.

Türbin No	Rüzgar Şiddeti	Sıcaklık	Üretim	Vibrasyon (DK)
T1	0,879	0,875	0,907	0,905
T2	0,926	0,930	0,931	0,914
T3	0,878	0,880	0,931	0,930
T4	0,855	0,830	0,866	0,910
T9	0,780	0,840	0,837	0,900
T13	0,869	0,874	0,877	0,902

T14	0,895	0,899	0,900	0,903
T16	0,855	0,903	0,858	0,903

Yukarıda tablodan elde edilen alansal tahmin parametreleri Amasya RES 1 aylık %30 test verisi ile çarpılmıştır.

Amasya RES 1 aylık veriye dayanan çoklu-yarıvარიogram tahmin verisi ile ölçülen verinin saçılma grafiği, denklem ve R^2 değerleri Şekil 5.9 ile görülmektedir. 1-aylık veriden yapılan alansal tahminde en yüksek R^2 değeri vibrasyon değişkeninden alınmıştır. Üretim ve rüzgar şiddeti onu takip etmektedir. Sıcaklık R^2 değeri 0,485 olarak hesaplanmıştır.



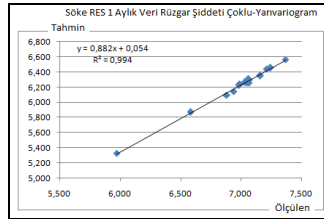
Şekil 5.9 : Amasya RES 1 aylık veri çoklu-NTYV saçılma grafikleri.

Söke RES 1 aylık veriye ait çoklu-NTYV tahmin parametreleri (SEK katsayıları) Çizelge 5.8 ile verilmiştir.

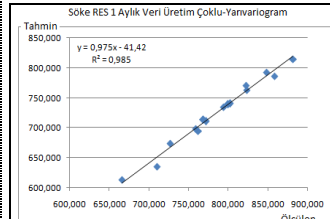
Çizelge 5.8 : Söke RES 1 Mayıs 2015 SEK değerleri.

Türbin No	Rüzgar Şiddeti	Üretim	Jeneratör Sıcaklığı	Reaktif Güç
T1	0,891	0,923	0,920	0,915
T2	0,892	0,895	0,894	0,890
T3	0,892	0,921	0,919	0,916
T4	0,893	0,921	0,920	0,918
T5	0,895	0,924	0,921	0,917
T6	0,891	0,912	0,910	0,907
T7	0,891	0,916	0,915	0,915
T8	0,892	0,921	0,920	0,917
T9	0,887	0,923	0,921	0,915
T10	0,893	0,927	0,921	0,920
T11	0,891	0,937	0,937	0,925
T12	0,888	0,925	0,918	0,909
T13	0,886	0,935	0,918	0,917
T14	0,885	0,928	0,916	0,915
T15	0,886	0,927	0,916	0,914

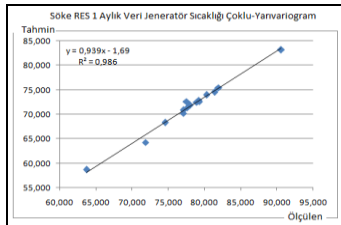
Söke RES 1 aylık veriye dayanan çoklu-NTYV alansal tahmin verisi ile ölçülen verinin saçılma grafiği, denklem ve R^2 değerleri Şekil 5.10 ile görülmektedir. 1-aylık çoklu-yarıvარიogram tahmin sonuçları Söke RES içinde yüksek tahmin doğruluğunda elde edilmiştir. R^2 değerleri, 0,995 ile 0,985 arasında değişim göstermektedir.



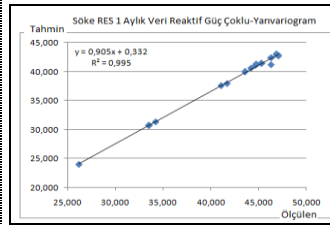
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 5.10 : Söke RES 1 aylık veri çoklu-NTYV saçılma grafikleri.

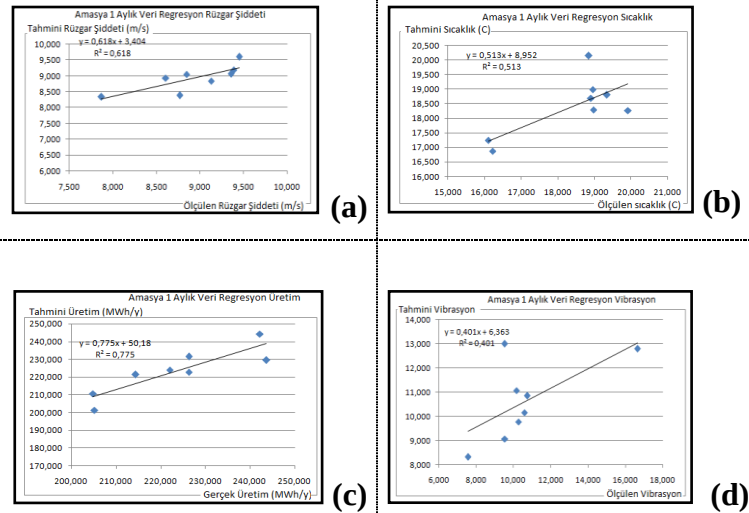
Toplam veriye dayanan 46 aylık çoklu-yarıvartogram sonuçları ile 1-aylık çoklu-NTYV sonuçları kıyaslandığında ise, tüm verideki R^2 değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Yani tahmin doğruluğu daha yüksektir. Çizelge 5.9 ile Söke ve Amasya RES 1-aylık veri denklem ve R^2 değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.9 : Söke ve Amasya RES 1-aylık veri denklem ve R^2 değerleri.

Santral Adı	Rüzgar Şiddeti	Sıcaklık	Üretim	Vibrasyon
Amasya RES	$y = 2,103x - 11,11$ $R^2 = 0,678$	$y = 1,274x - 7,074$ $R^2 = 0,485$	$y = 0,610x + 59,77$ $R^2 = 0,805$	$y = 0,904x + 0,034$ $R^2 = 0,991$
Söke RES	$y = 0,882x + 0,054$ $R^2 = 0,954$	$y = 0,975x + 41,42$ $R^2 = 0,985$	$y = 0,939x + 1,69$ $R^2 = 0,986$	$y = 0,905x + 0,332$ $R^2 = 0,995$

5.6.2 Bir aylık verilere çoklu regresyon uygulama sonuçları

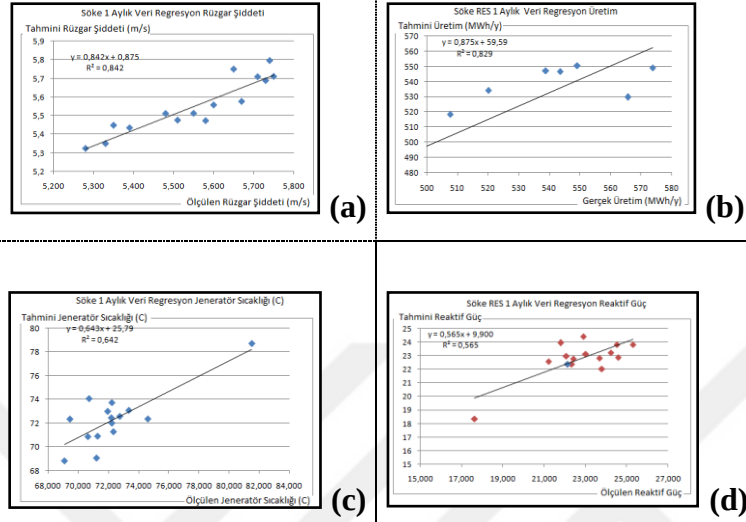
Amasya RES projesi Ağustos 2016 yılı, Söke RES Mayıs 2015 yılına ait 1 aylık verilere tüm veriye uygulandığı gibi, çoklu-regresyon süreci burada da aynı şekilde uygulanmıştır. Şekil 5.11 ile Amasya RES 1 aylık veri regresyon saçılma grafiği, deklemleri ve R^2 değerleri görülmektedir. Üretim ve rüzgar şiddetinden daha yüksek R^2 değerleri alınmıştır. Vibrasyon çoklu-regresyon R^2 değeri 0,401 ile en düşük tahmin yaklaşımını vermiştir.



Şekil 5.11 : Amasya RES 1 aylık veri çoklu-regresyon saçılma grafikleri.

Söke RES 1 aylık veri çoklu-regresyon saçılma grafikleri Şekil 5.12 ile incelenebilir. Söke RES üretim ve rüzgar şiddeti yüksek R^2 değerlerine sahipken; jeneratör

sıcaklığı ve reaktif güç R^2 değerleri daha düşük olarak hesaplanmıştır. Dikkat edilir ise, hem Amasya RES, hem de Söke RES projelerinde 1-aylık çoklu-regresyon analizinde üretim ve rüzgar şiddeti değişkenlerinden daha yüksek R^2 değerleri elde edilmiştir.



Şekil 5.12 : Söke RES 1 aylık veri çoklu-regresyon saçılma grafikleri.

EK M ile çoklu-regresyon parametreleri ve tahmin tabloları verilmiştir.

Amasya RES projesi Ağustos 2016 tarihine ait 1-aylık verinin çoklu-NTYV ve çoklu-regresyon sonuçları kıyaslama açısından Çizelge 5.10 ile verilmiştir.

Çizelge 5.10 : Amasya RES 1-aylık veri kıyaslama.

Santral Adı	Yöntem Adı	Rüzgar Şiddeti	Sıcaklık	Üretim	Vibrasyon
Amasya RES	Çoklu-NTYV	$y=2,103x-11,11$ $R^2 = 0,678$	$y=1,274x-7,074$ $R^2 = 0,485$	$y=0,610x+59,77$ $R^2 = 0,805$	$y=0,904x+0,034$ $R^2 = 0,991$
	Çoklu-regresyon	$y=0,618x+3,404$ $R^2 = 0,618$	$y=0,513x+8,952$ $R^2 = 0,513$	$y=0,775x+50,18$ $R^2 = 0,775$	$y=0,401x+6,363$ $R^2 = 0,401$

Söke RES Mayıs 2015 tarihine ait 1-aylık verinin çoklu-NTYV ve çoklu-regresyon sonuçları kıyaslama açısından Çizelge 5.11 ile verilmiştir.

Çizelge 5.11 : Söke RES 1-aylık veri kıyaslama.

Santral Adı	Yöntem Adı	Rüzgar Şiddeti	Üretim	Jeneratör Sıcaklığı	Reaktif Güç
Söke RES	Çoklu-NTYV	$y=0,882x+0,054$ $R^2 = 0,954$	$y=0,975x +41,42$ $R^2 = 0,975$	$y=0,939x+1,69$ $R^2 = 0,986$	$y=0,905x+0,332$ $R^2 = 0,995$
	Çoklu-regresyon	$y=0,842x+0,875$ $R^2 = 0,842$	$y=0,875x +59,59$ $R^2 = 0,829$	$y=0,643x+25,79$ $R^2 = 0,642$	$y=0,565x+9,900$ $R^2 = 0,565$

Çoklu-NTYV ve çoklu-regresyon 1 aylık veri sonuçları incelendiğinde, tezde önerilen çoklu-NTYV sonuçlarının tüm veride olduğu gibi daha iyi tahmin yapabildiği görülmüştür. Uzun süreli veri ile kısa süreli verinin kıyaslanması için Amasya RES projesi tüm veri ve Ağustos 2016 tarihine ait 1-aylık verinin çoklu-yarıvარიogram sonuçları kıyaslama açısından Çizelge 5.12 ile verilmiştir. Tüm veri ile yapılan çoklu-yarıvარიogram tahminlerinin sıcaklık ve üretimde daha yüksek R^2 değerlerine sahip olduğu; rüzgar şiddeti ve vibrasyon tahminlerinin R^2 değerlerinin 1-aylık veri ile yapılan çalışmada daha yüksek olduğu görülmüştür.

Çizelge 5.12 : Amasya RES tüm veri ve 1-aylık veri kıyaslama.

Santral Adı	Yöntem Adı	Rüzgar Şiddeti	Sıcaklık	Üretim	Vibrasyon
Amasya RES	Tüm veri	$y=0,5988x+1,985$ $R^2 = 0,4383$	$y=0,7417x+1,5757$ $R^2 = 0,541$	$y=0,6384x+7,173$ $R^2 = 0,8974$	$y=0,8383x+0,4022$ $R^2 = 0,9903$
	1-aylık veri	$y=2,103x-11,11$ $R^2 = 0,678$	$y=1,274x-7,074$ $R^2 = 0,485$	$y=0,610x+59,77$ $R^2 = 0,805$	$y=0,904x+0,034$ $R^2 = 0,991$

Söke RES tüm veri ve Mayıs 2015 tarihine ait 1-aylık verinin çoklu-NTYV sonuçları kıyaslama açısından Çizelge 5.13 ile verilmiştir. Rüzgar şiddeti, üretim ve reaktif güç tüm veri çoklu-NTYV tahminlerinin R^2 değerinin daha yüksek olduğu; jeneratör sıcaklığına ait R^2 değerinin ise 1-aylık kısa süreli veride daha yüksek olduğu görülmüştür.

Çizelge 5.13 : Söke RES toplam veri ve 1-aylık veri kıyaslama.

Santral Adı	Yöntem Adı	Rüzgar Şiddeti	Üretim	Jeneratör Sıcaklığı	Reaktif Güç
Söke RES	Tüm veri çoklu-NTYV	$y=0,8361x+0,3464$ $R^2 = 0,9641$	$y=0,9108x+0,2251$ $R^2 = 0,9919$	$y=0,7958x+7,2491$ $R^2 = 0,8735$	$y=0,955x-1,3379$ $R^2 = 0,995$
	1-aylık veri çoklu-,NTYV	$y=0,882x+0,054$ $R^2 = 0,954$	$y=0,975x +41,42$ $R^2 = 0,975$	$y=0,939x+1,69$ $R^2 = 0,986$	$y=0,905x+0,332$ $R^2 = 0,995$

Toplam veri ve 1-aylık veriler incelendiğinde, tüm veri ile daha iyi tahmin yapabildiği görülmüştür.

EK N’de toplam veriye ve 1 aylık veriye ait Söke ve Amasya RES gerçek (ölçülen) değer, çoklu-NTYV ve çoklu-regresyon tahmin sonuçları verilmiştir.

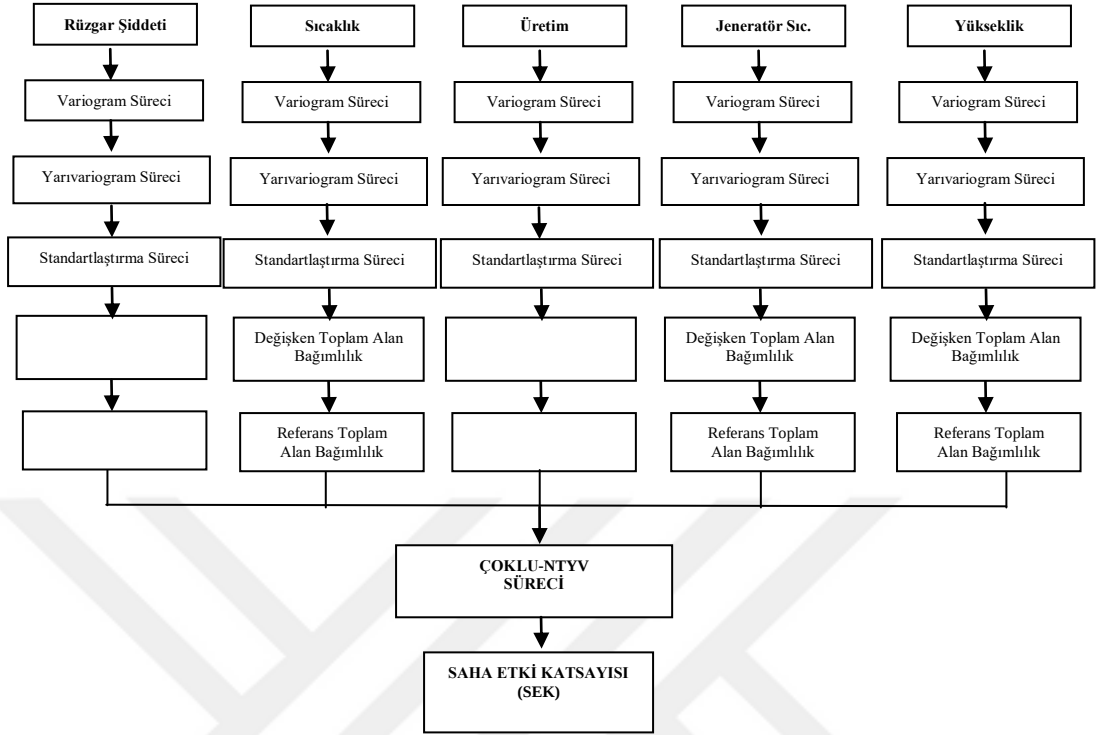
Çizelge 5.14 ile tezde geliştirilen çoklu-NTYV ile doğrusal çoklu regresyon kıyaslaması verilmiştir.

Çizelge 5.14 : Yöntem kıyaslama.

Çoklu-NTYV	Doğrusal Çoklu Regresyon
Alansal bilgi içerir	Alansal bilgi içerir
Alansal yoruma izin verir	Alansal yoruma izin vermez
Mesafeye bağlı tesirler bulunabilir	Mesafeye bağlı tesirler bulunamaz

5.7 Değişken Çıkarılarak Hesaplanan Alansal Modelleme Sonuçları

Önerilen çoklu-NTYV ile ilgili olarak incelenen hangi değişkenin çıkarılır ise alansal model tahminin daha iyi yapılabileceği de araştırılmıştır. Yani, hangi değişkenin daha fazla etkilediği; hangi değişkenin daha az etkilediği konusu üzerinde de durularak Amasya RES ve Söke RES projeleri için incelenen değişkenler çıkarılarak çoklu-NTYV uygulanmıştır. Dolayısı ile hangi değişken çıkarılır ise daha iyi sonuç alınacağını anlaşılmaması üzerinde durulmuştur. %70 eğitim verisinden SEK katsayıları hesaplanarak %30 test verisi ile çarpılmıştır ve tahminler bulunmuştur. Buradaki yöntemde incelenen değişkene ait toplam alan bağımlılık ile referans toplam alan bağımlılık değeri ile hesaplamalara dahil edilmeyen değişkenin ilgili belirtilen değerleri hariç bırakılmıştır. Örneğin rüzgar şiddeti için sıcaklık değişkeninin hesaplamalara katılmadığı durumda Şekil 5.1 ile verilen diyagram Şekil 5.13’teki gibi olacaktır.



Şekil 5.13 : Çoklu-NTYV rüzgar şiddeti SEK hesaplama diyagramı (üretimsiz).

SEK Tahmin Katsayıları Amasya RES için EK O ile Söke RES için EK P’de verilmiştir. Sonuçların yorumlanması için çoklu-NTYV alansal tahminleri ile gerçek ölçülen değerler arasında saçılma grafikleri, denklem ve R^2 (belirlilik katsayısı) değerleri hesaplanmıştır. Bu bilgi, Amasya RES için EK R ile Söke RES için ise EK S ile verilmiştir.

Çizelge 5.15 ile Amasya RES projesine ait değişkenlerin çıkarılarak hesaplanan çoklu-NTYV sonuçları görülmektedir. Tablonun en üstünde normal durumda hesaplanan yani tüm değişkenlerin hesaba katıldığı denklem ve belirlilik katsayı değerleri (R^2) görülmektedir. Tablonun altında ise her bir değişken çıkarılarak hesaplanan çoklu-NTYV alansal tahmin sonuçlarından yola çıkılarak hesaplanan denklem ve R^2 değerleri görülmektedir. Çizelge 5.15 incelendiğinde, rüzgar şiddeti çıkarılarak yapılan tahmin modellemesinde sıcaklığın R^2 değerinin %30 civarında düştüğü, vibrasyonun hemen hemen aynı kaldığı; üretimin ise %12 civarında düştüğü görülmektedir.

Sıcaklık değişkeni çıkarıldığında rüzgar şiddetinin R^2 belirlilik katsayısı %5 civarı artış gösterirken; vibrasyonun %0.3 gibi küçük bir artış gösterdiği görülmektedir. Üretim değişkeni R^2 değeri ise, %10 civarında artış göstermiştir.

Üretim değişkeninin alansal modelleme hesabına katılmadığı durumda rüzgar şiddetinin R^2 belirlilik değeri %20 civarında; sıcaklığın ise %8 civarında azalma kaydettiği görülmüştür. Vibrasyon değişkeni değerinde ise %0.5 artış görülmektedir.

Vibrasyon değişkeninin hesaplamalardan muaf tutulduğu alansal modelleme sonuçlarına göre; rüzgar şiddetinin R^2 değeri %5, sıcaklık %12 ve üretim ise %0.5'lik küçük bir artış göstermiştir. Vibrasyon değişkeni hariç bırakıldığında her 3 değişkenin R^2 değerinde artış görülmektedir.

Yükseklik değişkeninin hesaba katılmadığı durumda R^2 belirlilik değeri rüzgar şiddeti için %5, vibrasyon %3 artarken; sıcaklıkta %15, üretim değişkeninde ise %10'luk bir düşüş göstermiştir.

Hesaplamalara bakıldığında vibrasyon değişkeni çıkarıldığında alansal modelleme doğruluğunun arttığı söylenebilir. Yükseklik değişkeni çıkarıldığında ise, diğer bütün değişkenlerin R^2 değeri yani tahmin doğruluğu düşmektedir.

Çizelge 5.15 : Amasya RES incelenen değişkenler çıkarılması.

Bütün Değişkenler Çoklu-NTYV Sonuçları		
Rüzgar Şiddeti	Sıcaklık	Üretim
$y=0,5988x+1,985$ $R^2 = 0,4383$	$y = 0,7417x+1,5757$ $R^2 = 0,541$	$y=0,6384x+7,173$ $R^2 = 0,8974$
		Vibrasyon $y = 0,8383x+0,4022$ $R^2 = 0,963$
Rüzgar Şiddeti Hariç		
Sıcaklık	Üretim	Vibrasyon
$y=0,701x+1,647$ $R^2 = 0,101$	$y=0,719x+23,43$ $R^2 = 0,724$	$y=0,909x+0,160$ $R^2 = 0,991$
Sıcaklık Hariç		
Rüzgar Şiddeti	Üretim	Vibrasyon
$y=0,578x+2,134$ $R^2 = 0,442$	$y=0,625x+38,79$ $R^2 = 0,841$	$y=0,911x+0,128$ $R^2 = 0,997$
Üretim Hariç		
Rüzgar Şiddeti	Sıcaklık	Vibrasyon
$y=0,520x+2,513$ $R^2 = 0,309$	$y=2,893x+24,62$ $R^2 = 0,516$	$y=0,916x+0,204$ $R^2 = 0,996$
Vibrasyon Hariç		
Rüzgar Şiddeti	Sıcaklık	Üretim
$y=0,574x+2,503$	$y=1,107x+2,525$	$y=0,752x+26,38$

$R^2 = 0,472$	$R^2 = 0,654$	$R^2 = 0,998$
Yükseklik Hariç		
Rüzgar Şiddeti	Sıcaklık	Üretim
$y=0,740x+0,719$ $R^2 = 0,480$	$y=0,919x+1,135$ $R^2 = 0,422$	$y=0,743x+15,83$ $R^2 = 0,839$
		Vibrasyon $y=0,870x+0,078$ $R^2 = 0,996$

Çizelge 5.16 ile konunun daha açık görülebilmesi için tablo basitleştirilmiştir.

Çizelge 5.16 : Amasya RES incelenen değişkenler çıkarılması basit gösterim.

	Rüzgar Şiddeti	Üretim	Sıcaklık	Vibrasyon
Rüzgar Şiddeti Hariç	-	↓	↓	↑
Üretim Hariç	↓	-	↓	↑
Sıcaklık Hariç	↑	↓	-	↑
Vibrasyon Hariç	↑	↑	↑	-
Yükseklik Hariç	↑	↓	↓	↑

Söke RES projesine ait değişkenlerin çıkarılarak hesaplanan çoklu-NTYV sonuçları Çizelge 5.17 ile görülmektedir.

Rüzgar şiddeti değişkeni çıkarıldığında üretim %1, reaktif güç değişkenine ait R^2 belirlilik katsayı değeri %1 civarı azalma gösterirken; jeneratör sıcaklığı %10 civarında düşüş göstermiştir. Rüzgar şiddeti değişkeni çıkarıldığında her 3 değişkenin R^2 değeri düşüş göstermektedir. Üretim değişkeninin alansal modelleme hesabına katılmadığı durumda rüzgar şiddetinin R^2 belirlilik değeri %4 civarında; jeneratör sıcaklığının ise %3 civarında azalma kaydettiği görülmüştür. Reaktif güç değişkeni belirlilik katsayısı R^2 değerinde ise %0.5 artış görülmektedir. Jeneratör sıcaklığı değişkeninin hesaba katılmadığı durumda R^2 belirlilik değeri rüzgar şiddeti için %1 artış; üretim %1 azalma ve reaktif güç %20 düşüş göstermiştir.

Reaktif güç değişkeninin hesaplamalardan muaf tutulduğu alansal modelleme senaryo sonuçlarında rüzgar şiddetinin R^2 değeri %2, üretim %2 ve jeneratör sıcaklığı ise %0.5 artış göstermiştir. Reaktif güç çıkarılarak yapılan çoklu-NTYV alansal tahmin hesaplamalarında her 3 değişkenin de R^2 değerinin arttığı

görülmektedir. Söke RES değişken çıkarılarak yapılan alansal modelleme senaryo sonuçlarına göre reaktif güç çıkarıldığı durumda en yüksek tahmin doğruluğu elde edilmektedir. Rüzgar şiddeti değişkeni çıkarıldığında ise, her üç değişkenin de tahmin doğruluğu azalmaktadır.

Çizelge 5.17 : Söke RES incelenen değişkenler çıkarılması.

Bütün Değişkenler Çoklu-NTYV Sonuçları		
Rüzgar Şiddeti	Üretim	Jeneratör Sıcaklığı
$y=0,8361x+0,3464$ $R^2 = 0,9641$	$y=0,9108x+0,2251$ $R^2 = 0,991$	$y=0,7958x+7,2491$ $R^2 = 0,8735$
		Reaktif Güç $y=0,955x-1,3379$ $R^2 = 0,995$
Rüzgar Şiddeti Hariç		
Üretim	Jeneratör Sıcaklığı	Reaktif Güç
$y=0,906x+2,301$ $R^2 = 0,987$	$y=0,774x+7,458$ $R^2 = 0,768$	$y=0,967x+2,013$ $R^2 = 0,989$
Üretim Hariç		
Rüzgar Şiddeti	Jeneratör Sıcaklık	Reaktif Güç
$y=0,886x+0,095$ $R^2 = 0,929$	$y=0,837x+4,365$ $R^2 = 0,848$	$y=0,955x-0,557$ $R^2 = 0,998$
Jeneratör Sıcaklığı Hariç		
Rüzgar Şiddeti	Üretim	Reaktif Güç
$y=0,791x+0,469$ $R^2 = 0,978$	$y=0,899x+3,029$ $R^2 = 0,988$	$y=0,768x+4,320$ $R^2 = 0,701$
Reaktif Güç Hariç		
Rüzgar Şiddeti	Jeneratör Sıcaklığı	Üretim
$y=0,835x+0,455$ $R^2 = 0,968$	$y=0,791x+8,778$ $R^2 = 0,883$	$y=0,919x+11,93$ $R^2 = 0,996$

Çizelge 5.18 ile konunun daha açık görülebilmesi için tablo basitleştirilmiştir.

Çizelge 5.18 : Söke RES incelenen değişkenler çıkarılması basit gösterim.

	Rüzgar Şiddeti	Üretim	Jeneratör Sıcaklığı	Reaktif Güç
Rüzgar Şiddeti Hariç	-	↓	↓	↓
Üretim Hariç	↓	-	↓	↑
Jeneratör Sıcaklığı	↑	↓	-	↓
Reaktif Güç	↑	↑	↑	-

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Rüzgar elektrik santrallerinden üretim tahmini günümüzde pratiği de olan önemli bir konu haline gelmiştir. Bilindiği gibi, rüzgar meteorolojik parametreler içinde konum ve zamana göre en yüksek değişkenlik oranına sahip meteorolojik değişkenlerdendir. Yapılan bu tez çalışması, kendi türünün ilk örneği olma özelliğini taşımaktadır. Jeostatistik çalışmalarına bakıldığında genellikle NTYV teknikleri kullanılmıştır. Tezin getirdiği yenilik olarak çoklu-NTYV uygulamasının yapılmasıdır.

Tezde incelenen RES'lere ait değişkenlerin NTYV yöntemi ile incelenen değişkenler arasında ilişki bulunmuştur. Burada yapılmaya çalışılan şey incelenen bütün değişkenlerin kullanılarak alansal bir formülasyon geliştirilmiştir. İncelenen değişken için alan bağımlılık katsayısı ve incelenen değişkenin standartlaştırılmış değeri çarpılarak alan bağımlılık toplamına bölünmüştür. İncelenen rüzgar türbini için toplam alandaki değişkenlerin etkisi hesaplanmış ve Saha Etki Katsayısı (SEK) bulunmuştur. Bu hesaplamalar, çoklu-NTYV tekniği geliştirilerek yapılmıştır. Yani, her bir türbin ve incelenen değişken için alandaki bütün değişkenlerin de hesaba katıldığı bir SEK geliştirilmiştir ve tahmin için test verisine uygulanmıştır.

Yapılan tez çalışmasında İstanbul, Aydın, Balıkesir ve Amasya illerinde işletmede bulunan 4 adet RES'e ait işletme verileri kullanılmıştır. Toplamda 4 yıllık 31 adet rüzgar türbini verisi incelenmiştir. 15 adet 2 MW; 16 adet 2.5 MW kurulu gücündeki rüzgar türbinlerinin, aralarındaki mesafe, rüzgar şiddeti, üretim, sıcaklık, jeneratör sıcaklığı, vibrasyon ve reaktif güç verileri incelenmiştir. Rüzgar şiddetinin karmaşık topoğrafyada mesafe ile değişiminin yüksek olduğu görülmüştür ve bu durum tahminlere de yansımıştır.

Söke RES projesinde çalışılan jeneratör sıcaklığı, beklenenin aksine bütün rüzgar türbinleri için homojen bir yapı göstermiştir. Bunun temel nedeni, santral alanının

düz bir tarım arazisi üzerinde olması ve rüzgar şiddeti değerlerinin birbirlerine çok yakın olması ile açıklanabilir.

Söke RES proje sahasının ovada bulunması nedeni ile yükseklik farklarının olmaması, rüzgar şiddeti değerlerinin türbinler arasında büyük bir değişim göstermemesi, bölge ikliminin daha belirli ve düzenli bir yapıda olması ve verilerin düzenli bir şekilde kayıpsız olarak toplanmış olması gösterilebilir. Ayrıca Söke RES projesinde rüzgar türbinleri düz bir arazi boyunca yayılmış olduğundan dolayı alansal bağımlılık daha yüksek olduğunu hatırlamak lazımdır. Yarıvariogram sürecinin en önemli özelliklerinden birisi Söke RES projesinde karşımıza çıkmaktadır. Bu durum, tahmin doğruluğunu pozitif olarak etkilemekte olup, yüksek doğrulukta alansal tahmin sonuçlarına ulaşılmasına neden olmuştur.

İncelenen her bir rüzgar türbin verisi %70 eğitim ve %30 test verisine ayrılmış olup çoklu-NTYV %70'e ait saha katsayılarından %30 ölçülmüş veri ile proses edilmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bulunan sonuçlar tahmin doğruluğunun ölçülmüş değere %85-%95 arasında yaklaştığını göstermiştir. RES projeleri için bulunan verilen tahmin aralığı iyi bir yaklaşımdır.

Geliştirilen çoklu-NTYV yönteminin kıyaslanabilmesi için çoklu-regresyon yöntemi seçilmiştir ve alınan sonuçlar irdelendiğinde; çoklu-NTYV yönteminin daha başarılı sonuç verdiği gözlenmiştir.

Uzun veri setinin yanında Söke RES ve Amasya RES projeleri rastgele seçilen 1'er aylık süre için hem çoklu-NTYV; hem de çoklu-regresyon analizi yapılmıştır. 1 aylık veri ile yapılan modelleme çalışmasının sonuçları irdelendiğinde; yine geliştirilen çoklu-NTYV yönteminden daha iyi tahmin sonuçları verdiği görülmüştür. Ayrıca, toplam veri ile hesaplanan çoklu-NTYV tahmin sonuçları ile 1 aylık veriden hesaplanan çoklu-NTYV sonuçları kıyaslandığında tüm veriye dayanan çoklu-NTYV tahmin sonuçlarının daha iyi tahmin sonuçları verdiği görülmüştür.

Çalışılan RES projelerinde dikkat çeken diğer bir husus, rüzgar türbini sayısı en fazla olan Söke RES projesinde en yüksek doğruluklu alansal tahmin sonuçlarının alınmış olduğudur. Bunu 10 adet türbinin çalışıldığı Amasya RES projesi izlemektedir. Tahminlerin en düşük olarak bulunduğu Silivri ve Edincik RES projelerinde 4'er

adet rüzgar türbini bulunmaktadır. Yapılan tez çalışmasındaki önemli sonuçlardan birisi de, önerilen çoklu-NTYV yönteminin tahmin doğruluğunun alansal dağılımı veri sayısı ile doğru orantılı olduğunun anlaşılmasıdır.

Türbin konum yüksekliklerinin sonuçlar üzerinde etkisinin bulunduğu gözlemlenmiştir. Söke RES projesinde en başarılı alansal tahmin sonuçları elde edilmiştir. Diğer projelere bakıldığında yükseklik farklılıklarından dolayı alansal tahmin doğruluğunun biraz daha düşük olduğu görülmüştür.

Kullanılan veriler, her bir RES projesinin kendi SCADA sisteminden alınmış olup dışarıdan bir ek veriye gereksinim duyulmamaktadır. Bu amaçla tez çalışması geliştirilerek RES işleten yatırımcı ve şirketler için önemli bir model oluşturulabilir.

Tez çalışmasında incelenen parametreler ve hesaplamalar jeostatistikten mantığından yola çıkarak bütün değişkenlerin mesafelere göre değişiminin hesaplanması yapılmıştır. Mesafe yerine, rüzgar şiddeti, üretim, vibrasyon, sıcaklık gibi değişkenler de alınarak alansal tahminin değişimine de bakılabilir.

Alansal modelleme için bütün değişkenler tek tek çıkarılarak hangi değişkenin alansal modellemeye negatif katkıda bulunduğu anlaşılmaya çalışılmıştır. Amasya RES için yapılan değişkenler çıkarılarak yapılan hesaplamalara bakıldığında vibrasyon değişkeni çıkarıldığında alansal modelleme doğruluğunun arttığı söylenebilir. Yükseklik değişkeni çıkarıldığında ise, diğer bütün değişkenlerin R^2 değeri yani tahmin doğruluğu düşmektedir.

Söke RES değişken çıkarılarak yapılan alansal modelleme senaryo sonuçlarına göre reaktif güç çıkarıldığı durumda en yüksek tahmin doğruluğu elde edilmektedir. Rüzgar şiddeti değişkeni çıkarıldığında ise, her üç değişkenin de tahmin doğruluğu azalmaktadır.



KAYNAKLAR

- Alexiadis, M.C., Dokopoulos, P.S., Sahsamanoglou, H.S. ve Manousaridis, I.M.** (1998). Short term forecasting of wind speed and related electrical power. *Solar Energy* 63, pp. 61-68.
- Aslantaş, P., Akyürek, Z. ve Heuvelink, G.** (2015). Yağışın Zaman ve Mekanda Dağılımının Elde Edilmesi VII. *Ulusal Hidroloji Kongresi*.
- Barnes, S. L.** (1964). A technique for maximizing details in numerical weather map analysis. *J. Appl. Meteor.*, 3, 369.
- Bechrakis, H.G., ve Sparis, P. D.** (1998). Wind speed prediction using artificial neural networks. *Wind Engineering* 22, 287-295.
- Beyer, H.G., Degner, T., Hausmann, J., Hoffmann, M. ve Rujan, P.** (1994). Short term prediction of wind speed and power output of a wind turbine with neural networks, *Proceedings of the EWEC 94 in Thessaloniki*. pp 349-352. Thessaloniki, Greece.
- Beyer, H.G., Heinemann, D., Mellinghoff, H., Mönnich, K. ve Waldl, H. P.** (1999). Forecast of regional power output of wind turbines, *Proceedings of the European Wind Energy Conference*, Nice, France.
- Cadenas, E., Rivera, W., Campos-Amezcu, R. ve Heard, C.** (2016). Wind speed prediction using a univariate ARIMA model and a multivariate NARX model, *Energies*, 9, No. 2, 1-15.
- Caers, J. ve Zhang, T.** (2004). Multiple-point Geostatistics: A Quantitative Vehicle for Integrating Geologic Analogs into Multiple Reservoir Models. *AAPG Mem* 80-383:394.
- Caro, F., Vaccano, A. ve Villacci, D.** (2017). Spatial and Temporal Wind Power Forecasting by Case-Based Reasoning Using Big Data. *Energies*, 10, 252.
- Clark, I.** (1979). *Practical geostatistics*. Applied Science Publishers, London, 129p.
- Cressie, N. A. L.** (1993). *Statistics for Spatial Data*. John Willey and Sons, Inc, New York, 898 pp.
- Cressman, G. P.** (1959). An operational objective analysis system. *Month. Weath. Rev.*, 87, no. 10, 367-374.
- Çelikdemir, S. ve Özdemir, M.** (2014). Rüzgar Türbin Sistemlerinin Karşılaştırılması, *URSI-Türkiye VII Bilimsel Kongresi*, 28-30 Ağustos, Elazığ.
- Davis, J. C.** (1986). *Statistics and Data Analysis in Geology*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 646 pp.

- Davo, F., Alessandrini, S. ve Sperati, S.** (2013). An Application of PCA Based Approach to Large Area Wind Power Forecast. *Proceedings of the EWEA Wind Power Forecasting Technology Workshop*, Rotterdam, 3-4 December.
- Delhomme J. P.** (1978). Kriging in the hydrosiences. *Advances in Water Resources* 1, 251.
- Doğancı, Ö., Ertürk, M., Özsunar, A. ve Arcaklıoğlu, A.** (2016). Orta ve Batı Karadeniz Bölgesi rüzgar enerjisi tahmin çalışması, *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 5 (1), 153-163.
- Durak, M.** (2001). Rüzgar elektrik santralleri için uluslararası kredi-finansman olanakları, *Çevre ve Mühendis*, ÇMO Dergisi, Sayı 21-22, Sf. 46-47.
- Durak, M. ve Özer, S.** (2008). *Rüzgar Enerjisi: Teori ve Uygulama*, Ajans Press Yayınları, Ankara.
- Durak, M. ve Şahin, A.D.** (2017). Alansal Yarıvარიogram Yöntemi İle Kısa Süreli Rüzgar Enerjisi Tahmini, 4. *İzmir Rüzgar Enerjisi Sempozyumu*, 27-30 Eylül, 2017. İzmir.
- Efe, B.** (2012). *Manisa Soma Bölgesi için Meso Ölçek Sayısal Hava Tahmin Modeli (WRF) ve Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (WINDSIM) Kullanılarak Kısa Vadeli Rüzgar Enerjisi Tahmini* (Yüksek Lisans Tezi). İTÜ Meteoroloji Mühendisliği Bölümü.
- Efe, B., Menteş, Ş.S., Ünal, E., Tan, E., Özdemir, T., Barutçu, B., Önel, B. ve Topçu, S.** (2012). 72hr Forecast of Wind Power in Manisa, Turkey by Using the WRF Model Coupled to WindSIM, *International Conference on Renewable Energy Research and Applications*, ICRERA, Nagasaki, Japan.
- Erarslan, K.** (2008). *Maden Değerlendirme Ders Notları*, Dumlupınar Üniversitesi.
- Ernst, B., Oakleaf, B., Ahlstrom, M.L., Lange, M., Moehrlen, C., Lange, B. Focken, U. Rohrig, K.** (2007). Predicting the Wind Models and Methods of Wind Forecasting for Utility Operations Planning. *IEEE Power & Energy*. Vol.5 No.6, 5/6.
- Focken, U., Lange, M., Waldl, H.P.** (2001). Previento: A wind power prediction system with an innovative upscaling algorithm. *Proceedings of the European Wind Energy Conference*, 2-6 June, Copenhagen, Denmark.
- Gambolati, G. and Volpi G.** (1979a). Groundwater contour mapping in Venice by stochastic interpolation. 1, *Water Resour. Res.*, 15, 281-297.
- Gambolati, G. and Volpi G.** (1979b). A conceptual deterministic analysis of the Kriging technique in hydrology. *Water Resour. Res.*, 15, 625-629.
- Gandin, L. S.** (1963). Objective analysis of meteorological fields. Hydromet Press, 242 pp.
- Gandin, L.S.** (1970). *The planning of meteorological station networks*. World Meteorological Organization. Geneva, Technical Note No 111.
- Gernot, V. ve Sebastian, T.** (2013). Model Output Statistics (MOS) in the new German Project EWeLiNE for enhanced wind forecasting for

renewable power generation. *EWEA Wind Power Forecasting Technology Workshop*, Rotterdam, 3-4 December.

- Göçmen, B. T., Giebel, G., Sørensen, P. E., Réthoré, P.E., Mirzaei, M., Poulsen, N. K., ve Kristoffersen, J. R.** (2015). Real-time available power estimation for offshore wind power plants. *Poster session presented at EWEA Offshore 2015 Conference*, Copenhagen, Denmark.
- Guardino F. ve Srivastava, M.** (1993). *Multivariate Geostatitics: Beyond Bivariate Moments*. In: Soares A (ed) *Geostatisticstroia*. Kluwer, Dordrecht, The Netherlands, pp 133-144.
- Gürsel, K.T., Çoban, T. ve Özdamar, A.** (2003). Rüzgar Türbini Pervane Kanadının Titreşim Analizi, *II. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, s.225-236, İzmir
- Hevesi, J., Flint, A. ve Istock J.** (1992). Precipitation Estimation in Mounatins Terrain Using Multi-Variate Geostatistics: Part 1 and Part 2, *Journal of Applied Meteorology*, 31, 661-668.
- Holmgren, E., Siebert, N. Kariniotakis, G.** (2010). A Study of Wind Power Predictability Using Prediction Risk Indices Based on Meteorological Ensembles. *Renewable UK 2010 Annual Conference & Exhibition*, Nov 2010, Glasgow, United Kingdom.
- Hu, L.Y. and Chugunova, T.** (2008). Multiple-point Geostatistics for Modeling Subsurface Heterogenity: A Comprehensive Review. *Water Resour Res* 44, W11413. doi:10.1029/2008WR006993006993.
- Huymans, M. and Dassargues, A.** (2009). Application of Multiple-point Geostatistics on Modelling Groundwater Flow and Transport in a Cross-bedded Aquifer (Belgium). *J. Hydrogeology*. 17: 1901. <https://doi.org/10.1007/s10040-009-0495-2>.
- İnal, C. ve Yiğit, C.Ö.** (2003). Jeodezik Uygulamalarda Kriging Eneterpolasyon Yönteminin Kullanılabilirliği, TUJK 2003 Yılı Bilimsel Toplantısı, *Coğrafik Bilgi Sistemleri ve Jeodezik Ağlar Çalıştay*, 24-26 Eylül.
- İzgi E., Öztopal A., Yerli B., Kaymak M. K. ve Şahin A. D.** (2010). Rüzgar Enerjisinde Kısa Süreli Rüzgar Hızı ve Güç Tahminin Karşılaştırılması, 8. *Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, Aralık 1-5, Bursa, Türkiye.
- İzgi, E., A. Öztopal, B. Yerli, M.K. Kaymak ve A.D. Şahin** (2011). Short-mid-term solar power prediction by using artificial neural Networks, *Solar Energy*, 86 (2), pp:725-733.
- İzgi, E., Öztopal, A., Yerli, B., Kaymak, M.K. and Şahin, A.D.** (2014). "Determination the Representative Time Horizons for Short-Term Wind Power Prediction by Using Artificial Neural Networks" *Energy Sources*, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects. Volume 36, Issue 16, Doi: 10.1080/15567036.2011.561274.
- Kariniotakis, G., Nogaret, E. ve Stavrakis, G.** (1997). Advanced short-term forecasting of wind power production. *Proceedings of the European Wind Energy Conference*, October, Dublin, Ireland.

- Kariniotakis, G., Nogaret, E. ve Dutton, A.G. Halliday, J.A. ve Androutsos, A.** (1999). Evaluation of advanced wind power and load forecasting methods for the optimal management of isolated power systems. *Proceedings of the European Wind Energy Conference*, 1-5 March, Nice, France.
- Kariniotakis, G.** (2009). Wind Power Forecasting for Extreme Situations-The Safewind Project. *European Wind Energy Conference (EWEC)*. Marseille, France
- Kaya, E., Barutçu, B. ve Menteş, Ş. S.** (2013). A Method Based on Van der Hoven Spectrum for Performance Evaluation in Prediction of the Wind Speed, *Turkish Journal of Earth Sciences*, ISSN 1300-0985. E-ISSN 1303-619X, pp. 681-689.
- Kılıç, B. ve Arabacı, E.** (2015). Burdur İli gelecekteki rüzgar hızı değerlerinin yapay sinir ağları ile tahmini, *Dumlupınar Üniversitesi FBE Dergisi*, Özel Sayı, ISSN 1302-3055, 45-50.
- Kırbaş, İ. ve Kerem, A.** (2016). Short-Term Wind Speed Prediction Based on Artificial Neural Network Models. *Meas. Control*, vol. 49, no. 6, Jul. 2016.
- Krige, D.G.** (1951). A statistical approach to some basic mine evaluation problems on the Witwateround. *J. Chimic. Min. Soc. South-Africa*, 52, 119-139.
- Lawan, S.M., Abidin, W.A.W.Z., Chai, W.Y., Baharun, A. ve Masri, T.** (2014). Different Models of Wind Speed Prediction: A Comprehensive Review. *International Journal of Scientific Research*, Volume 5, Issue 1.
- Lenzi, A., Steinsland, I. ve Pinson, P.** (2017). *Benefits of Spatio-Temporal Modelling for Short Term Wind Power Forecasting at Both Individual and Aggregated Levels. Research Study*, Technical University of Denmark.
- Madsen, H.** (1995). *Wind power prediction tool in control dispatch centers*. ELSAM, Skaerbaek, Denmark.
- Madsen, H., Morales G., Juan M., Trombe, P. J., Giebel, G., Ejlsing J. H. ve Pinson, P.** (2014). *Wind resource assessment and wind power forecasting*, DTU International Energy Report.
- Matheron, G.** (1963). Principles of geostatistics. *Econ. Geo.*, 58, pp. 1246-1266.
- Matheron G.** (1965). *Les Variables Regionafisee's et leur Estimation*, Masson, Paris, 306p.
- Matheron G.** (1971). *The theory of regionalized variables and its applications*. Ecole de Mines, Fontainbleau, France.
- Men, Z., Yee, E., Lien, F., Wen, D. ve Chen, Y.** (2016). Short-term wind speed and power forecasting using an ensemble of mixture density neural networks, *Renewable Energy*, 87, 203-211.
- Menteş Ş. S., Ünal, Y. S., İncecik, S., Tan, E., Barutçu, B., Önel, B., Ünal, B., Efe, B., Topçu, S., Rüstemoğlu, S., Özdemir, T., Akcan, D.,**

- Borhan, Y., ve Türkmen, M.** (2010-2013). *Short Term Wind Energy Prediction System*, TUBİTAK, Proje No. 110Y050.
- Menteş S.S., Tan, E., Özdemir, E.T., Ünal, E., Efe, B., Ünal, Y., Öner, E., Anbarcı, K., Önel, B., Borhan Y. ve İncecik, S.** (2012). Short Term Wind Power Forecast in Manisa, Turkey by Using the WRF Model Coupled to A CFD Model, *The European Conference & Workshop on Renewable Energy Systems*, Antalya- Türkiye.
- Mirzaei, M., Göçmen, T., Giebel, G., Sørensen, P. E. ve Poulsen, N. K.** (2014). Estimation of the Possible Power of a Wind Farm. The International Federation of Automatic Control Cape Town, South Africa. August 24-29.
- Moorthy, C.B., Agraval, A. ve Deskmukh M.K.** (2015). Artificial Intelligence Techniques for Wind Power Prediction: A Case Study. *Indian Journal of Science and Technology*, Vol 8 (25).
- Nielsen, T.S. ve Madsen, H.** (1996). *Using meteorological forecasts in on-line predictions of wind power*. Technical report. Department of Mathematical Modelling, Technical University of Denmark.
- Nielsen, T.S., Landberg, L. ve Giebel G.** (2002). Prediction of Regional Wind Power. *Global Wind Power Conference*, 2-5 April, Paris, France.
- Olea R.A.** (1975). Optimum mapping techniques using regionalized variable theory. *Kansas Geological Survey Series. Spat. Anal.*, 2, 137 pp.
- Özgönenel, O., ve Thomas, D.W.P.** (2012). Short Term Wind Power Estimation Based on Weather Data. *Turkish Journal of Elec Eng & Comp Sci*, Vol 20, No.3.
- Özkan, M.B. ve Karagöz, A.** (2015). A Novel Wind Power Forecast Model: Statistical Hybrid Wind Power Forecast Technique. *IEEE Trans. Ind. Infor.* 11, 375-387.
- Öztopal, A.** (1996). *İstanbul İlinin Hava Kirliliği Semivariogram Haritalarının Çıkarılarak Yorumlanması* (Lisans Tezi). İTÜ Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, 72 sayfa.
- Öztopal, A. ve Şen, Z.** (1999). İstanbul Hava Kirliliği Verilerinin Tesir Yarıçapları. *Tr. J. of Engineering and Environmental Science* 23. 71 – 81.
- Öztopal A., Yerli B., Kaymak M. K., İzgi E., Şahin A. D.** (2010). Rüzgar Şiddetinin Bulanık Mantık – Yapay Sinir (Anfis) Yaklaşımıyla Kısa Süreli Tahmini, 8. *Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, Aralık 1-5, Bursa, Türkiye.
- Philip, R. D. and Kitanidis, P.K.** (1989). Geostatistical estimation of hydraulic head gradients. *Ground Water*, 27, 855-865.
- Pucci, A.A. and Murashie, A.E.** (1987). Applications of universal Kriging to an aquifer study in New Jersey. *Ground Water*, 25, 672-678.
- Rosgaard, M. H., Hahmann, A. N., Madsen, H., Giebel, G., Sørensen, P. E., Nielsen, H. A. ve Nielsen, T. S.** (2015). Limited area forecasting for wind energy scheduling. *Poster session presented at UCD Energy Institute and Electricity Research Centre Annual Symposium*, Dublin, Ireland.

- Ronayne, M.J., Gorelick, S. M. ve Caers, J.** (2008). *Identifying Discrete Geologic Structures that Produce Anomalous Hydraulic Response: An Inverse Modeling Approaches to Water Resources*. doi:10.1029/2007WR006635.
- Rüstemoğlu S. ve Menteş, Ş. S.** (2010). Energy Production Calculations with Field Flow Models and Windspeed Predictions with Statistical Methods. *European Geosciences Union General Assembly*, Vienna, Austria, Vol. 12, EGU2010-10902-1.
- Sasaki, Y.** (1960). *An objective analysis for determining initial conditions for the primitive equations*. Tech.Rep. (Ref. 60-161). Texas A/M University.
- Sfetsos, A.** (2001). A novel approach for the forecasting of mean hourly wind speed time series. *Renewable Energy*, 27, pp. 163-174.
- Skittides, C. ve Früh, W.G.** (2014). Wind Forecasting Using Principal Component Analysis, *Renew. Energy*, 69, 365-374.
- Strebel, S.** (2000). *Sequential Simulation Deawing Structures from Training Images* (PhD Thesis). Stanford Universtiy, USA.
- Strebel, S.** (2002). Conditional Simulation of Complex Geological Structures Using Multiple-Point Statistics. *Math Geol.*, 34:1-2.
- Subyani, A. M. and Şen, Z.** (1989). Geostatistical modeling of the Wasia aquifer in Central Saudi Arabia. *J. Hydro.*, 110, 295.
- Svensson, M.** (2015). *Short Term Wind Power Forecasting Using Artificial Neural Networks* (MSc Thesis) Royal Institute of Technology, Sweden.
- Şahin, A.D.** (2001). *Türkiye Rüzgarlarının Alan ve Zaman Modellemesi* (Doktora Tezi). İTÜ.
- Şen Z.** (1989). Cumulative semivariogram model of regionalized variables. *Int. J. Math. Geol.*, 21, 891.
- Şen Z.** (1991). Standard cumulative semivariograms of stationary stochastic processes and regional correlation. *Int. J. Math. Geol.*, 24, 417-435.
- Şen, Z.** (1995). Regional Air Pollution Assessment by Cumulative Semivariogram, *Atmospheric Environment*, Vol. 29. No.4, pp. 543-548.
- Şen, Z.** (1998). An application of a regional air pollution estimation model over Istanbul urban area. *Atmos. Environ.*, 32, pp. 3425-3433.
- Şen, Z. and Habib, Z.** (1998). Point cumulative semivariogram of areal precipitation in mountainous regions. *J. of Hydrology*, 205, pp. 81 -91.
- Şen, Z. and Şahin, A.D.** (1997). Regional Assessment of Wind Power in Western of Turkey by the Cumulative Semivariogram Method, *Renewable Energy*, 12, 2, 169-177.
- Şen, Z. and Şahin, A.D.** (1998). Regional wind energy evaluation in some parts of Turkey. *Journal of Wind Engineering and Indust. Aerody.*, 37, No. 7, pp. 740-741.
- Şen, Z.** (2009). *Spatial Modeling Principles in Earth Sciences*. Springer, London New York, 351 pp.

- Şenol, Ü. ve Musayev, Z.** (2017). Rüzgar enerjisinden elektrik üretiminin yapay sinir ağları ile tahmini. *Bilge International Journal of Science and Technology Research* 1(1), 23-31.
- Tammelin, B.** (2002). Wind power forecasting. *Proceedings of the First IEA Joint Action Symposium on Wind Forecasting Techniques*, December, Norrköping, Sweden.
- Tarawneh, Q. ve Şen, Z.** (2003). Ürdün Yağışlarının Yarıvaryogram Modeli, *İTÜ Dergisi*, Cilt 2, Sayı 1, 80-90.
- Tesfaye, A., Zhang, J.H., Zheng, D.H. ve Shiferaw, D.** (2016). Short Term Wind Power Forecasting Using Artificial Neural Network for Scheduling in Microgrids. *International Journal of Science and Engineering Applications*, Volume 5, Issue 3.
- Tunç, M.** (2013). *İstanbul'da WRF Modeli ile Rüzgar Tahmini Doğrulaması* (Yüksek Lisans Tezi). İTÜ Meteoroloji Mühendisliği Bölümü.
- Türksoy, F.** (1997). *Saatlik ve Aylık Rüzgar Verisiyle Rüzgar Enerjisi Modellemesi* (Doktora Tezi). İTÜ Fen Bil. Enst., İstanbul.
- Ünal, E., Tan E., Menteş, Ş.S., F. Caglar, M. Türkmen , Y. S. Unal, B. Önal and Özdemir, E.T.** (2012). A Comparison of Primitive Model Results of the Short Term Wind Energy Prediction System (SWEPS): WRF vs MM5, *European Geosciences Union General Assembly*, EGU 2012-976, Vienna- Austria.
- Vaccaro, A., Bontempi, G., Taieb, S.B. ve Villacci D.** (2012). Adaptive Local Learning Techniques for Multiple Step Ahead Wind Speed Forecasting, *Electrical Power Systems Res.* 83, 129-135.
- Vihriala, H., Ridanpaa, P., Perala, R. ve Söderlung, L.** (1999). Control of a variable speed wind turbine with feedforward of aerodynamic torque. *Proceedings of the European Wind Energy Conference*, 1-5 March, Nice, France.
- Volpi, G., Campolati G., Carbonin L., Gatto P. and Mazzi G.** (1979). Groundwater contour mapping in Venice by Stochastic interpolation. 2, *Water Resour. Res.*, 15, 291-297.
- Wang, D., Fei, J., Haidong, Q. ve Zhao, Y.** (2015). A Hybrid Model for Wind Speed Prediction based on Spatial Correlation. *International Conference on Modelling, Simulation and Applied Mathematics*.
- Westrick, K.** (2002). Wind energy forecasting in the Pacific Northwestern US. *Proceedings of the First IEA Joint Action Symposium on Wind Forecasting Techniques*, December, Norrköping, Sweden.
- Wu, Q. ve Peng, C.** (2016). Wind Power Generation Using Least Squares Support Vector Machine Combined with Ensemble Empirical Mode Decomposition, Principal Component analysis and a Bat Algorithm. *Energies* 9, 261.
- Yarranton, G. A. (Tony)** (1969). Pattern Anal. by regression, *Ecology* 50, pp 390-395.

- Yünsel, T.Y.** (2007). *Maden Yataklarının Jeostatistiksel Yöntemi İle Analizi ve Modellemesi* (Doktora Tezi). Çukurova Üniversitesi.
- Zhang, J., Cui, M., Hodge, B., Florita, A. ve Friedman, J.** (2017). Ramp Forecasting Performance from Improved Short Term Wind Power Forecasting Over Multiple Spatial and Temporal Scala. *Journal of Energy* (122).
- Zheng, D., Eseyol, A.T., Zhang, J. ve Li, H.** (2017). Short Term Wind Power Forecasting Using a Double Stage Hierarchical ANFIS Approach for Energy Management in Microgrids. *Journal of Protection and Control of Modern Power Systems*, 2:13.



EKLER

EK A: SEÇİLMİŞ BAZI TÜRBİNLERE AİT EĞİTİM VERİSİ NTYV, SAB, TAK VE SEK DEĞERLERİ

EK B: TAM VERİYE AİT RASTGELE SEÇİLEN TÜRBİNLERİN YARI-VARİOGRAM GRAFİKLERİ

EK C: %70 EĞİTİM VERİSİ ÖZET TABLOLAR

EK D: %30 TEST VERİSİNE AİT ÖZET TABLOLAR

EK E: %70 EĞİTİM VERİSİNDEN ELDE EDİLEN TAHMİN KATSAYILARI

EK F: TAHMİNLER

EK G: BAĞIL HATA

EK H: TAHMİN VE GERÇEK ÖLÇÜM GRAFİKLERİ

EK I: TAHMİN VE GERÇEK DEĞERLER SAÇILMA GRAFİKLERİ

EK K: AMASYA RES TOPLAM VERİNİN %70'İNE AİT REGRESYON PARAMETRELERİ

EK L: SÖKE RES TOPLAM VERİNİN %70'İNE AİT REGRESYON PARAMETRELERİ

EK M: AMASYA RES VE SÖKE RES 1 AYLIK VERİNİN ÇOKLU-REGRESYON PARAMETRELERİ

EK N: TAM VERİ VE 1-AYLIK VERİYE GERÇEK (ÖLÇÜLEN) DEĞERLER VE ÇOKLU-NTYV İLE DOĞRUSAL ÇOKLU-REGRESYON TAHMİN SONUÇLARI

EK O: AMASYA RES DEĞİŞKEN ÇIKARILMASI İLE ELDE EDİLEN TAHMİN KATSAYILARI (SEK DEĞERLERİ)

EK P: SÖKE RES DEĞİŞKEN ÇIKARILMASI İLE ELDE EDİLEN TAHMİN KATSAYILARI (SEK DEĞERLERİ)

EK R: AMASYA RES DEĞİŞKEN ÇIKARMA SAÇILMA DİYAGRAMLARI

EK S: SÖKE RES DEĞİŞKEN ÇIKARMA SAÇILMA DİYAGRAMLARI



Çizelge A.1 : Amasya RT1 rüzgar şiddeti ve sıcaklık değişkenlerine ait SEK süreci değerleri.

Türbin No	Mesafe (m)	Rüzgar Şiddeti	RŞ Variogram	Ardışık toplama	Yarı variogram	Standart Mesafe	Standart Yarı variogram	Alan Bağımlılık Katsayısı	Rüzgar Şiddeti Standart Değer
T1	0	6,318	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,792
T2	305	7,352	1,070	1,070	0,535	0,063	0,097	0,903	0,921
T3	526	7,381	1,132	2,202	1,101	0,108	0,199	0,801	0,925
T4	716	7,557	1,535	3,737	1,869	0,147	0,338	0,662	0,947
T9	1948	7,419	1,214	4,951	2,476	0,399	0,448	0,552	0,930
T13	2926	7,979	2,762	7,713	3,857	0,600	0,698	0,302	1,000
T14	3516	7,743	2,031	9,744	4,872	0,721	0,882	0,118	0,970
T16	4878	7,462	1,309	11,053	5,526	1,000	1,000	0,000	0,935
Türbin No	Mesafe (m)	Sıcaklık	Sıcaklık Variogram	Ardışık toplama	Yarı variogram	Standart Mesafe	Standart Yarı variogram	Alan Bağımlılık Katsayısı	Sıcaklık Standart Değer
T1	0	9,612	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,944
T2	305	9,452	0,026	0,026	0,013	0,063	0,036	0,964	0,928
T3	526	9,129	0,234	0,259	0,130	0,108	0,364	0,636	0,896
T4	716	9,722	0,012	0,271	0,136	0,147	0,381	0,619	0,954
T9	1948	9,583	0,001	0,272	0,136	0,399	0,382	0,618	0,941
T13	2926	9,279	0,111	0,383	0,192	0,600	0,538	0,462	0,911
T14	3516	9,612	0,000	0,383	0,192	0,721	0,538	0,462	0,944
T16	4878	10,186	0,329	0,712	0,356	1,000	1,000	0,000	1,000

Çizelge A.2 : Amasya RT1 üretim ve vibrasyon değişkenlerine ait SEK süreci değerleri.

Türbin No	Mesafe (m)	Üretim	Üretim Variogram	Ardışık toplama	Yarı variogram	Standart Mesafe	Standart Yarı variogram	Alan Bağımlılık Katsayısı	Üretim Standart Değer
T1	0	144,851	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,857
T2	305	151,005	37,872	37,872	18,936	0,063	0,025	0,975	0,894
T3	526	148,997	17,192	55,065	27,532	0,108	0,036	0,964	0,882
T4	716	149,737	23,879	78,943	39,472	0,147	0,052	0,948	0,886
T9	1948	158,940	198,505	277,448	138,724	0,399	0,182	0,818	0,941
T13	2926	168,992	582,795	860,244	430,122	0,600	0,565	0,435	1,000
T14	3516	164,133	371,797	1232,040	616,020	0,721	0,810	0,190	0,971
T16	4878	161,866	289,514	1521,554	760,777	1,000	1,000	0,000	0,958
Türbin No	Mesafe (m)	Vibrasyon	Vibrasyon Variogram	Ardışık toplama	Yarı variogram	Standart Mesafe	Standart Yarı variogram	Alan Bağımlılık Katsayısı	Vibrasyon Standart Değer
T1	0	6,111	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00	1,00	0,533
T2	305	10,806	22,039	22,039	11,019	0,06	0,18	0,82	0,942
T3	526	10,121	16,080	38,119	19,060	0,11	0,32	0,68	0,882
T4	716	11,475	28,767	66,886	33,443	0,15	0,56	0,44	1,000
T9	1948	10,492	19,193	86,079	43,039	0,40	0,72	0,28	0,914
T13	2926	9,147	9,213	95,291	47,646	0,60	0,79	0,21	0,797
T14	3516	9,846	13,946	109,237	54,619	0,72	0,91	0,09	0,858
T16	4878	9,418	10,934	120,171	60,086	1,00	1,00	0,00	0,821

Çizelge A.3 : Amasya RT2 rüzgar şiddeti ve sıcaklık değişkenlerine ait SEK süreci değerleri.

Türbin No	Mesafe (m)	Rüzgar Şiddeti	RŞ Variogram	Ardışık toplama	Yarı variogram	Standart Mesafe	Standart Yarı variogram	Alan Bağımlılık Katsayısı	RŞ Standart Değer
T2	0	7,352	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,921
T3	222	7,381	0,001	0,001	0,000	0,048	0,001	0,999	0,925
T1	305	6,318	1,070	1,071	0,536	0,066	0,639	0,361	0,792
T4	415	7,557	0,042	1,113	0,556	0,090	0,664	0,336	0,947
T9	1715	7,419	0,005	1,117	0,559	0,372	0,667	0,333	0,930
T13	2652	7,979	0,394	1,511	0,756	0,576	0,902	0,098	1,000
T14	3253	7,743	0,152	1,664	0,832	0,706	0,993	0,007	0,970
T16	4607	7,462	0,012	1,676	0,838	1,000	1,000	0,000	0,935
Türbin No	Mesafe (m)	Sıcaklık	Sıcaklık Variogram	Ardışık toplama	Yarı variogram	Standart Mesafe	Standart Yarı variogram	Alan Bağımlılık Katsayısı	Sıcaklık Standart Değer
T2	0	9,452	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,928
T3	222	9,129	0,105	0,105	0,052	0,048	0,129	0,871	0,896
T1	305	9,612	0,026	0,130	0,065	0,066	0,160	0,840	0,944
T4	415	9,722	0,072	0,203	0,101	0,090	0,249	0,751	0,954
T9	1715	9,583	0,017	0,220	0,110	0,372	0,270	0,730	0,941
T13	2652	9,279	0,030	0,250	0,125	0,576	0,307	0,693	0,911
T14	3253	9,612	0,025	0,275	0,138	0,706	0,339	0,661	0,944
T16	4607	10,186	0,538	0,813	0,406	1,000	1,000	0,000	1,000

Çizelge A.4 : Amasya RT2 üretim ve vibrasyon değişkenlerine ait SEK süreci değerleri.

Türbin No	Mesafe (m)	Üretim	Üretim Variogram	Ardışık toplama	Yarı variogram	Standart Mesafe	Standart Yarı variogram	Alan Bağımlılık Katsayısı	Üretim Standart Değer
T2	0	151,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,894
T3	222	148,997	4,031	4,031	2,015	0,048	0,006	0,994	0,882
T1	305	144,851	37,872	41,903	20,951	0,066	0,058	0,942	0,857
T4	415	149,737	1,606	43,509	21,755	0,090	0,060	0,940	0,886
T9	1715	158,940	62,967	106,476	53,238	0,372	0,148	0,852	0,941
T13	2652	168,992	323,536	430,012	215,006	0,576	0,597	0,403	1,000
T14	3253	164,133	172,344	602,357	301,178	0,706	0,836	0,164	0,971
T16	4607	161,866	117,963	720,320	360,160	1,000	1,000	0,000	0,958
Türbin No	Mesafe (m)	Vibrasyon	Vibrasyon Variogram	Ardışık toplama	Yarı variogram	Standart Mesafe	Standart Yarı variogram	Alan Bağımlılık Katsayısı	Vibrasyon Standart Değer
T2	0	10,806	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,942
T3	222	10,121	0,469	0,469	0,234	0,048	0,016	0,984	0,882
T1	305	6,111	22,039	22,507	11,254	0,066	0,785	0,215	0,533
T4	415	11,475	0,447	22,955	11,477	0,090	0,801	0,199	1,000
T9	1715	10,492	0,098	23,053	11,527	0,372	0,805	0,195	0,914
T13	2652	9,147	2,753	25,807	12,903	0,576	0,901	0,099	0,797
T14	3253	9,846	0,922	26,728	13,364	0,706	0,933	0,067	0,858
T16	4607	9,418	1,926	28,655	14,327	1,000	1,000	0,000	0,821

Çizelge A.5 : Söke RT5 rüzgar şiddeti değişkenine ait SEK süreci değerleri.

Türbin No	Mesafe (m)	Rüzgar Şiddeti	RŞ Variogram	Ardışık toplama	Yarı variogram	Standart Mesafe	Standart Yarı variogram	Alan Bağımlılık Katsayısı	RŞ Standart Değer
T5	0	6,0200	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,953
T7	507	6,3200	0,090	0,090	0,045	0,228	0,117	0,883	1,000
T3	528	6,0600	0,002	0,092	0,046	0,238	0,119	0,881	0,959
T8	558	5,8400	0,032	0,124	0,062	0,251	0,161	0,839	0,924
T6	658	5,8400	0,032	0,156	0,078	0,297	0,203	0,797	0,924
T4	842	5,8600	0,026	0,182	0,091	0,379	0,236	0,764	0,927
T9	976	5,7800	0,058	0,240	0,120	0,440	0,311	0,689	0,915
T1	1060	6,0800	0,004	0,243	0,122	0,478	0,315	0,685	0,962
T10	1069	5,9400	0,006	0,250	0,125	0,482	0,324	0,676	0,940
T2	1316	5,8100	0,044	0,294	0,147	0,593	0,381	0,619	0,919
T12	1404	5,6400	0,144	0,438	0,219	0,633	0,568	0,432	0,892
T11	1491	6,0000	0,000	0,438	0,219	0,672	0,568	0,432	0,949
T13	1807	5,5700	0,202	0,641	0,320	0,814	0,831	0,169	0,881
T14	1904	5,7500	0,073	0,714	0,357	0,858	0,925	0,075	0,910
T15	2219	5,7800	0,058	0,771	0,386	1,000	1,000	0,000	0,915

Çizelge A.6 : Söke RT5 üretim değişkenine ait SEK süreci değerleri.

Türbin No	Mesafe (m)	Üretim	Üretim Variogram	Ardışık toplama	Yarı variogram	Standart Mesafe	Standart Yarı variogram	Alan Bağımlılık Katsayısı	Üretim Standart Değer
T5	0	624,750	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,963
T7	507	648,860	581,292	581,292	290,646	0,228	0,009	0,991	1,000
T3	528	620,330	19,536	600,829	300,414	0,238	0,009	0,991	0,956
T8	558	546,140	6179,532	6780,361	3390,180	0,251	0,100	0,900	0,842
T6	658	555,600	4781,723	11562,083	5781,042	0,297	0,170	0,830	0,856
T4	842	577,300	2251,503	13813,586	6906,793	0,379	0,203	0,797	0,890
T9	976	549,320	5689,685	19503,271	9751,635	0,440	0,287	0,713	0,847
T1	1060	633,880	83,357	19586,627	9793,314	0,478	0,288	0,712	0,977
T10	1069	581,090	1906,196	21492,823	10746,412	0,482	0,316	0,684	0,896
T2	1316	551,360	5386,092	26878,915	13439,458	0,593	0,395	0,605	0,850
T12	1404	517,350	11534,760	38413,675	19206,838	0,633	0,565	0,435	0,797
T11	1491	578,540	2135,364	40549,039	20274,520	0,672	0,596	0,404	0,892
T13	1807	516,540	11709,404	52258,443	26129,222	0,814	0,769	0,231	0,796
T14	1904	542,360	6788,112	59046,555	29523,278	0,858	0,869	0,131	0,836
T15	2219	530,230	8934,030	67980,586	33990,293	1,000	1,000	0,000	0,817

Çizelge A.7 : Söke RT5 jeneratör sıcaklığı değişkenine ait SEK süreci değerleri.

Türbin No	Mesafe (m)	Üretim	Jen. Sıc. Variogram	Ardışık toplama	Yarı variogram	Standart Mesafe	Standart Yarı variogram	Alan Bağımlılık Katsayısı	Jen. Sıc. Standart Değer
T5	0	76,170	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,962
T7	507	79,200	9,181	9,181	4,590	0,228	0,232	0,768	1,000
T3	528	76,460	0,084	9,265	4,633	0,238	0,234	0,766	0,965
T8	558	74,770	1,960	11,225	5,613	0,251	0,284	0,716	0,944
T6	658	74,610	2,434	13,659	6,829	0,297	0,345	0,655	0,942
T4	842	74,460	2,924	16,583	8,291	0,379	0,419	0,581	0,940
T9	976	75,530	0,410	16,992	8,496	0,440	0,430	0,570	0,954
T1	1060	75,840	0,109	17,101	8,551	0,478	0,433	0,567	0,958
T10	1069	77,830	2,756	19,857	9,928	0,482	0,502	0,498	0,983
T2	1316	73,320	8,123	27,979	13,990	0,593	0,708	0,292	0,926
T12	1404	75,210	0,922	28,901	14,450	0,633	0,731	0,269	0,950
T11	1491	76,390	0,048	28,949	14,475	0,672	0,732	0,268	0,965
T13	1807	74,500	2,789	31,738	15,869	0,814	0,803	0,197	0,941
T14	1904	74,710	2,132	33,870	16,935	0,858	0,857	0,143	0,943
T15	2219	73,790	5,664	39,534	19,767	1,000	1,000	0,000	0,932

Çizelge A.8 : Söke RT5 reaktif güç değişkenine ait SEK süreci değerleri.

Türbin No	Mesafe (m)	Üretim	Reaktif Güç Variogram	Ardışık toplama	Yarı variogram	Standart Mesafe	Standart Yarı variogram	Alan Bağımlılık Katsayısı	Reaktif Güç Standart Değer
T5	0	35,140	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,892
T7	507	37,700	6,554	6,554	3,277	0,228	0,039	0,961	0,957
T3	528	28,770	40,577	47,131	23,565	0,238	0,279	0,721	0,730
T8	558	38,500	11,290	58,420	29,210	0,251	0,346	0,654	0,977
T6	658	38,740	12,960	71,380	35,690	0,297	0,422	0,578	0,983
T4	842	37,460	5,382	76,763	38,381	0,379	0,454	0,546	0,951
T9	976	35,090	0,002	76,765	38,383	0,440	0,454	0,546	0,890
T1	1060	29,460	32,262	109,027	54,514	0,478	0,645	0,355	0,748
T10	1069	39,410	18,233	127,260	63,630	0,482	0,753	0,247	1,000
T2	1316	33,780	1,850	129,110	64,555	0,593	0,764	0,236	0,857
T12	1404	33,390	3,063	132,172	66,086	0,633	0,782	0,218	0,847
T11	1491	35,810	0,449	132,621	66,311	0,672	0,785	0,215	0,909
T13	1807	29,720	29,376	161,998	80,999	0,814	0,958	0,042	0,754
T14	1904	34,260	0,774	162,772	81,386	0,858	0,963	0,037	0,869
T15	2219	32,640	6,250	169,022	84,511	1,000	1,000	0,000	0,828

Çizelge A.9 : Söke RT6 rüzgar şiddeti değişkenine ait SEK süreci değerleri.

Türbin No	Mesafe (m)	Rüzgar Şiddeti	RŞ Variogram	Ardışık toplama	Yarı variogram	Standart Mesafe	Standart Yarı variogram	Alan Bağımlılık Katsayısı	RŞ Standart Değer
T6	0	5,840	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,924
T4	415	5,860	0,000	0,000	0,000	0,176	0,001	0,999	0,927
T8	567	5,840	0,000	0,000	0,000	0,241	0,001	0,999	0,924
T3	601	6,060	0,048	0,049	0,024	0,255	0,091	0,909	0,959
T5	658	6,020	0,032	0,081	0,041	0,279	0,152	0,848	0,953
T2	864	5,810	0,001	0,082	0,041	0,367	0,154	0,846	0,919
T7	917	6,320	0,230	0,313	0,156	0,389	0,585	0,415	1,000
T1	946	6,080	0,058	0,370	0,185	0,402	0,693	0,307	0,962
T9	990	5,780	0,004	0,374	0,187	0,420	0,700	0,300	0,915
T10	1325	5,940	0,010	0,384	0,192	0,563	0,719	0,281	0,940
T12	1485	5,640	0,040	0,424	0,212	0,631	0,794	0,206	0,892
T11	1712	6,000	0,026	0,449	0,225	0,727	0,842	0,158	0,949
T13	1812	5,570	0,073	0,522	0,261	0,769	0,978	0,022	0,881
T14	2032	5,750	0,008	0,530	0,265	0,863	0,993	0,007	0,910
T15	2355	5,780	0,004	0,534	0,267	1,000	1,000	0,000	0,915

Çizelge A.10 : Söke RT6 üretim değişkenine ait SEK süreci değerleri.

Türbin No	Mesafe (m)	Üretim	Üretim Variogram	Ardışık toplama	Yarı variogram	Standart Mesafe	Standart Yarı variogram	Alan Bağımlılık Katsayısı	Üretim Standart Değer
T6	0	555,600	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,856
T4	415	577,300	470,890	470,890	235,445	0,176	0,016	0,984	0,890
T8	567	546,140	89,492	560,382	280,191	0,241	0,019	0,981	0,842
T3	601	620,330	4189,973	4750,355	2375,177	0,255	0,162	0,838	0,956
T5	658	624,750	4781,723	9532,077	4766,039	0,279	0,324	0,676	0,963
T2	864	551,360	17,978	9550,055	4775,027	0,367	0,325	0,675	0,850
T7	917	648,860	8697,428	18247,482	9123,741	0,389	0,621	0,379	1,000
T1	946	633,880	6127,758	24375,241	12187,620	0,402	0,829	0,171	0,977
T9	990	549,320	39,438	24414,679	12207,340	0,420	0,830	0,170	0,847
T10	1325	581,090	649,740	25064,419	12532,210	0,563	0,853	0,147	0,896
T12	1485	517,350	1463,063	26527,482	13263,741	0,631	0,902	0,098	0,797
T11	1712	578,540	526,244	27053,725	13526,863	0,727	0,920	0,080	0,892
T13	1812	516,540	1525,684	28579,409	14289,704	0,769	0,972	0,028	0,796
T14	2032	542,360	175,298	28754,706	14377,353	0,863	0,978	0,022	0,836
T15	2355	530,230	643,637	29398,343	14699,172	1,000	1,000	0,000	0,817

Çizelge A.11 : Söke RT6 jeneratör sıcaklığı değişkenine ait SEK süreci değerleri.

Türbin No	Mesafe (m)	Üretim	Jen. Sıc. Variogram	Ardışık toplama	Yarı variogram	Standart Mesafe	Standart Yarı variogram	Alan Bağımlılık Katsayısı	Jen. Sıc. Standart Değer
T5	0	76,170	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,962
T7	507	79,200	9,181	9,181	4,590	0,228	0,232	0,768	1,000
T3	528	76,460	0,084	9,265	4,633	0,238	0,234	0,766	0,965
T8	558	74,770	1,960	11,225	5,613	0,251	0,284	0,716	0,944
T6	658	74,610	2,434	13,659	6,829	0,297	0,345	0,655	0,942
T4	842	74,460	2,924	16,583	8,291	0,379	0,419	0,581	0,940
T9	976	75,530	0,410	16,992	8,496	0,440	0,430	0,570	0,954
T1	1060	75,840	0,109	17,101	8,551	0,478	0,433	0,567	0,958
T10	1069	77,830	2,756	19,857	9,928	0,482	0,502	0,498	0,983
T2	1316	73,320	8,123	27,979	13,990	0,593	0,708	0,292	0,926
T12	1404	75,210	0,922	28,901	14,450	0,633	0,731	0,269	0,950
T11	1491	76,390	0,048	28,949	14,475	0,672	0,732	0,268	0,965
T13	1807	74,500	2,789	31,738	15,869	0,814	0,803	0,197	0,941
T14	1904	74,710	2,132	33,870	16,935	0,858	0,857	0,143	0,943
T15	2219	73,790	5,664	39,534	19,767	1,000	1,000	0,000	0,932

Çizelge A.12 : Söke RT6 reaktif güç değişkenine ait SEK süreci değerleri.

Türbin No	Mesafe (m)	Üretim	Reaktif Güç Variogram	Ardışık toplama	Yarı variogram	Standart Mesafe	Standart Yarı variogram	Alan Bağımlılık Katsayısı	Reaktif Güç Standart Değer
T6	0	38,740	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,983
T4	415	37,460	1,638	1,638	0,819	0,176	0,004	0,996	0,951
T8	567	38,500	0,058	1,696	0,848	0,241	0,004	0,996	0,977
T3	601	28,770	99,401	101,097	50,548	0,255	0,243	0,757	0,730
T5	658	35,140	12,960	114,057	57,028	0,279	0,275	0,725	0,892
T2	864	33,780	24,602	138,659	69,329	0,367	0,334	0,666	0,857
T7	917	37,700	1,082	139,740	69,870	0,389	0,336	0,664	0,957
T1	946	29,460	86,118	225,859	112,929	0,402	0,544	0,456	0,748
T9	990	35,090	13,323	239,181	119,591	0,420	0,576	0,424	0,890
T10	1325	39,410	0,449	239,630	119,815	0,563	0,577	0,423	1,000
T12	1485	33,390	28,623	268,252	134,126	0,631	0,646	0,354	0,847
T11	1712	35,810	8,585	276,837	138,419	0,727	0,666	0,334	0,909
T13	1812	29,720	81,360	358,198	179,099	0,769	0,862	0,138	0,754
T14	2032	34,260	20,070	378,268	189,134	0,863	0,910	0,090	0,869
T15	2355	32,640	37,210	415,478	207,739	1,000	1,000	0,000	0,828

Çizelge A.13 : Edincik RT6 rüzgar şiddeti, sıcaklık ve üretim değişkenlerine ait SEK süreci değerleri.

Türbin No	Mesafe (m)	Rüzgar Şiddeti	RŞ Variogram	Ardışık toplama	Yarı variogram	Standart Mesafe	Standart Yarı variogram	Alan Bağımlılık Katsayısı	RŞ Standart Değer
T6	0	6,959	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,880
T7	554	7,376	0,173	0,173	0,087	0,330	0,153	0,847	0,933
T8	1187	7,905	0,894	1,068	0,534	0,708	0,943	0,057	1,000
T9	1677	7,214	0,065	1,132	0,566	1,000	1,000	0,000	0,913
Türbin No	Mesafe (m)	Sıcaklık	Sıcaklık Variogram	Ardışık toplama	Yarı variogram	Standart Mesafe	Standart Yarı variogram	Alan Bağımlılık Katsayısı	Sıcaklık Standart Değer
T6	0	16,183	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000
T7	554	15,688	0,245	0,245	0,123	0,330	0,144	0,856	0,969
T8	1187	15,401	0,611	0,856	0,428	0,708	0,503	0,497	0,952
T9	1677	15,262	0,847	1,703	0,851	1,000	1,000	0,000	0,943
Türbin No	Mesafe (m)	Üretim	Üretim Variogram	Ardışık toplama	Yarı variogram	Standart Mesafe	Standart Yarı variogram	Alan Bağımlılık Katsayısı	Üretim Standart Değer
T6	0	152,305	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,846
T7	554	148,576	13,905	13,905	6,953	0,330	0,013	0,987	0,825
T8	1187	180,122	773,774	787,679	393,840	0,708	0,730	0,270	1,000
T9	1677	169,371	291,256	1078,936	539,468	1,000	1,000	0,000	0,940

Çizelge A.14 : Edincik RT7 rüzgar şiddeti, sıcaklık ve üretim değişkenlerine ait SEK süreci değerleri.

Türbin No	Mesafe (m)	Rüzgar Şiddeti	RŞ Variogram	Ardışık toplama	Yarı variogram	Standart Mesafe	Standart Yarı variogram	Alan Bağımlılık Katsayısı	RŞ Standart Değer
T7	0	7,376	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000
T6	554	6,959	0,173	0,173	0,087	0,426	0,362	0,426	0,638
T8	622	7,905	0,280	0,453	0,227	0,479	0,945	0,479	0,055
T9	1299	7,214	0,026	0,480	0,240	1,000	1,000	1,000	0,000
Türbin No	Mesafe (m)	Sıcaklık	Sıcaklık Variogram	Ardışık toplama	Yarı variogram	Standart Mesafe	Standart Yarı variogram	Alan Bağımlılık Katsayısı	Sıcaklık Standart Değer
T7	0	15,688	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,969
T6	554	16,183	0,245	0,245	0,123	0,426	0,482	0,518	1,000
T8	622	15,401	0,082	0,327	0,164	0,479	0,644	0,356	0,952
T9	1299	15,262	0,181	0,508	0,254	1,000	1,000	0,000	0,943
Türbin No	Mesafe (m)	Üretim	Üretim Variogram	Ardışık toplama	Yarı variogram	Standart Mesafe	Standart Yarı variogram	Alan Bağımlılık Katsayısı	Üretim Standart Değer
T7	0	148,576	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,825
T6	554	152,305	13,905	13,905	6,953	0,426	0,010	0,990	0,846
T8	622	180,122	995,137	1009,042	504,521	0,479	0,700	0,300	1,000
T9	1299	169,371	432,442	1441,484	720,742	1,000	1,000	0,000	0,940

Çizelge A.15 : Edincik RT8 rüzgar şiddeti, sıcaklık ve üretim değişkenlerine ait SEK süreci değerleri.

Türbin No	Mesafe (m)	Rüzgar Şiddeti	RŞ Variogram	Ardışık toplama	Yarı variogram	Standart Mesafe	Standart Yarı variogram	Alan Bağımlılık Katsayısı	RŞ Standart Değer
T8	0	7,905	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000
T9	507	7,214	0,477	0,477	0,239	0,427	0,289	0,711	0,913
T7	622	7,376	0,280	0,757	0,379	0,524	0,459	0,541	0,933
T6	1187	6,959	0,894	1,651	0,826	1,000	1,000	0,000	0,880
Türbin No	Mesafe (m)	Sıcaklık	Sıcaklık Variogram	Ardışık toplama	Yarı variogram	Standart Mesafe	Standart Yarı variogram	Alan Bağımlılık Katsayısı	Sıcaklık Standart Değer
T8	0	15,401	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,952
T9	507	15,262	0,019	0,019	0,010	0,427	0,027	0,973	0,943
T7	622	15,688	0,082	0,101	0,051	0,524	0,142	0,858	0,969
T6	1187	16,183	0,611	0,712	0,356	1,000	1,000	0,000	1,000
Türbin No	Mesafe (m)	Üretim	Üretim Variogram	Ardışık toplama	Yarı variogram	Standart Mesafe	Standart Yarı variogram	Alan Bağımlılık Katsayısı	Üretim Standart Değer
T8	0	180,122	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000
T9	507	169,371	115,575	115,575	57,787	0,427	0,061	0,939	0,940
T7	622	148,576	995,137	1110,711	555,356	0,524	0,589	0,411	0,825
T6	1187	152,305	773,774	1884,485	942,243	1,000	1,000	0,000	0,846

Çizelge A.16 : Edincik RT9 rüzgar şiddeti, sıcaklık ve üretim değişkenlerine ait SEK süreci değerleri.

Türbin No	Mesafe (m)	Rüzgar Şiddeti	RŞ Variogram	Ardışık toplama	Yarı variogram	Standart Mesafe	Standart Yarı variogram	Alan Bağımlılık Katsayısı	RŞ Standart Değer
T9	0	7,214	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,913
T8	507	7,905	0,477	0,477	0,239	0,302	0,840	0,160	1,000
T7	1299	7,376	0,026	0,503	0,252	0,775	0,886	0,114	0,933
T6	1677	6,959	0,065	0,568	0,284	1,000	1,000	0,000	0,880
Türbin No	Mesafe (m)	Sıcaklık	Sıcaklık Variogram	Ardışık toplama	Yarı variogram	Standart Mesafe	Standart Yarı variogram	Alan Bağımlılık Katsayısı	Sıcaklık Standart Değer
T9	0	15,262	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,943
T8	507	15,401	0,019	0,019	0,010	0,302	0,018	0,982	0,952
T7	1299	15,688	0,181	0,200	0,100	0,775	0,191	0,809	0,969
T6	1677	16,183	0,847	1,047	0,523	1,000	1,000	0,000	1,000
Türbin No	Mesafe (m)	Üretim	Üretim Variogram	Ardışık toplama	Yarı variogram	Standart Mesafe	Standart Yarı variogram	Alan Bağımlılık Katsayısı	Üretim Standart Değer
T9	0	169,371	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,940
T8	507	180,122	115,575	839,273	419,636	0,302	1,000	0,000	1,000
T7	1299	148,576	432,442	723,698	361,849	0,775	0,862	0,138	0,825
T6	1677	152,305	291,256	291,256	145,628	1,000	0,347	0,653	0,846

Çizelge A.17 : Silivri RT1 rüzgar şiddeti, sıcaklık ve üretim değişkenlerine ait SEK süreci değerleri.

Türbin No	Mesafe (m)	Rüzgar Şiddeti	RŞ Variogram	Ardışık toplama	Yarı variogram	Standart Mesafe	Standart Yarı variogram	Alan Bağımlılık Katsayısı	RŞ Standart Değer
T1	0	7,746	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,000	0,992
T2	317	7,804	0,0034	0,0034	0,0017	0,2017	0,4626	0,537	0,999
T3	618	7,808	0,0038	0,0072	0,0036	0,3931	0,9912	0,009	1,000
T4	1572	7,754	0,0001	0,0073	0,0036	1,0000	1,0000	0,000	0,993
Türbin No	Mesafe (m)	Sıcaklık	Sıcaklık Variogram	Ardışık toplama	Yarı variogram	Standart Mesafe	Standart Yarı variogram	Alan Bağımlılık Katsayısı	Sıcaklık Standart Değer
T1	0	15,149	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,985
T2	317	15,058	0,008	0,008	0,004	0,202	0,100	0,900	0,979
T3	618	15,381	0,054	0,062	0,031	0,393	0,750	0,250	1,000
T4	1572	15,293	0,021	0,083	0,041	1,000	1,000	0,000	0,994
Türbin No	Mesafe (m)	Üretim	Üretim Variogram	Ardışık toplama	Yarı variogram	Standart Mesafe	Standart Yarı variogram	Alan Bağımlılık Katsayısı	Üretim Standart Değer
T1	0	178,798	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,975
T2	317	177,805	0,986	0,986	0,493	0,202	0,031	0,969	0,969
T3	618	183,415	21,317	22,303	11,151	0,393	0,706	0,294	1,000
T4	1572	181,842	9,266	31,569	15,784	1,000	1,000	0,000	0,991

Çizelge A.18 : Silivri RT2 rüzgar şiddeti, sıcaklık ve üretim değişkenlerine ait SEK süreci değerleri.

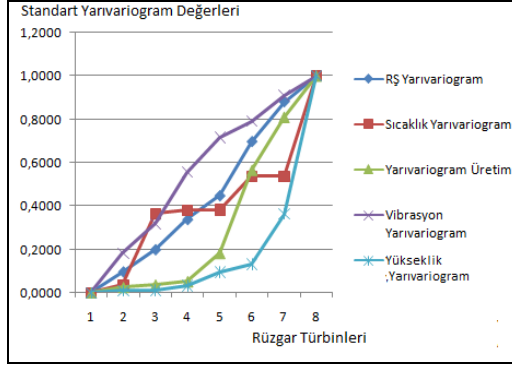
Türbin No	Mesafe (m)	Rüzgar Şiddeti	RŞ Variogram	Ardışık toplama	Yarı variogram	Standart Mesafe	Standart Yarı variogram	Alan Bağımlılık Katsayısı	RŞ Standart Değer
T2	0	7,804	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,999
T3	305	7,808	0,000	0,000	0,000	0,242	0,003	0,997	1,000
T1	317	7,746	0,003	0,003	0,002	0,252	0,575	0,425	0,992
T4	1260	7,754	0,003	0,006	0,003	1,000	1,000	0,000	0,993
Türbin No	Mesafe (m)	Sıcaklık	Sıcaklık Variogram	Ardışık toplama	Yarı variogram	Standart Mesafe	Standart Yarı variogram	Alan Bağımlılık Katsayısı	Sıcaklık Standart Değer
T2	0	15,058	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,979
T3	305	15,381	0,104	0,104	0,052	0,242	0,622	0,378	1,000
T1	317	15,149	0,008	0,113	0,056	0,252	0,671	0,329	0,985
T4	1260	15,293	0,055	0,168	0,084	1,000	1,000	0,000	0,994
Türbin No	Mesafe (m)	Üretim	Üretim Variogram	Ardışık toplama	Yarı variogram	Standart Mesafe	Standart Yarı variogram	Alan Bağımlılık Katsayısı	Üretim Standart Değer
T2	0	177,805	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,969
T1	317	178,798	0,986	0,986	0,493	0,252	0,020	0,980	0,975
T3	305	183,415	31,472	32,458	16,229	0,242	0,666	0,334	1,000
T4	1260	181,842	16,297	48,756	24,378	1,000	1,000	0,000	0,991

Çizelge A.19 : Silivri RT3 rüzgar şiddeti, sıcaklık ve üretim değişkenlerine ait SEK süreci değerleri.

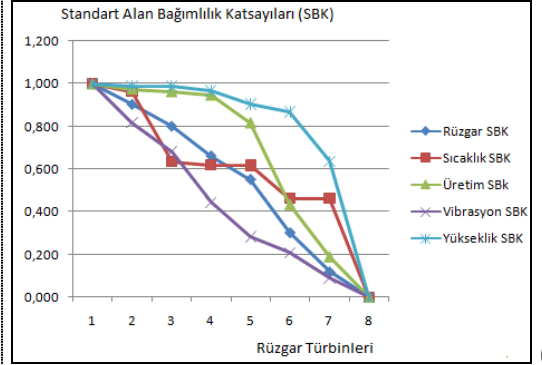
Türbin No	Mesafe (m)	Rüzgar Şiddeti	RŞ Variogram	Ardışık toplama	Yarı variogram	Standart Mesafe	Standart Yarı variogram	Alan Bağımlılık Katsayısı	RŞ Standart Değer
T3	0	7,808	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000
T2	305	7,808	0,000	0,000	0,000	0,318	0,000	1,000	1,000
T1	615	7,746	0,004	0,004	0,002	0,642	0,569	0,431	0,992
T4	958	7,754	0,003	0,007	0,003	1,000	1,000	0,000	0,993
Türbin No	Mesafe (m)	Sıcaklık	Sıcaklık Variogram	Ardışık toplama	Yarı variogram	Standart Mesafe	Standart Yarı variogram	Alan Bağımlılık Katsayısı	Sıcaklık Standart Değer
T3	0	15,381	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000
T2	305	15,381	0,000	0,054	0,027	0,318	0,874	0,126	1,000
T1	615	15,149	0,054	0,054	0,027	0,642	0,874	0,126	0,985
T4	958	15,293	0,008	0,062	0,031	1,000	1,000	0,000	0,994
Türbin No	Mesafe (m)	Üretim	Üretim Variogram	Ardışık toplama	Yarı variogram	Standart Mesafe	Standart Yarı variogram	Alan Bağımlılık Katsayısı	Üretim Standart Değer
T3	0	183,415	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000
T2	305	177,805	31,472	52,789	26,394	0,318	0,955	0,045	0,969
T1	615	178,798	21,317	21,317	10,658	0,642	0,386	0,614	0,975
T4	958	181,842	2,474	55,263	27,632	1,000	1,000	0,000	0,991



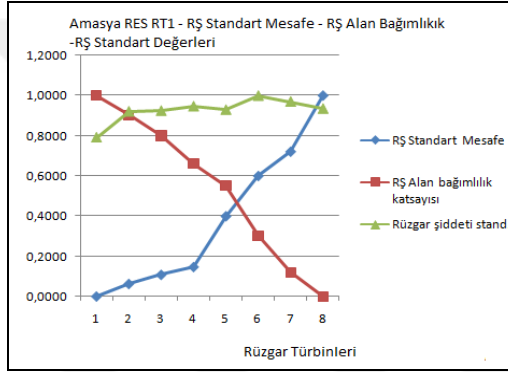
EK B.1 (AMASYA 1 NOLU RÜZGAR TÜRBİNİNE AİT GRAFİKLER)



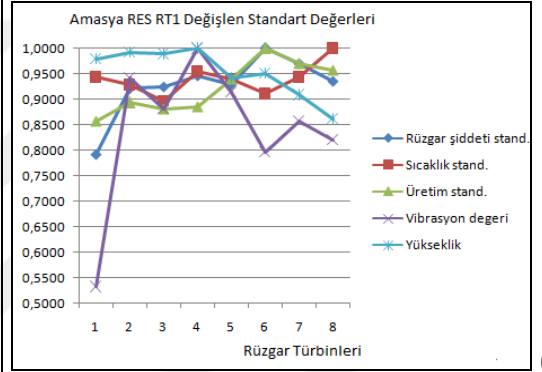
(a)



(b)



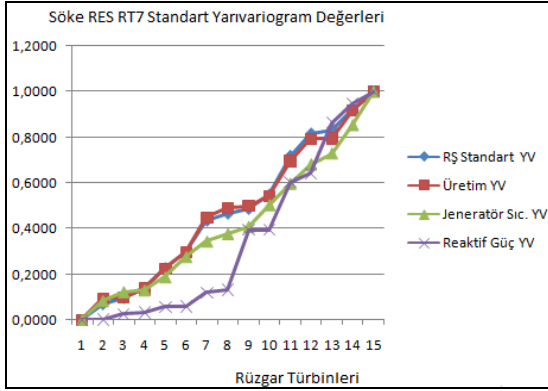
(c)



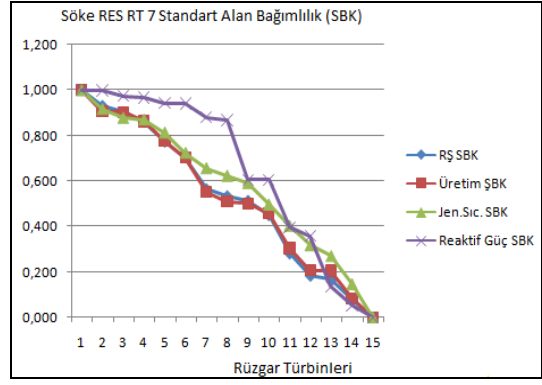
(d)

Şekil B1 : Amasya RT 1 örnek yarıvარიogram grafikleri.

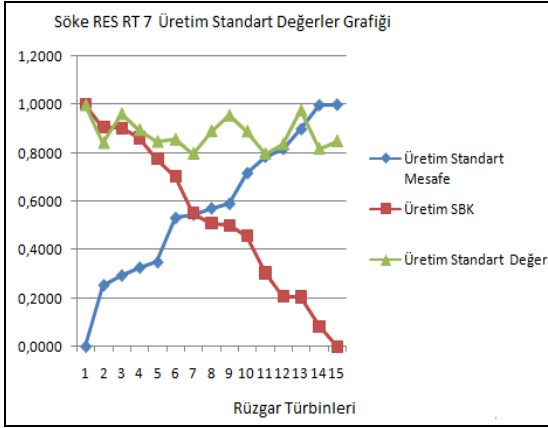
EK B.2 (SÖKE 7 NOLU RÜZGAR TÜRBİNİNE AİT GRAFİKLER)



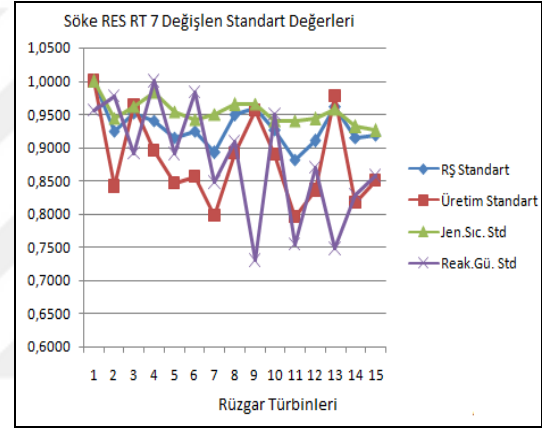
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil B2 : Söke RT 7 örnek yarıvargram grafikleri.

Çizelge C.1 : Amasya RES %70 verilerine ait özet tablo.

Türbin No	Mesafe (m)	Rüzgar şiddeti	Sıcaklık	Üretim	Vibrasyon DK	Vibras.Değeri	Yükseklik (m)
T1	0	5,936	6,155	122,954	7,190	6,193	1277
T2	305	7,389	8,744	147,115	13,168	11,475	1294
T3	526	7,400	8,489	147,948	9,469	10,236	1290
T4	716	7,384	6,939	132,427	11,297	12,056	1304
T9	1948	7,384	8,866	157,401	9,321	10,186	1229
T13	2926	8,005	8,559	166,656	7,941	9,104	1240
T14	3516	7,756	8,886	163,511	9,496	9,802	1185
T16	4878	7,506	9,458	161,414	9,286	9,490	1124

Çizelge C.2 : Edincik RES %70 verilerine ait özet tablo.

Türbin No	Mesafe (m)	Rüzgar şiddeti	Sıcaklık	Üretim	Vibrasyon DK	Vibras. Değeri	Yükseklik (m)
T6	0	6,735	15,504	144,255	8,886	10,437	205
T7	554	7,213	15,260	150,416	5,989	7,781	249
T8	1187	7,633	14,750	168,420	6,132	7,360	304
T9	1677	7,214	15,592	158,874	5,878	7,510	315

Çizelge C.3 : Silivri RES %70 verilerine ait özet tablo.

Türbin No	Mesafe (m)	Rüzgar şiddeti	Sıcaklık	Üretim	Vibrasyon DK	Vibras. Değeri	Yükseklik (m)
T1	0	7,515	11,574	164,121	8,129	7,753	194
T2	317	7,585	14,284	168,072	5,544	6,989	193
T3	618	7,597	14,610	174,837	7,563	7,383	194
T4	1572	7,511	14,537	173,112	5,242	7,073	192

Çizelge C.4 : Söke RES %70 verilerine ait özet tablo.

Türbin No	Mesafe (m)	Rüzgar şiddeti	Üretim	Jeneratör Sıcaklık	Reaktif güç
T1	0	5,967	614,652	74,936	28,330
T2	602	5,730	536,440	72,600	32,740
T3	529	5,970	603,340	76,010	26,580
T4	576	5,790	563,940	74,280	38,470
T5	1060	5,910	607,510	75,130	35,080
T6	946	5,750	540,960	73,660	38,890
T7	1550	6,260	637,390	78,970	38,900
T8	1398	5,760	531,860	73,780	38,670
T9	1865	5,748	540,757	74,980	35,045
T10	2086	5,895	572,084	77,232	39,793
T11	2505	5,951	568,567	76,237	35,462
T12	2350	5,600	508,301	74,728	32,350
T13	2716	5,517	507,702	74,094	28,457
T14	2888	5,697	532,330	74,199	32,690
T15	3208	5,773	523,344	74,049	31,953



Çizelge D.1 : Amasya RES %30 verilerine ait özet tablo.

Türbin No	Mesafe (m)	Rüzgar şiddeti	Sıcaklık	Üretim	Vibrasyon DK	Vibras. Değeri	Yükseklik (m)
T1	0	7,410	11,788	149,843	6,851	5,876	1277
T2	305	7,263	11,746	158,618	12,324	8,628	1294
T3	526	7,328	11,215	152,823	9,503	9,747	1290
T4	716	7,616	11,724	153,874	10,554	10,095	1304
T9	1948	7,533	11,880	163,875	9,591	11,475	1229
T13	2926	7,897	11,610	176,552	8,034	9,283	1240
T14	3516	7,699	11,962	166,145	9,557	9,986	1185
T16	4878	7,318	12,541	163,328	9,292	9,184	1124

Çizelge D.2 : Edincik RES %30 verilerine ait özet tablo.

Türbin No	Mesafe (m)	Rüzgar şiddeti	Sıcaklık	Üretim	Vibrasyon DK	Vibras. Değeri	Yükseklik (m)
T6	0	6,959	16,183	152,305	8,999	10,650	205
T7	554	7,376	15,688	148,576	6,005	7,811	249
T8	1187	7,905	15,401	180,122	6,325	7,526	304
T9	1677	7,214	15,262	169,371	6,089	7,701	315

Çizelge D.3 : Silivri RES %30 verilerine ait özet tablo.

Türbin No	Mesafe (m)	Rüzgar şiddeti	Sıcaklık	Üretim	Vibrasyon DK	Vibras. Değeri	Yükseklik (m)
T1	0	8,446	17,669	208,918	8,211	7,670	194
T2	317	8,536	17,528	209,681	6,032	7,311	193
T3	618	8,505	17,807	211,153	8,503	7,715	194
T4	1572	8,557	17,694	210,270	5,789	7,194	192

Çizelge D.4 : Söke RES %30 verilerine ait özet tablo.

Türbin No	Mesafe (m)	Rüzgar şiddeti	Üretim	Jeneratör Sıcaklık	Reaktif güç
T1	0	6,362	683,435	78,435	32,379
T2	602	6,018	589,813	75,161	36,487
T3	529	6,265	664,071	77,605	34,405
T4	576	6,039	611,751	74,924	34,856
T5	1060	6,307	669,218	78,824	35,291
T6	946	6,055	593,351	77,076	38,360
T7	1550	6,462	678,425	79,770	34,601
T8	1398	6,036	582,951	77,321	38,034
T9	1865	5,891	571,414	76,928	35,203
T10	2086	6,067	604,279	79,358	38,418
T11	2505	6,111	604,241	76,787	36,700
T12	2350	5,752	540,650	76,440	36,074
T13	2716	5,698	513,316	75,541	32,964
T14	2888	5,873	568,135	76,030	38,280
T15	3208	5,809	547,926	73,120	34,404



Çizelge E.1 : Amasya RES çoklu-NTYV tahmin katsayıları.

Türbin No	Mesafe (m)	Rüzgar şiddeti	Sıcaklık	Üretim	Vibrasyon Dişli Kutusu	Vibrasyon Jeneratör
T1	0	0,904	0,911	0,907	0,910	0,917
T2	305	0,867	0,865	0,866	0,905	0,882
T3	526	0,886	0,893	0,887	0,905	0,901
T4	716	0,867	0,715	0,866	0,899	0,887
T9	1948	0,832	0,865	0,859	0,887	0,877
T13	2926	0,856	0,865	0,862	0,882	0,856
T14	3516	0,849	0,859	0,855	0,884	0,870
T16	4878	0,855	0,863	0,861	0,892	0,876

Çizelge E.2 : Edincik RES çoklu-NTYV tahmin katsayıları.

Türbin No	Mesafe (m)	Rüzgar şiddeti	Sıcaklık	Üretim	Vibrasyon Dişli Kutusu	Vibrasyon Jeneratör
T6	0	0,853	0,852	0,852	0,905	0,897
T7	554	0,925	0,906	0,925	0,927	0,928
T8	1187	0,843	0,845	0,841	0,859	0,865
T9	1677	0,893	0,914	0,918	0,919	0,918

Çizelge E.3 : Silivri RES çoklu-NTYV tahmin katsayıları.

Türbin No	Mesafe (m)	Rüzgar şiddeti	Sıcaklık	Üretim	Vibrasyon Dişli Kutusu	Vibrasyon Jeneratör
T1	0	0,946	0,932	0,930	0,980	0,944
T2	317	0,972	0,963	0,953	0,969	0,958
T3	618	0,920	0,909	0,905	0,974	0,902
T4	1572	1,052	1,030	1,030	0,957	1,033

Çizelge E.4 : Söke RES çoklu-NTYV tahmin katsayıları.

Türbin No	Mesafe (m)	Rüzgar şiddeti	Üretim	Jeneratör Sıcaklık	Reaktif güç
T1	0	0,893	0,916	0,891	0,912
T2	602	0,904	0,920	0,895	0,925
T3	529	0,896	0,919	0,894	0,913
T4	576	0,893	0,912	0,888	0,918
T5	1060	0,886	0,911	0,888	0,909
T6	946	0,892	0,908	0,886	0,923
T7	1550	0,887	0,904	0,879	0,914
T8	1398	0,879	0,891	0,877	0,917
T9	1865	0,889	0,909	0,892	0,918
T10	2086	0,900	0,913	0,888	0,921
T11	2505	0,896	0,909	0,909	0,921
T12	2350	0,896	0,914	0,892	0,919
T13	2716	0,900	0,919	0,896	0,920
T14	2888	0,894	0,917	0,890	0,917
T15	3208	0,895	0,912	0,889	0,916



Çizelge F.1 : Amasya RES tahminler.

Türbin No	Mesafe (m)	Rüzgar Şiddeti	Sıcaklık	Üretim	Vibrasyon Dişli Kutusu	Vibrasyon Jeneratör
T1	0	6,697	12,699	135,941	6,233	5,390
T2	305	6,300	10,164	137,383	11,155	7,613
T3	526	6,433	10,014	135,630	8,597	8,781
T4	716	6,602	8,385	133,182	9,493	8,958
T9	1948	6,265	10,272	140,847	8,510	10,058
T13	2926	6,763	10,038	152,117	7,085	7,944
T14	3516	6,534	10,280	141,980	8,446	8,688
T16	4878	6,254	10,819	140,624	8,289	8,047

Çizelge F.2 : Edincik RES tahminler.

Türbin No	Mesafe (m)	Rüzgar Şiddeti	Sıcaklık	Üretim	Vibrasyon Dişli Kutusu	Vibrasyon Jeneratör
T6	0	5,933	13,792	129,804	8,141	9,552
T7	554	6,824	14,212	137,410	5,569	7,246
T8	1187	6,665	13,009	151,545	5,433	6,514
T9	1677	6,443	13,947	155,538	5,594	7,069

Çizelge F.3 : Silivri RES tahminler.

Türbin No	Mesafe (m)	Rüzgar Şiddeti	Sıcaklık	Üretim	Vibrasyon Dişli Kutusu	Vibrasyon Jeneratör
T1	0	7,904	16,459	194,387	8,043	7,242
T2	317	8,074	16,878	199,817	5,845	7,001
T3	618	7,393	16,188	191,123	8,280	6,961
T4	1572	8,708	18,225	216,584	5,538	7,434

Çizelge F.4 : Söke RES tahminler.

Türbin No	Mesafe (m)	Rüzgar Şiddeti	Üretim	Jeneratör Sıcaklık	Reaktif Güç
T1	0	5,684	625,698	69,874	29,535
T2	602	5,442	542,508	67,236	33,768
T3	529	5,614	610,587	69,344	31,415
T4	576	5,392	557,907	66,528	32,002
T5	1060	5,589	609,953	69,990	32,083
T6	946	5,404	538,786	68,280	35,388
T7	1550	5,731	613,148	70,139	31,617
T8	1398	5,303	519,226	67,823	34,870
T9	1865	5,236	519,219	68,581	32,324
T10	2086	5,460	551,908	70,437	35,365
T11	2505	5,476	549,375	69,815	33,789
T12	2350	5,153	493,987	68,213	33,136
T13	2716	5,128	471,632	67,685	30,311
T14	2888	5,252	518,131	67,653	35,113
T15	3208	5,199	499,461	64,993	31,531



Çizelge G.1 : Amasya RES tahmin bağıl hata.

Türbin No	Mesafe (m)	Rüzgar Şiddeti	Sıcaklık	Üretim	Vibrasyon Dişli Kutusu	Vibrasyon Jeneratör
T1	0	0,096	0,172	0,093	0,090	0,083
T2	305	0,133	0,135	0,134	0,095	0,118
T3	526	0,122	0,107	0,113	0,095	0,099
T4	716	0,133	0,285	0,134	0,101	0,113
T9	1948	0,168	0,927	0,141	0,113	0,123
T13	2926	0,144	0,135	0,138	0,118	0,144
T14	3516	0,151	0,141	0,145	0,116	0,130
T16	4878	0,145	0,137	0,139	0,108	0,124

Çizelge G.2 : Edincik RES tahmin bağıl hata.

Türbin No	Mesafe (m)	Rüzgar Şiddeti	Sıcaklık	Üretim	Vibrasyon Dişli Kutusu	Vibrasyon Jeneratör
T6	0	0,147	0,148	0,148	0,095	0,103
T7	554	0,075	0,094	0,075	0,073	0,072
T8	1187	0,157	0,155	0,159	0,141	0,135
T9	1677	0,107	0,086	0,082	0,081	0,082

Çizelge G.3 : Silivri RES tahmin bağıl hata.

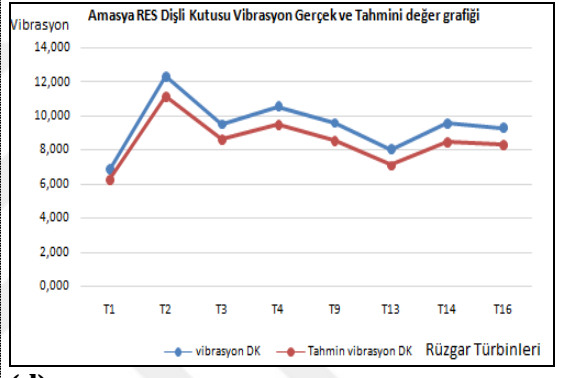
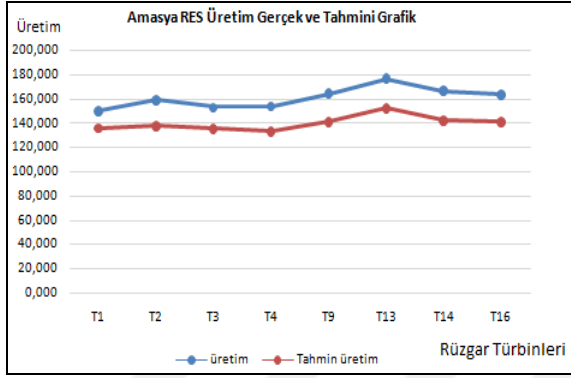
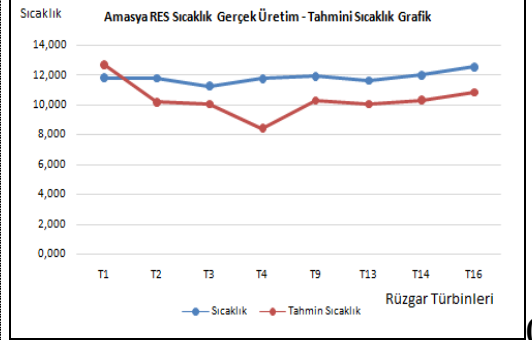
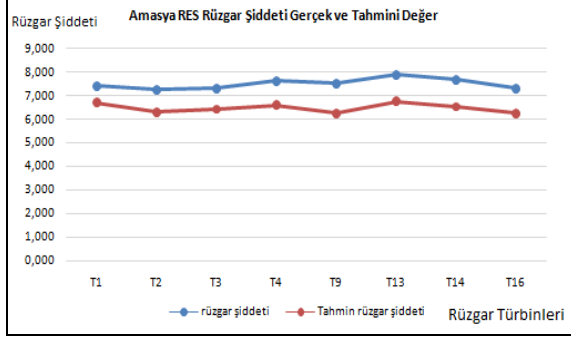
Türbin No	Mesafe (m)	Rüzgar Şiddeti	Sıcaklık	Üretim	Vibrasyon Dişli Kutusu	Vibrasyon Jeneratör
T1	0	0,064	0,068	0,070	0,020	0,056
T2	317	0,054	0,037	0,047	0,031	0,042
T3	618	0,131	0,091	0,095	0,026	0,098
T4	1572	0,017	0,029	0,029	0,043	0,032

Çizelge G.4 : Söke RES tahminler bağıl hata.

Türbin No	Mesafe (m)	Rüzgar Şiddeti	Üretim	Jeneratör Sıcaklık	Reaktif Güç
T1	0	0,107	0,084	0,109	0,088
T2	602	0,096	0,080	0,105	0,075
T3	529	0,104	0,081	0,106	0,087
T4	576	0,107	0,088	0,112	0,082
T5	1060	0,114	0,089	0,112	0,091
T6	946	0,108	0,092	0,114	0,077
T7	1550	0,113	0,096	0,121	0,086
T8	1398	0,121	0,109	0,123	0,083
T9	1865	0,111	0,091	0,108	0,082
T10	2086	0,100	0,087	0,112	0,079
T11	2505	0,104	0,091	0,091	0,079
T12	2350	0,104	0,086	0,108	0,081
T13	2716	0,100	0,081	0,104	0,080
T14	2888	0,106	0,088	0,110	0,083
T15	3208	0,105	0,088	0,111	0,084

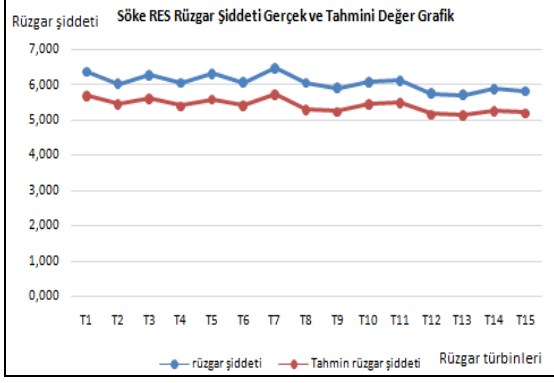


EK H.1 : AMASYA RES GERÇEK VE TAHMİNİ DEĞERLER

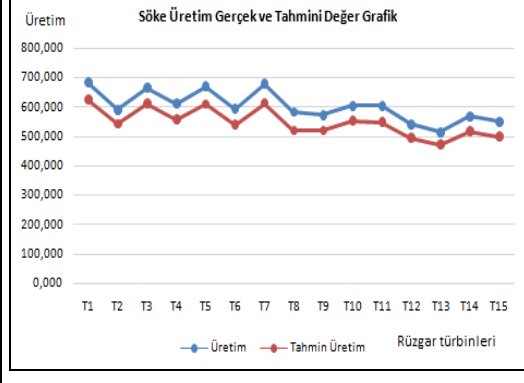


Şekil H.1 : Amasya RES gerçek ve tahmini değerler.

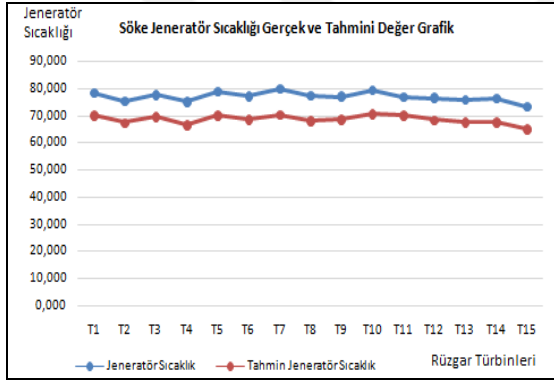
EK H.2 : SÖKE RES GERÇEK VE TAHMİNİ DEĞERLER



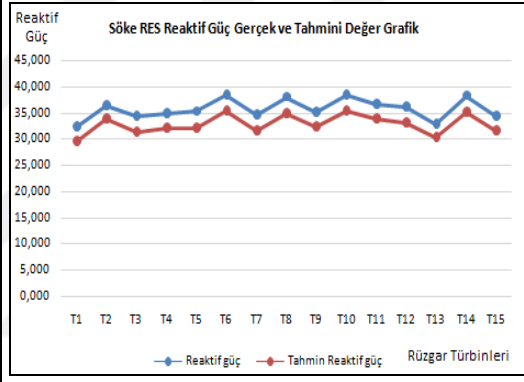
(a)



(b)



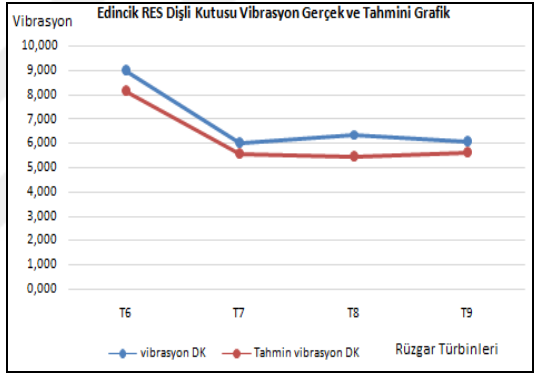
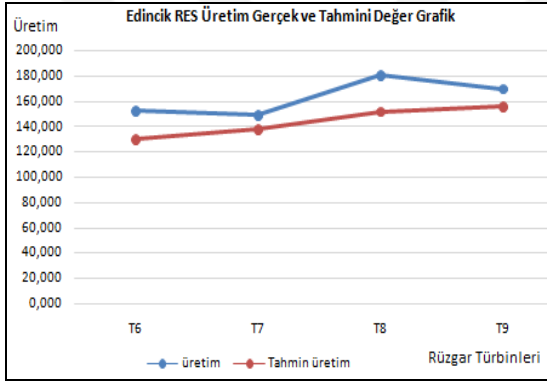
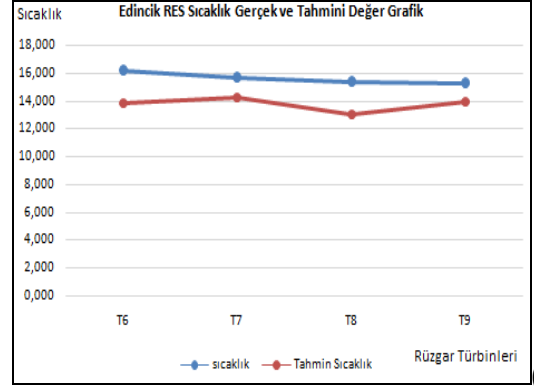
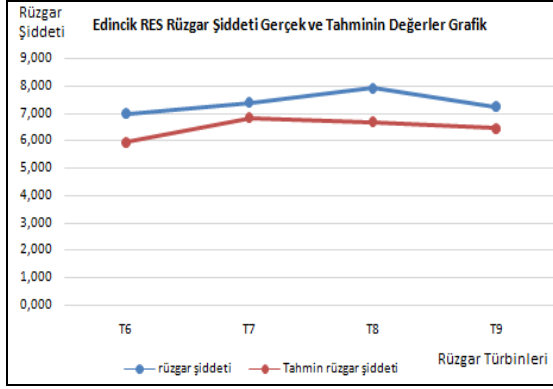
(c)



(d)

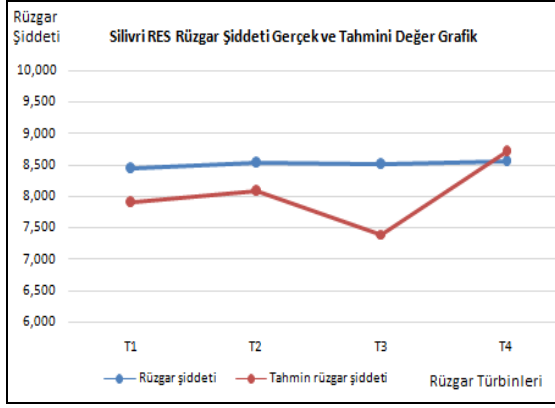
Şekil H.2 : Söke RES gerçek ve tahmini değerler.

EK H.3 : EDİNCİK RES GERÇEK VE TAHMİNİ DEĞERLER

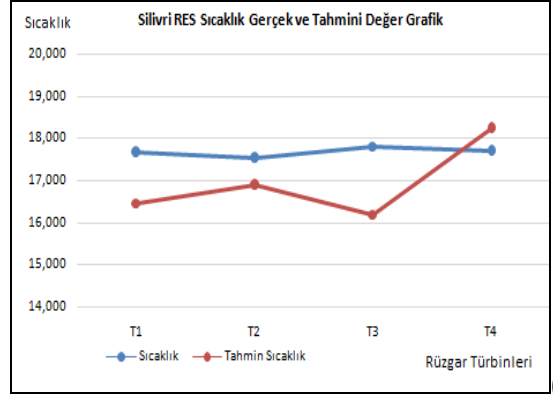


Şekil H.3 : Edincik RES gerçek ve tahmini değerler.

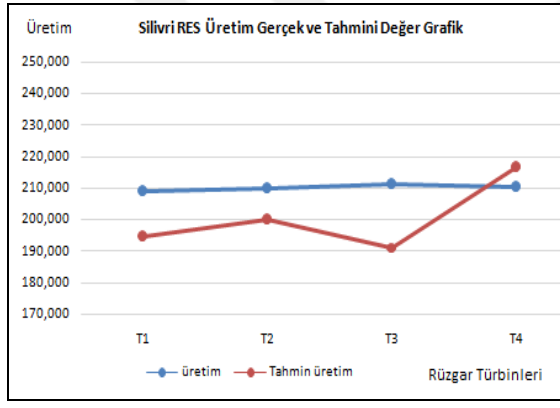
EK H.4 : SİLİVRİ RES GERÇEK VE TAHMİNİ DEĞERLER



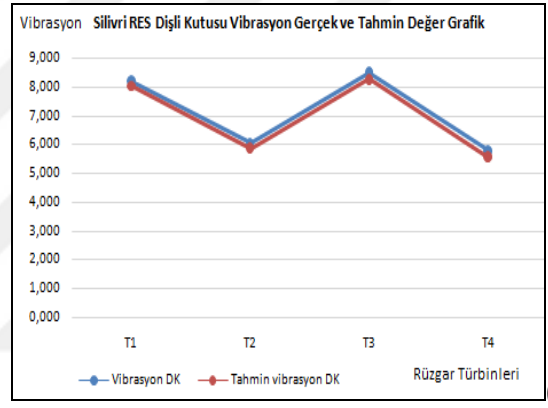
(a)



(b)



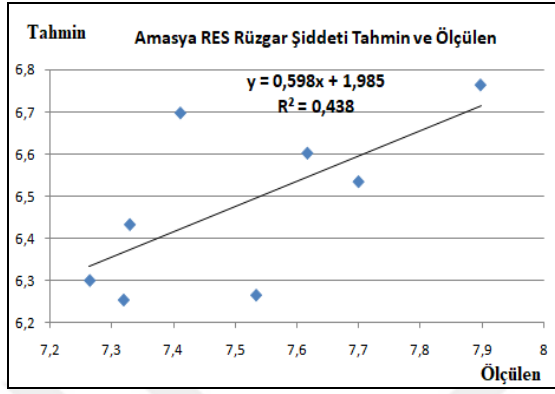
(c)



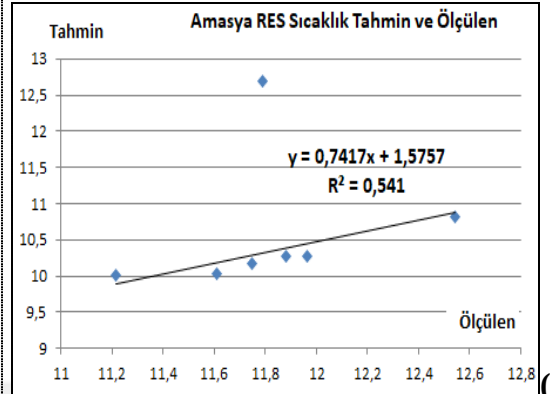
(d)

Şekil H.4 : Silivri RES gerçek ve tahmini değerler.

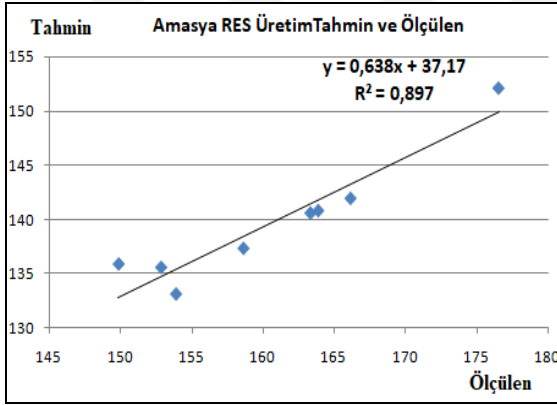
EK I.1 : Amasya RES Gerçek ve Tahmini Değerler Saçılma Grafiği



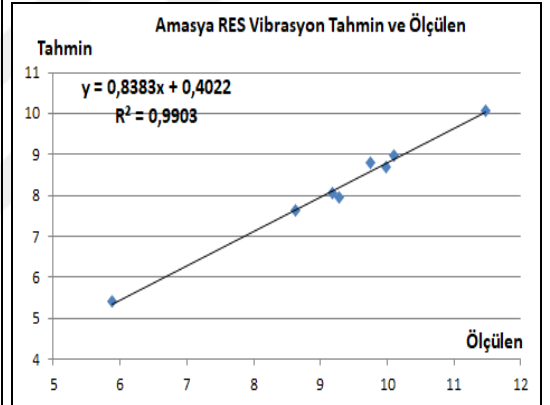
(a)



(b)



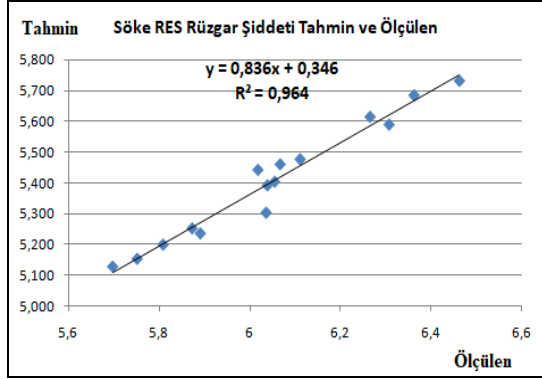
(c)



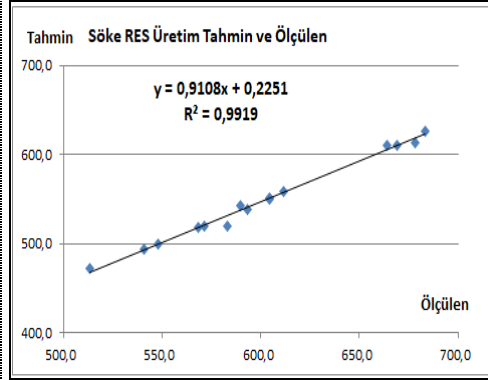
(d)

Şekil I.1 : Amasya RES gerçek ve tahmini değerler.

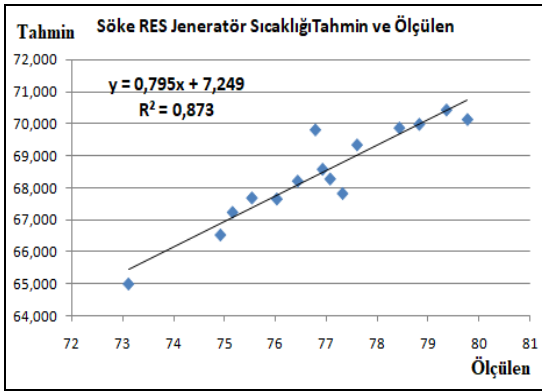
EK I.2 : Söke RES Gerçek ve Tahmini Değerler Saçılma Grafiği



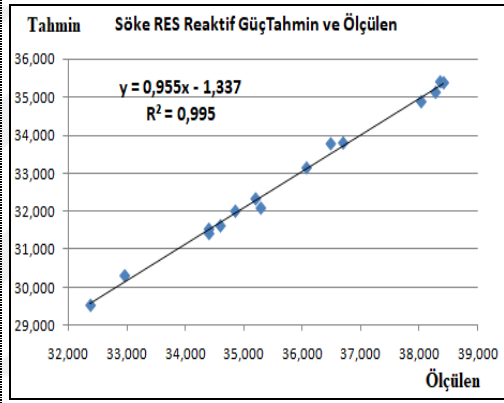
(a)



(b)



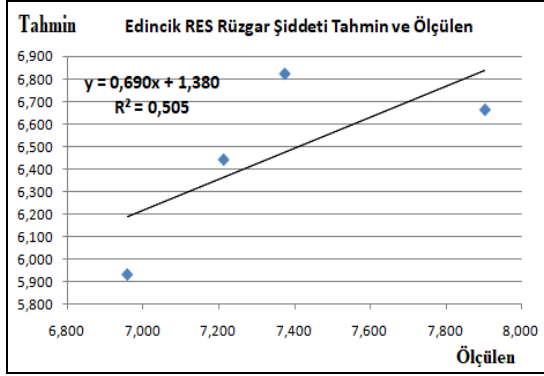
(c)



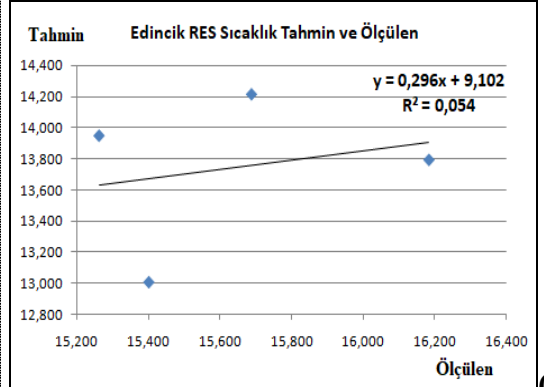
(d)

Şekil I.2 : Söke RES gerçek ve tahmini değerler.

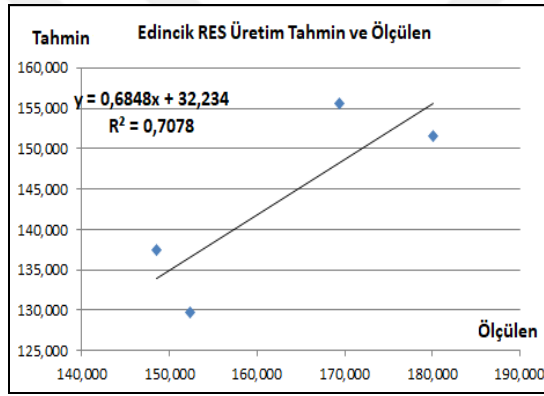
EK I.3 : Edincik RES Gerçek ve Tahmini Değerler Saçılma Grafiği



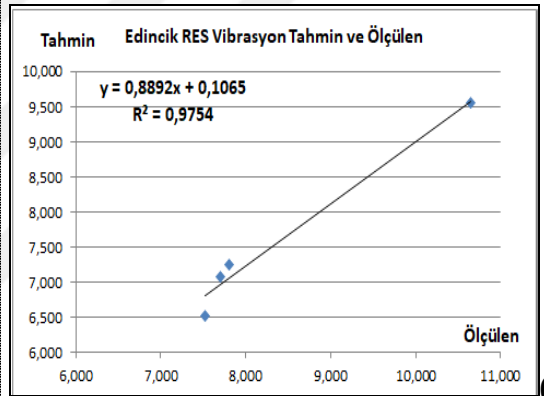
(a)



(b)



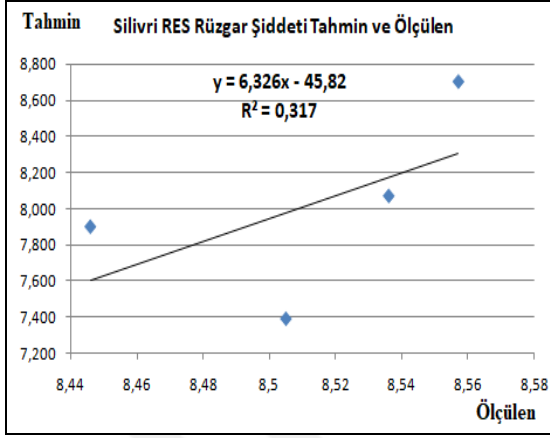
(c)



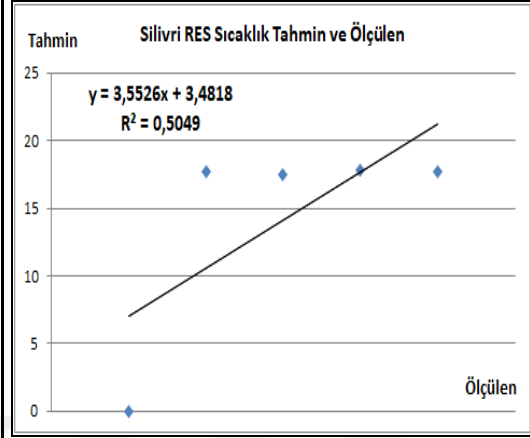
(d)

Şekil I.3 : Edincik RES gerçek ve tahmini değerler..

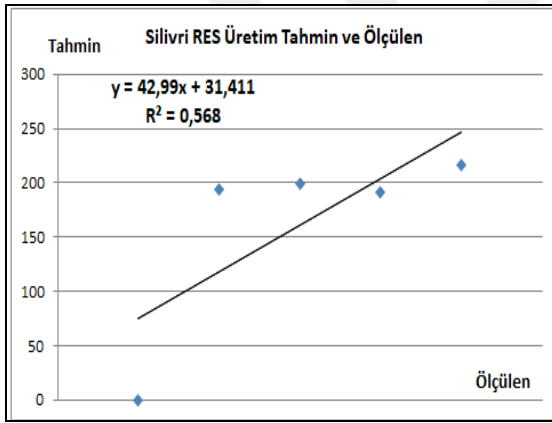
EK I.4 : Silivri RES Gerçek ve Tahmini Değerler Saçılma Grafiği



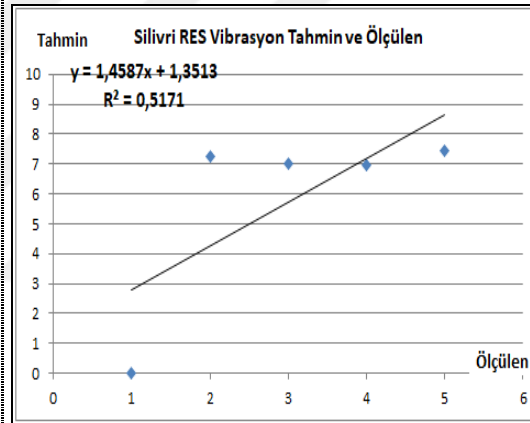
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil I.4 : Silivri RES gerçek ve tahmini değerler.

EK K.1 : Amasya RES Rüzgar Şiddeti Regresyon Parametreleri

Çizelge K.1 : Amasya RES rüzgar şiddeti regresyon parametreleri.

ÖZET ÇIKIŞI

<i>Regresyon İstatistikleri</i>	
Çoklu R	0,945716
R Kare	0,894379
Ayarlı R Kare	0,815164
Standart Hata	0,263211
Gözlem	8

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Anlamlılık F</i>
Regresyon	3	2,346607	0,782202	11,29047	0,020165
Fark	4	0,277119	0,06928		
Toplam	7	2,623726			

	<i>Katsayılar</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-değeri</i>	<i>Düşük %95</i>	<i>Yüksek %95</i>	<i>Düşük 95,0%</i>	<i>Yüksek 95,0%</i>
Kesişim	-0,21813	1,399532	-0,15586	0,883694	-4,10385	3,667594	-4,10385	3,667594
X Değişkeni 1	-0,45977	0,267373	-1,71959	0,160627	-1,20212	0,282575	-1,20212	0,282575
X Değişkeni 2	0,063686	0,018676	3,410098	0,027025	0,011834	0,115538	0,011834	0,115538
X Değişkeni 3	0,188	0,069354	2,710718	0,053498	-0,00456	0,380558	-0,00456	0,380558

EK K.2 : Amasya RES Sıcaklık Regresyon Parametreleri

Çizelge K.2 : Amasya RES sıcaklık regresyon parametreleri.

ÖZET ÇIKIŞI

<i>Regresyon İstatistikleri</i>	
Çoklu R	0,967623
R Kare	0,936294
Ayarlı R Kare	0,888515
Standart Hata	0,373229
Gözlem	8

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Anlamlılık F</i>
Regresyon	3	8,189249	2,72975	19,59624	0,007446
Fark	4	0,557199	0,1393		
Toplam	7	8,746448			

	<i>Katsayılar</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-değeri</i>	<i>Düşük %95</i>	<i>Yüksek %95</i>	<i>Düşük 95,0%</i>	<i>Yüksek 95,0%</i>
Kesişim	-2,02681	1,71325	-1,18302	0,302311	-6,78356	2,729936	-6,78356	2,729936
X Değişkeni 1	-0,92446	0,537602	-1,71959	0,160627	-2,41708	0,568168	-2,41708	0,568168
X Değişkeni 2	0,096608	0,02017	4,78976	0,008713	0,040608	0,152607	0,040608	0,152607
X Değişkeni 3	0,268996	0,096685	2,782173	0,049708	0,000554	0,537438	0,000554	0,537438

EK K.3 : Amasya RES Üretim Regresyon Parametreleri

Çizelge K.3 : Amasya RES üretim şiddeti regresyon parametreleri.

ÖZET ÇIKIŞI

<i>Regresyon İstatistikleri</i>	
Çoklu R	0,984915
R Kare	0,970057
Ayarlı R Kare	0,947599
Standart Hata	3,565041
Gözlem	8

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Anlamlılık F</i>
Regresyon	3	1646,975	548,9916	43,19532	0,001664
Fark	4	50,83806	12,70952		
Toplam	7	1697,813			

	<i>Katsayılar</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-değeri</i>	<i>Düşük %95</i>	<i>Yüksek %95</i>	<i>Düşük 95,0%</i>	<i>Yüksek 95,0%</i>
Kesişim	18,08656	16,72502	1,081407	0,340357	-28,3496	64,52267	-28,3496	64,52267
X Değişkeni 1	8,814341	1,840247	4,78976	0,008713	3,704997	13,92369	3,704997	13,92369
X Değişkeni 2	11,6833	3,426089	3,410098	0,027025	2,170953	21,19565	2,170953	21,19565
X Değişkeni 3	-2,77796	0,757703	-3,6663	0,021461	-4,88168	-0,67424	-4,88168	-0,67424

EK K.4 : Amasya RES Vibrasyon Regresyon Parametreleri

Çizelge K.4 : Amasya RES vibrasyon regresyon parametreleri.

ÖZET ÇIKIŞI

<i>Regresyon İstatistikleri</i>	
Çoklu R	0,889704
R Kare	0,791573
Ayarlı R Kare	0,635252
Standart Hata	1,126603
Gözlem	8

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Anlamlılık F</i>
Regresyon	3	19,28137	6,427122	5,063784	0,075553
Fark	4	5,076933	1,269233		
Toplam	7	24,3583			

	<i>Katsayılar</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-değeri</i>	<i>Düşük %95</i>	<i>Yüksek %95</i>	<i>Düşük 95,0%</i>	<i>Yüksek 95,0%</i>
Kesişim	5,691496	5,29184	1,075523	0,342688	-9,00101	20,384	-9,00101	20,384
X Değişkeni 1	2,450963	0,880953	2,782173	0,049708	0,005046	4,896879	0,005046	4,896879
X Değişkeni 2	-0,27742	0,075668	-3,6663	0,021461	-0,48751	-0,06733	-0,48751	-0,06733
X Değişkeni 3	3,44423	1,270597	2,710718	0,053498	-0,08351	6,971972	-0,08351	6,971972

EK L.1 : Söke RES Rüzgar Şiddeti Regresyon Parametreleri

Çizelge L.1 : Söke RES rüzgar şiddeti regresyon parametreleri.

ÖZET ÇIKIŞI

<i>Regresyon İstatistikleri</i>	
Çoklu R	0,951628
R Kare	0,905597
Ayarlı R Kare	0,87985
Standart Hata	0,062062
Gözlem	15

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Anlamlılık F</i>
Regresyon	3	0,406436	0,135479	35,17379	6,24E-06
Fark	11	0,042369	0,003852		
Toplam	14	0,448804			

	<i>Katsayılar</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-değeri</i>	<i>Düşük %95</i>	<i>Yüksek %95</i>	<i>Düşük 95,0%</i>	<i>Yüksek 95,0%</i>
Kesişim	1,848671	0,904203	2,044532	0,06559	-0,14147	3,838808	-0,14147	3,838808
X Değişkeni 1	0,003348	0,000574	5,832101	0,000114	0,002084	0,004611	0,002084	0,004611
X Değişkeni 2	0,025618	0,015047	1,702473	0,116721	-0,0075	0,058737	-0,0075	0,058737
X Değişkeni 3	0,005235	0,004048	1,293318	0,222401	-0,00367	0,014145	-0,00367	0,014145

EK L.2 : Söke RES Üretim Regresyon Parametreleri

Çizelge L.1 : Söke RES üretim regresyon parametreleri.

ÖZET ÇIKIŞI

<i>Regresyon İstatistikleri</i>	
Çoklu R	0,935647
R Kare	0,875436
	0,841464
Standart Hata	16,11596
Gözlem	15

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Anlamlılık F</i>
Regresyon	3	20078,68	6692,894	25,76925	2,83E-05
Fark	11	2856,964	259,724		
Toplam	14	22935,65			

	<i>Katsayılar</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-değeri</i>	<i>Düşük %95</i>	<i>Yüksek %95</i>	<i>Düşük 95,0%</i>	<i>Yüksek 95,0%</i>
Kesişim	-607,848	206,135	-2,94879	0,013238	-1061,55	-154,148	-1061,55	-154,148
X Değişkeni 1	225,7275	38,70432	5,832101	0,000114	140,5398	310,9151	140,5398	310,9151
X Değişkeni 2	-1,30898	4,374388	-0,29924	0,770337	-10,9369	8,318983	-10,9369	8,318983
X Değişkeni 3	-1,42327	1,043469	-1,36398	0,199833	-3,71993	0,873392	-3,71993	0,873392

EK L.3 : Söke RES Jeneratör Sıcaklığı Regresyon Parametreleri

Çizelge L.3 : Söke jeneratör sıcaklığı regresyon parametreleri.

ÖZET ÇIKIŞI

<i>Regresyon İstatistikleri</i>	
Çoklu R	0,786625
R Kare	0,61878
Ayarlı R Kare	0,51481
Standart Hata	1,106323
Gözlem	15

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Anlamlılık F</i>
Regresyon	3	21,85327	7,284425	5,951568	0,011539
Fark	11	13,46346	1,22395		
Toplam	14	35,31673			

	<i>Katsayılar</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-değeri</i>	<i>Düşük %95</i>	<i>Yüksek %95</i>	<i>Düşük 95,0%</i>	<i>Yüksek 95,0%</i>
Kesişim	30,53602	16,54577	1,845549	0,092024	-5,88097	66,95301	-5,88097	66,95301
X Değişkeni 1	-0,00617	0,020614	-0,29924	0,770337	-0,05154	0,039203	-0,05154	0,039203
X Değişkeni 2	8,140552	4,781603	1,702473	0,116721	-2,38369	18,66479	-2,38369	18,66479
X Değişkeni 3	0,015148	0,077318	0,195921	0,848244	-0,15503	0,185324	-0,15503	0,185324

EK L.4 : Söke RES Reaktif Güç Regresyon Parametreleri

Çizelge L.4 : Söke RES reaktif güç regresyon parametreleri.

ÖZET ÇIKIŞI

<i>Regresyon İstatistikleri</i>	
Çoklu R	0,447224
R Kare	0,200009
Ayarlı R Kare	-0,01817
Standart Hata	4,306739
Gözlem	15

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Anlamlılık F</i>
Regresyon	3	51,00992	17,00331	0,916719	0,464514
Fark	11	204,0281	18,548		
Toplam	14	255,038			

	<i>Katsayılar</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-değeri</i>	<i>Düşük %95</i>	<i>Yüksek %95</i>	<i>Düşük 95,0%</i>	<i>Yüksek 95,0%</i>
Kesişim	-72,9015	70,35694	-1,03617	0,322366	-227,756	81,95307	-227,756	81,95307
X Değişkeni 1	-0,10164	0,074519	-1,36398	0,199833	-0,26566	0,062373	-0,26566	0,062373
X Değişkeni 2	0,22956	1,171693	0,195921	0,848244	-2,34932	2,808439	-2,34932	2,808439
X Değişkeni 3	25,21124	19,49345	1,293318	0,222401	-17,6936	68,11604	-17,6936	68,11604

EK M.1 : Amasya RES Rüzgar Şiddeti 1 Aylık Veri Çoklu-Regresyon Parametreleri

Çizelge M.1 : Amasya RES rüzgar şiddeti 1-aylık very çoklu-regresyon parametreleri.

ÖZET ÇIKIŞI

<i>Regresyon İstatistikleri</i>	
Çoklu R	0,786537
R Kare	0,618641
Ayarlı R Kare	0,332622
Standart Hata	0,431036
Gözlem	8

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Anlamlılık F</i>
Regresyon	3	1,205568	0,401856	2,162935	0,235071
Fark	4	0,743168	0,185792		
Toplam	7	1,948736			

	<i>Katsayılar</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-değeri</i>	<i>Düşük %95</i>	<i>Yüksek %95</i>	<i>Düşük 95,0%</i>	<i>Yüksek 95,0%</i>
Kesişim	2,438649	2,570631	0,948658	0,396513	-4,69857	9,575866	-4,69857	9,575866
X Değişkeni 1	0,027204	0,16296	0,166938	0,875518	-0,42524	0,479653	-0,42524	0,479653
X Değişkeni 2	0,029292	0,017926	1,634002	0,177597	-0,02048	0,079063	-0,02048	0,079063
X Değişkeni 3	-0,0517	0,07613	-0,67915	0,534308	-0,26307	0,159666	-0,26307	0,159666

EK M.2 : Amasya RES Sıcaklık 1 Aylık Veri Çoklu-Regresyon Parametreleri

Çizelge K.1 : Amasya RES sıcaklık 1 aylık veri çoklu-regresyon parametreleri.

ÖZET ÇIKIŞI

<i>Regresyon İstatistikleri</i>	
Çoklu R	0,716691
R Kare	0,513647
Ayarlı R Kare	0,148881
Standart Hata	1,317939
Gözlem	8

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Anlamlılık F</i>
Regresyon	3	7,337755	2,445918	1,408157	0,363315
Fark	4	6,947858	1,736964		
Toplam	7	14,28561			

	<i>Katsayılar</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-değeri</i>	<i>Düşük %95</i>	<i>Yüksek %95</i>	<i>Düşük 95,0%</i>	<i>Yüksek 95,0%</i>
Kesişim	2,035175	8,639647	0,235562	0,825341	-21,9523	26,02268	-21,9523	26,02268
X Değişkeni 1	0,254331	1,523507	0,166938	0,875518	-3,9756	4,484264	-3,9756	4,484264
X Değişkeni 2	0,070159	0,061474	1,141277	0,31744	-0,10052	0,240839	-0,10052	0,240839
X Değişkeni 3	-0,14625	0,234703	-0,62311	0,566981	-0,79788	0,505394	-0,79788	0,505394

EK M.3 : Amasya RES Üretim 1 Aylık Veri Çoklu-Regresyon Parametreleri

Çizelge M.3 : Amasya RES üretim 1 aylık veri çoklu-regresyon parametreleri

ÖZET ÇIKIŞI

<i>Regresyon İstatistikleri</i>	
Çoklu R	0,880413
R Kare	0,775127
Ayarlı R Kare	0,606473
Standart Hata	9,310255
Gözlem	8

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Anlamlılık F</i>
Regresyon	3	1195,142	398,3808	4,595949	0,087377
Fark	4	346,7234	86,68085		
Toplam	7	1541,866			

	<i>Katsayılar</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-değeri</i>	<i>Düşük %95</i>	<i>Yüksek %95</i>	<i>Düşük 95,0%</i>	<i>Yüksek 95,0%</i>
Kesişim	13,78526	61,06675	0,225741	0,832468	-155,763	183,3337	-155,763	183,3337
X Değişkeni 1	3,501195	3,067787	1,141277	0,31744	-5,01635	12,01874	-5,01635	12,01874
X Değişkeni 2	13,66592	8,363468	1,634002	0,177597	-9,55479	36,88663	-9,55479	36,88663
X Değişkeni 3	2,157881	1,360763	1,585787	0,187971	-1,6202	5,935965	-1,6202	5,935965

EK M.4 : Amasya RES Vibrasyon 1 Aylık Veri Çoklu-Regresyon Parametreleri

Çizelge M.4 : Amasya RES vibrasyon 1 aylık veri çoklu-regresyon parametreleri

ÖZET ÇIKIŞI

<i>Regresyon İstatistikleri</i>	
Çoklu R	0,63351
R Kare	0,401335
Ayarlı R Kare	-0,04766
Standart Hata	2,680595
Gözlem	8

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Anlamlılık F</i>
Regresyon	3	19,26836	6,422786	0,893843	0,517435
Fark	4	28,74235	7,185587		
Toplam	7	48,0107			

	<i>Katsayılar</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-değeri</i>	<i>Düşük %95</i>	<i>Yüksek %95</i>	<i>Düşük 95,0%</i>	<i>Yüksek 95,0%</i>
Kesişim	-0,30311	17,69324	-0,01713	0,987152	-49,4274	48,8212	-49,4274	48,8212
X Değişkeni 1	-0,605	0,970933	-0,62311	0,566981	-3,30074	2,090747	-3,30074	2,090747
X Değişkeni 2	0,178882	0,112803	1,585787	0,187971	-0,13431	0,492074	-0,13431	0,492074
X Değişkeni 3	-1,99966	2,94435	-0,67915	0,534308	-10,1745	6,175165	-10,1745	6,175165

EK M.5 : Söke RES Rüzgar Şiddeti 1 Aylık Veri Çoklu-Regresyon Parametreleri

Çizelge M.5 : Söke RES rüzgar şiddeti 1 aylık veri çoklu-regresyon parametreleri

ÖZET ÇIKIŞI

<i>Regresyon İstatistikleri</i>	
Çoklu R	0,917815
R Kare	0,842384
Ayarlı R Kare	0,799398
Standart Hata	0,071318
Gözlem	15

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Anlamlılık F</i>
Regresyon	3	0,299024	0,099675	19,59666	0,000101
Fark	11	0,055949	0,005086		
Toplam	14	0,354973			

	<i>Katsayılar</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-değeri</i>	<i>Düşük %95</i>	<i>Yüksek %95</i>	<i>Düşük 95,0%</i>	<i>Yüksek 95,0%</i>
Kesişim	3,032505	0,986892	3,072782	0,010607	0,860369	5,204641	0,860369	5,204641
X Değişkeni 1	0,003493	0,000548	6,374998	5,26E-05	0,002287	0,004699	0,002287	0,004699
X Değişkeni 2	0,0078	0,010784	0,723317	0,484582	-0,01594	0,031536	-0,01594	0,031536
X Değişkeni 3	0,008052	0,015448	0,52125	0,612525	-0,02595	0,042052	-0,02595	0,042052

EK M.6 : Söke RES Üretim 1 Aylık Veri Çoklu-Regresyon Parametreleri

Çizelge M.6 : Söke RES üretim 1 aylık veri çoklu-regresyon parametreleri

ÖZET ÇIKIŞI

<i>Regresyon İstatistikleri</i>	
Çoklu R	0,914167
R Kare	0,835702
Ayarlı R Kare	0,790893
Standart Hata	18,11275
Gözlem	15

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Anlamlılık F</i>
Regresyon	3	18356,05	6118,683	18,65045	0,000127
Fark	11	3608,787	328,0715		
Toplam	14	21964,84			

	<i>Katsayılar</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-değeri</i>	<i>Düşük %95</i>	<i>Yüksek %95</i>	<i>Düşük 95,0%</i>	<i>Yüksek 95,0%</i>
Kesişim	-742,656	258,0785	-2,87764	0,015035	-1310,68	-174,629	-1310,68	-174,629
X Değişkeni 1	225,3032	35,34169	6,374998	5,26E-05	147,5167	303,0898	147,5167	303,0898
X Değişkeni 2	0,134785	2,802915	0,048088	0,962508	-6,03439	6,303959	-6,03439	6,303959
X Değişkeni 3	-0,46572	3,968882	-0,11734	0,908704	-9,20117	8,269733	-9,20117	8,269733

EK M.7 : Söke RES Jeneratör Sıcaklığı 1 Aylık Veri Çoklu-Regresyon Parametreleri

Çizelge M.7 : Söke RES jeneratör sıcaklığı 1 aylık veri çoklu-regresyon parametreleri

ÖZET ÇIKIŞI

<i>Regresyon İstatistikleri</i>	
Çoklu R	0,802128
R Kare	0,64341
Ayarlı R Kare	0,546158
Standart Hata	1,948195
Gözlem	15

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Anlamlılık F</i>
Regresyon	3	75,33127	25,11042	6,615906	0,008115
Fark	11	41,75009	3,795463		
Toplam	14	117,0814			

	<i>Katsayılar</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-değeri</i>	<i>Düşük %95</i>	<i>Yüksek %95</i>	<i>Düşük 95,0%</i>	<i>Yüksek 95,0%</i>
Kesişim	63,18864	31,42666	2,01067	0,069521	-5,98097	132,3582	-5,98097	132,3582
X Değişkeni 1	0,001559	0,032427	0,048088	0,962508	-0,06981	0,072931	-0,06981	0,072931
X Değişkeni 2	5,820674	8,047199	0,723317	0,484582	-11,8911	23,53244	-11,8911	23,53244
X Değişkeni 3	-1,0518	0,286167	-3,67549	0,003654	-1,68165	-0,42196	-1,68165	-0,42196

EK M.8 : Söke RES Reaktif Güç 1 Aylık Veri Çoklu-Regresyon Parametreleri

Çizelge M.8 : Söke RES reaktif güç 1 aylık veri çoklu-regresyon parametreleri

ÖZET ÇIKIŞI

<i>Regresyon İstatistikleri</i>	
Çoklu R	0,751847
R Kare	0,565274
Ayarlı R Kare	0,446713
Standart Hata	1,375144
Gözlem	15

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Anlamlılık F</i>
Regresyon	3	27,04784	9,015948	4,767768	0,022948
Fark	11	20,80123	1,891021		
Toplam	14	47,84907			

	<i>Katsayılar</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-değeri</i>	<i>Düşük %95</i>	<i>Yüksek %95</i>	<i>Düşük 95,0%</i>	<i>Yüksek 95,0%</i>
Kesişim	45,42857	22,02967	2,062154	0,063629	-3,0584	93,91555	-3,0584	93,91555
X Değişkeni 1	-0,00268	0,022877	-0,11734	0,908704	-0,05304	0,047667	-0,05304	0,047667
X Değişkeni 2	-0,52404	0,142577	-3,67549	0,003654	-0,83785	-0,21023	-0,83785	-0,21023
X Değişkeni 3	2,993632	5,743176	0,52125	0,612525	-9,64701	15,63428	-9,64701	15,63428

Çizelge N1 : Söke RES Çoklu-NTYV ve doğrusal çoklu regresyon tahmin sonuçları (tam veri).

Gerçek Değerler	Çoklu-NTYV	Çoklu regr.	Gerçek Değerler	Çoklu-NTYV	Çoklu regr.
Rüzgar Şiddeti	Rüzgar Şiddeti	Rüzgar Şiddeti	Üretim	Üretim	Üretim
6,362	5,684	6,315	683,435	625,698	600,657
6,018	5,442	5,940	589,813	542,508	543,941
6,265	5,614	6,240	664,071	610,587	602,419
6,039	5,392	5,998	611,751	557,907	533,586
6,307	5,589	6,293	669,218	609,953	577,929
6,055	5,404	6,010	593,351	538,786	538,314
6,462	5,731	6,344	678,425	613,148	646,471
6,036	5,303	5,980	582,951	519,226	540,728
5,891	5,236	5,917	571,414	519,219	541,608
6,067	5,460	6,106	604,279	551,908	565,084
6,111	5,476	6,031	604,241	549,375	585,191
5,752	5,153	5,806	540,650	493,987	512,366
5,698	5,128	5,675	513,316	471,632	500,001
5,873	5,252	5,899	568,135	518,131	534,470
5,809	5,199	5,736	547,926	499,461	552,870

Gerçek Değerler	Çoklu-NTYV	Çoklu regr.	Gerçek Değerler	Çoklu-NTYV	Çoklu regr.
Jeneratör Sıcaklık	Jeneratör Sıcaklık	Jeneratör Sıcaklık	Jeneratör Sıcaklık	Reaktif Güç	Reaktif Güç
78,435	69,874	75,748	32,379	29,535	32,262
75,161	67,236	74,368	36,487	33,768	33,700
77,605	69,344	75,816	34,405	31,415	33,734
74,924	66,528	74,774	34,856	32,002	32,803
78,824	69,990	75,456	35,291	32,083	31,595
77,076	68,280	74,596	38,360	35,388	33,988
79,770	70,139	78,153	34,601	31,617	38,264
77,321	67,823	74,731	38,034	34,870	35,193
76,928	68,581	74,523	35,203	32,324	34,262
79,358	70,437	75,598	38,418	35,365	35,300
76,787	69,815	76,010	36,700	33,789	36,841
76,440	68,213	73,478	36,074	33,136	33,771
75,541	67,685	72,747	32,964	30,311	31,594
76,030	67,653	74,124	38,280	35,113	33,653
73,120	64,993	74,787	34,404	31,531	36,448

Çizelge N2 : Söke RES Çoklu-NTYV ve doğrusal çoklu regresyon tahmin sonuçları (1-aylık veri).

Gerçek Değerler	Çoklu-NTYV	Çoklu regr.	Gerçek Değerler	Çoklu-NTYV	Çoklu regr.
Rüzgar Şiddeti	Rüzgar Şiddeti	Rüzgar Şiddeti	Üretim	Üretim	Üretim
7,066	6,296	5,512	801,954	740,204	491,500
6,580	5,869	5,449	710,260	635,683	461,515
6,980	6,226	5,324	771,900	710,920	444,832
5,970	5,330	5,473	665,910	613,303	461,410
7,060	6,319	5,513	800,080	739,274	506,496
7,030	6,264	5,435	762,070	695,008	471,547
7,370	6,567	5,351	858,230	786,139	456,359
6,990	6,235	5,558	758,800	698,855	518,527
7,160	6,351	5,688	882,020	814,104	547,307
7,211	6,439	5,476	823,340	763,236	498,056
7,244	6,454	5,709	822,650	770,823	546,597
7,047	6,258	5,577	794,140	734,580	534,191
7,067	6,261	5,750	848,060	792,936	529,758
6,939	6,141	5,795	768,460	713,131	549,033
6,882	6,097	5,711	726,860	673,799	550,661

Gerçek Değerler	Çoklu-NTYV	Çoklu regr.	Gerçek Değerler	Çoklu-NTYV	Çoklu regr.
Jeneratör Sıcaklık	Jeneratör Sıcaklık	Jeneratör Sıcaklık	Reaktif Güç	Reaktif Güç	Reaktif Güç
79,210	72,873	72,577	46,330	42,392	22,383
71,840	64,225	70,867	46,300	41,207	23,140
77,100	70,855	68,815	41,090	37,638	23,839
63,740	58,641	72,347	44,220	40,594	24,426
77,990	71,829	71,281	26,200	24,025	22,818
77,100	70,161	72,999	47,090	42,711	22,581
81,420	74,499	69,058	45,320	41,468	22,870
77,580	71,374	73,089	46,830	42,943	22,397
81,940	75,467	72,359	45,330	41,477	22,042
80,320	73,975	72,449	44,670	41,096	22,791
77,520	72,636	78,729	44,720	41,366	18,364
90,600	83,171	74,074	41,720	37,923	23,951
78,950	72,476	73,734	43,560	39,945	22,978
79,280	72,620	72,009	34,230	31,320	23,227
74,560	68,297	70,903	33,560	30,674	23,819

Çizelge N3 : Amasya RES Çoklu-NTYV ve doğrusal çoklu regresyon tahmin sonuçları (tam veri).

Gerçek Değerler	Çoklu-NTYV	Çoklu regr.	Gerçek Değerler	Çoklu-NTYV	Çoklu regr.
Rüzgar Şiddeti	Rüzgar Şiddeti	Rüzgar Şiddeti	Sıcaklık	Sıcaklık	Sıcaklık
7,410	6,697	5,193	11,788	12,699	9,490
7,263	6,300	6,800	11,746	10,164	9,207
7,328	6,433	6,145	11,215	10,014	8,816
7,616	6,602	6,175	11,724	8,385	8,936
7,533	6,265	6,559	11,880	10,272	9,170
7,897	6,763	7,198	11,610	10,038	9,035
7,699	6,534	6,660	11,962	10,280	8,993
7,318	6,254	6,164	12,541	10,819	9,051

Gerçek Değerler	Çoklu-NTYV	Çoklu regr.	Gerçek Değerler	Çoklu-NTYV	Çoklu regr.
Üretim	Üretim	Üretim	Vibrasyon	Vibrasyon	Vibrasyon
149,843	135,941	172,311	6,851	6,233	13,459
158,618	137,383	173,711	12,324	11,155	15,926
152,823	135,630	176,997	9,503	8,597	16,270
153,874	133,182	178,376	10,554	9,493	17,171
163,875	140,847	182,428	9,591	8,510	14,779
176,552	152,117	191,627	8,034	7,085	12,739
166,145	141,980	187,591	9,557	8,446	15,631
163,328	140,624	190,510	9,292	8,289	16,971

Çizelge N4 : Amasya RES Çoklu-NTYV ve doğrusal çoklu regresyon tahmin sonuçları (1-aylık veri).

Gerçek Değerler	Çoklu-NTYV	Çoklu regr.	Gerçek Değerler	Çoklu-NTYV	Çoklu regr.
Rüzgar Şiddeti	Rüzgar Şiddeti	Rüzgar Şiddeti	Sıcaklık	Sıcaklık	Sıcaklık
9,055	7,959	8,843	17,797	15,572	18,291
8,662	8,021	9,058	17,764	16,521	18,681
8,858	7,777	8,337	17,569	15,461	16,867
8,892	7,603	8,384	17,499	14,524	17,243
9,433	7,358	9,190	18,072	15,180	18,985
9,182	7,979	9,598	17,821	15,576	20,143
9,247	8,276	9,066	17,788	15,991	18,798
8,669	7,409	8,937	18,863	17,033	18,255

Gerçek Değerler	Çoklu-NTYV	Çoklu regr.	Gerçek Değerler	Çoklu-NTYV	Çoklu regr.
Üretim	Üretim	Üretim	Vibrasyon	Vibrasyon	Vibrasyon
206,052	186,935	221,304	7,466	6,757	8,315
214,518	199,716	222,793	9,906	9,054	11,072
195,657	182,157	201,315	10,448	9,717	10,850
196,210	169,825	210,606	9,201	8,373	9,067
250,948	210,043	244,294	11,170	10,053	12,791
232,461	203,868	229,457	9,738	8,784	13,001
212,296	191,066	231,509	11,010	9,942	9,785
223,372	191,653	224,029	10,517	9,497	10,158

Çizelge O.1 : Amasya RES rüzgar şiddeti hariç çoklu-NTYV tahmin katsayıları.

Türbin No	Mesafe (m)	Sıcaklık	Üretim	Vibrasyon DK
T1	0	0,903	0,898	0,918
T2	305	0,859	0,860	0,908
T3	526	0,888	0,881	0,903
T4	716	0,685	0,856	0,896
T9	1948	0,850	0,844	0,880
T13	2926	0,853	0,885	0,875
T14	3516	0,845	0,838	0,876
T16	4878	0,848	0,845	0,886

Çizelge O.2 : Amasya RES sıcaklık hariç çoklu-NTYV tahmin katsayıları.

Türbin No	Mesafe (m)	Rüzgar Şiddeti	Üretim	Vibrasyon DK
T1	0	0,903	0,908	0,907
T2	305	0,859	0,856	0,905
T3	526	0,888	0,891	0,910
T4	716	0,860	0,858	0,901
T9	1948	0,850	0,858	0,893
T13	2926	0,853	0,859	0,886
T14	3516	0,845	0,852	0,889
T16	4878	0,848	0,856	0,894

Çizelge O.3 : Amasya RES üretim hariç çoklu-NTYV tahmin katsayıları.

Türbin No	Mesafe (m)	Rüzgar Şiddeti	Sıcaklık	Vibrasyon DK
T1	0	0,898	0,908	0,902
T2	305	0,860	0,856	0,905
T3	526	0,881	0,891	0,906
T4	716	0,856	0,678	0,896
T9	1948	0,818	0,858	0,886
T13	2926	0,848	0,859	0,881
T14	3516	0,838	0,852	0,883
T16	4878	0,845	0,856	0,893

Çizelge O.4 : Amasya RES vibrasyon hariç çoklu-NTYV tahmin katsayıları.

Türbin No	Mesafe (m)	Rüzgar Şiddeti	Sıcaklık	Üretim
T1	0	0,929	0,939	0,935
T2	305	0,923	0,929	0,931
T3	526	0,920	0,927	0,924
T4	716	0,922	0,691	0,907
T9	1948	0,868	0,922	0,912
T13	2926	0,894	0,907	0,901
T14	3516	0,900	0,915	0,907
T16	4878	0,911	0,919	0,920

Çizelge O.5 : Amasya RES yükseklik hariç çoklu-NTYV tahmin katsayıları.

Türbin No	Rüzgar Şiddeti	Sıcaklık	Üretim	Vibrasyon DK
T1	0,882	0,893	0,886	0,901
T2	0,830	0,820	0,822	0,883
T3	0,845	0,859	0,845	0,880
T4	0,834	0,637	0,831	0,882
T9	0,800	0,841	0,835	0,870
T13	0,842	0,852	0,848	0,872
T14	0,827	0,840	0,834	0,870
T16	0,832	0,843	0,840	0,877

Çizelge P.1: Söke RES rüzgar şiddeti hariç çoklu-NTYV tahmin katsayıları.

Türbin No	Mesafe (m)	Üretim	Jeneratör Sıcaklık	Reaktif güç
T1	0	0,908	0,871	0,904
T2	602	0,914	0,873	0,922
T3	529	0,913	0,873	0,905
T4	576	0,902	0,865	0,912
T5	1060	0,899	0,867	0,898
T6	946	0,897	0,863	0,918
T7	1550	0,895	0,859	0,908
T8	1398	0,878	0,862	0,910
T9	1865	0,894	0,868	0,909
T10	2086	0,909	0,873	0,917
T11	2505	0,903	0,903	0,918
T12	2350	0,904	0,874	0,912
T13	2716	0,911	0,878	0,913
T14	2888	0,903	0,872	0,911
T15	3208	0,902	0,873	0,911

Çizelge P.2: Söke RES üretim hariç çoklu-NTYV tahmin katsayıları.

Türbin No	Mesafe (m)	Rüzgar Şiddeti	Jeneratör Sıcaklık	Reaktif güç
T1	0	0,908	0,902	0,936
T2	602	0,914	0,901	0,942
T3	529	0,913	0,906	0,937
T4	576	0,902	0,894	0,940
T5	1060	0,899	0,899	0,937
T6	946	0,897	0,888	0,941
T7	1550	0,895	0,884	0,936
T8	1398	0,878	0,876	0,940
T9	1865	0,894	0,896	0,938
T10	2086	0,909	0,893	0,940
T11	2505	0,903	0,884	0,941
T12	2350	0,904	0,898	0,941
T13	2716	0,911	0,904	0,943
T14	2888	0,903	0,895	0,941
T15	3208	0,902	0,893	0,941

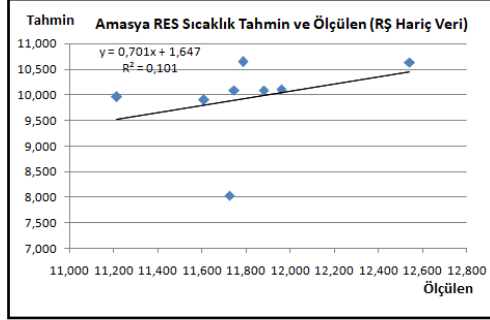
Çizelge P.3: Söke RES jeneratör sıcaklığı hariç çoklu-NTYV tahmin katsayıları.

Türbin No	Mesafe (m)	Rüzgar Şiddeti	Üretim	Reaktif güç
T1	0	0,871	0,902	0,899
T2	602	0,871	0,901	0,909
T3	529	0,873	0,906	0,900
T4	576	0,865	0,894	0,904
T5	1060	0,867	0,899	0,898
T6	946	0,863	0,888	0,907
T7	1550	0,859	0,884	0,897
T8	1398	0,862	0,876	0,795
T9	1865	0,868	0,896	0,824
T10	2086	0,873	0,893	0,900
T11	2505	0,866	0,884	0,900
T12	2350	0,874	0,898	0,906
T13	2716	0,878	0,904	0,907
T14	2888	0,872	0,895	0,903
T15	3208	0,873	0,893	0,902

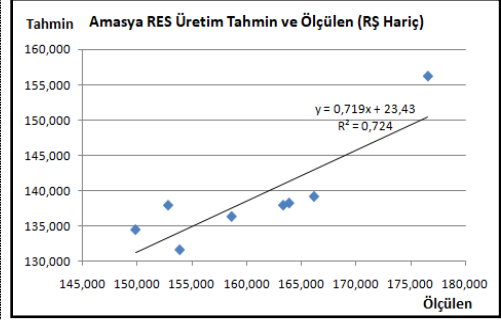
Çizelge P.4: Söke RES reaktif güç hariç çoklu-NTYV tahmin katsayıları.

Türbin No	Mesafe (m)	Rüzgar Şiddeti	Üretim	Jeneratör Sıcaklık
T1	0	0,904	0,936	0,899
T2	602	0,922	0,942	0,909
T3	529	0,905	0,937	0,900
T4	576	0,912	0,940	0,904
T5	1060	0,898	0,937	0,896
T6	946	0,918	0,941	0,907
T7	1550	0,908	0,936	0,897
T8	1398	0,910	0,940	0,904
T9	1865	0,909	0,938	0,908
T10	2086	0,917	0,940	0,900
T11	2505	0,918	0,943	0,941
T12	2350	0,912	0,941	0,906
T13	2716	0,913	0,941	0,907
T14	2888	0,911	0,940	0,903
T15	3208	0,911	0,941	0,902

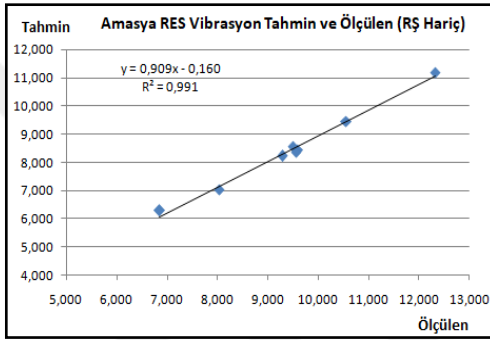
EK R.1: Amasya RES Rüzgar Şiddeti ve Üretim Hariç Saçılma Diyagramları



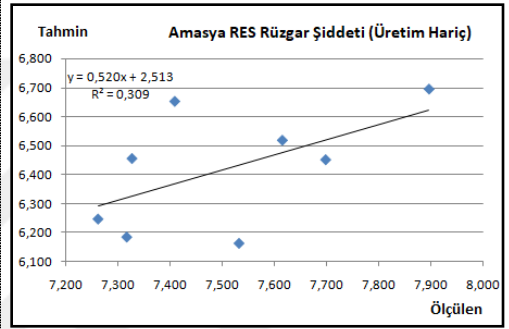
(a)



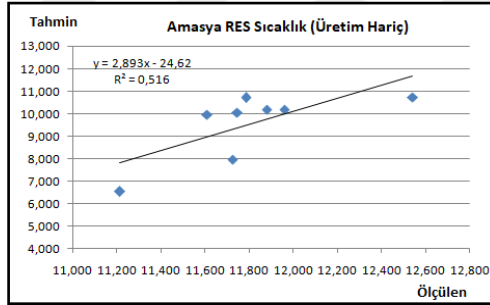
(b)



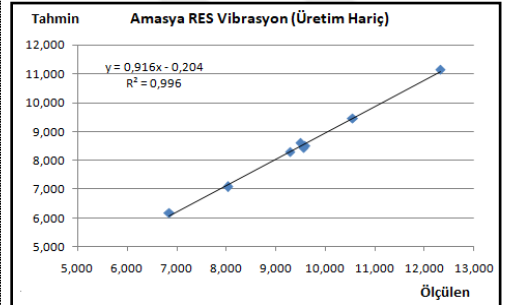
(c)



(d)



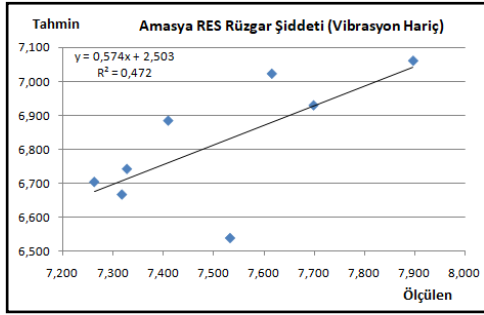
(e)



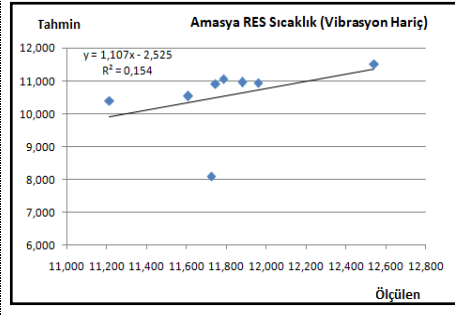
(f)

Şekil R.1: Amasya RES RŞ ve Üretim Hariç Saçılma Diyagramı.

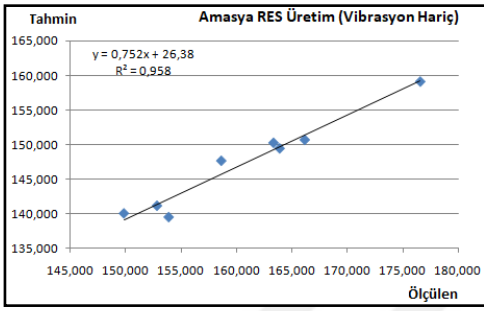
EK R.2: Amasya RES Vibrasyon ve Yükseklik Hariç Saçılma Diyagramları



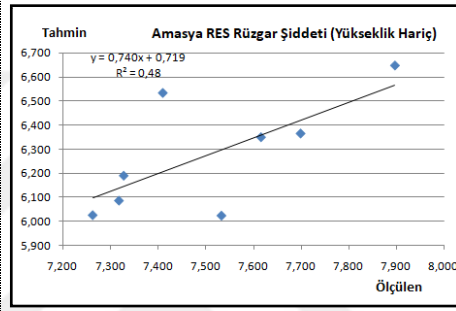
(a)



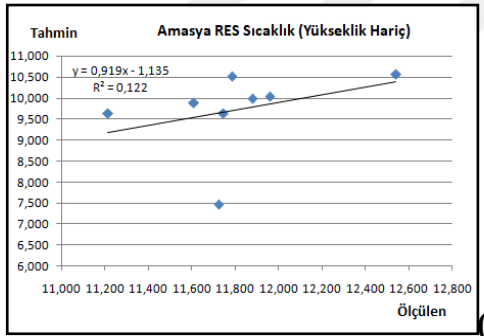
(b)



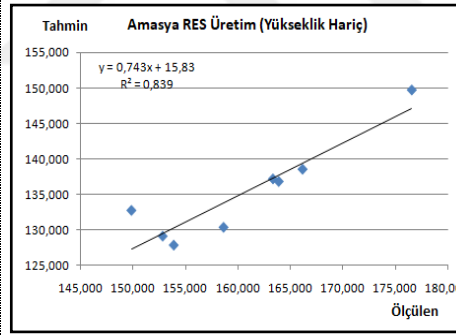
(c)



(d)



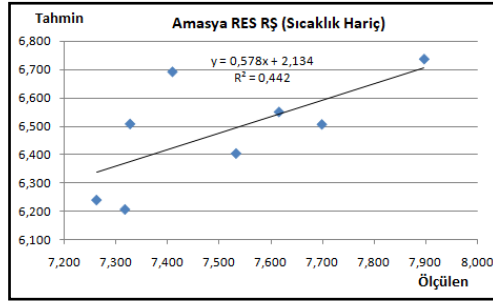
(e)



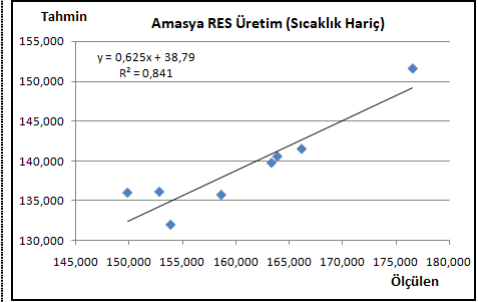
(f)

Şekil R.2: Amasya RES Vibrasyon ve Yükseklik Hariç Saçılma Diyagramı.

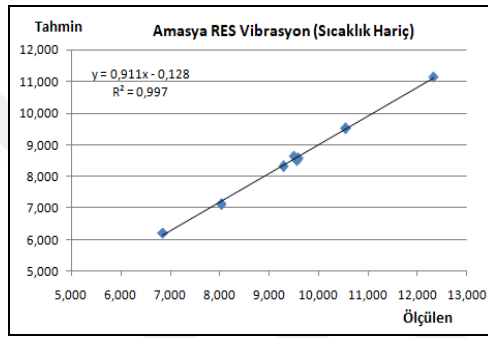
EK R.3: Amasya RES Sıcaklık Hariç Saçılma Diyagramları



(a)



(b)

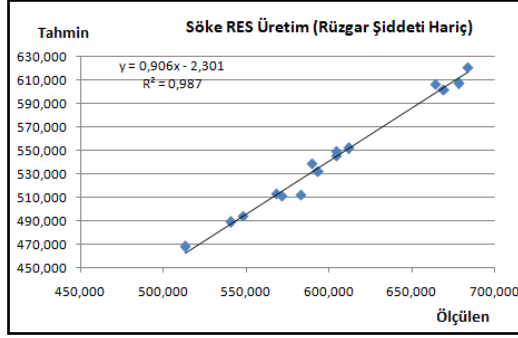


(c)

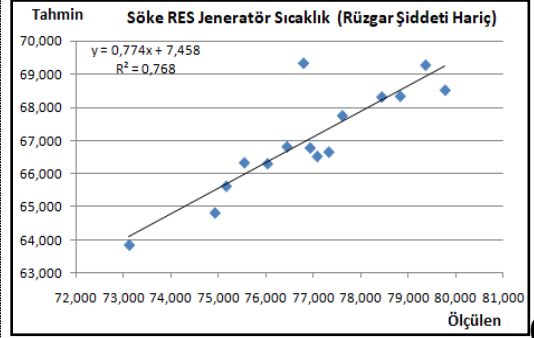
Şekil R.2: Amasya RES Sıcaklık Hariç Saçılma Diyagramı.



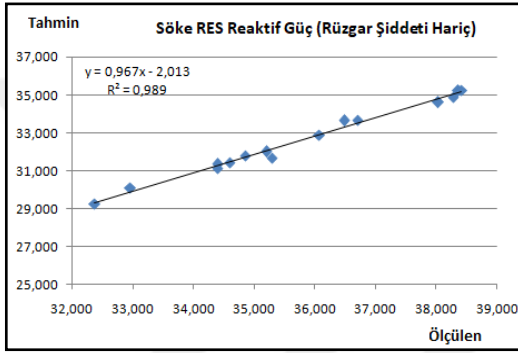
EK S.1: Söke RES Rüzgar Şiddeti ve Üretim Hariç Saçılma Diyagramları



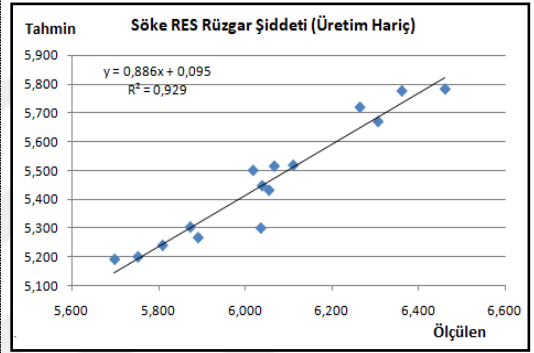
(a)



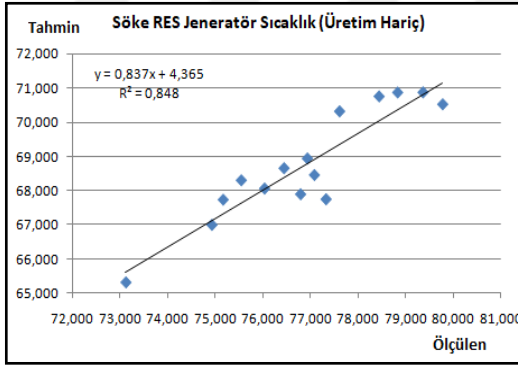
(b)



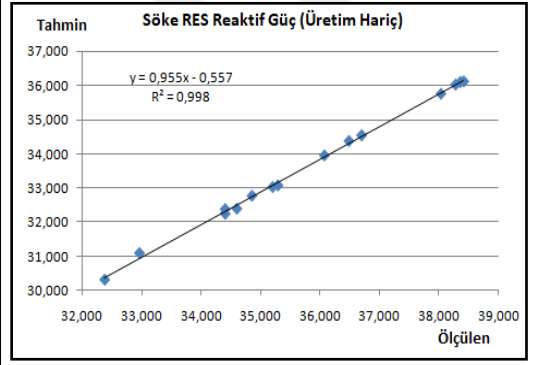
(c)



(d)



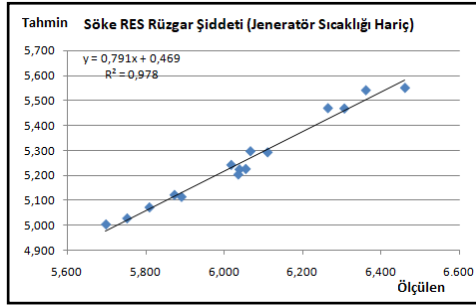
(c)



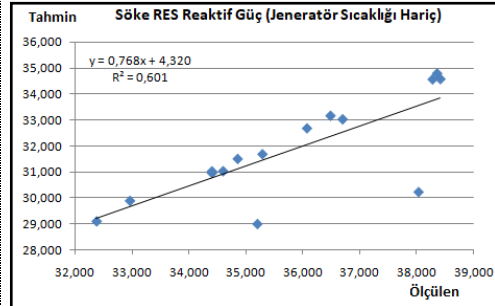
(d)

Şekil S.1: Söke RES RŞ ve Üretim Hariç Saçılma Diyagramları

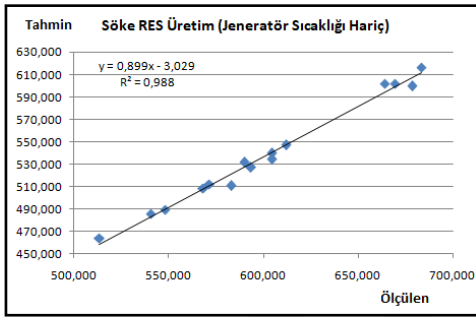
EK S.2: Söke RES Jeneratör Sıcaklığı ve Reaktif Güç Hariç Saçılma Diyagramları



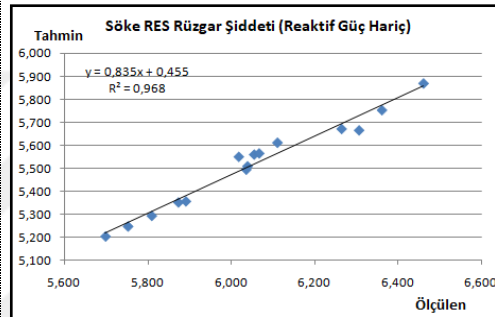
(a)



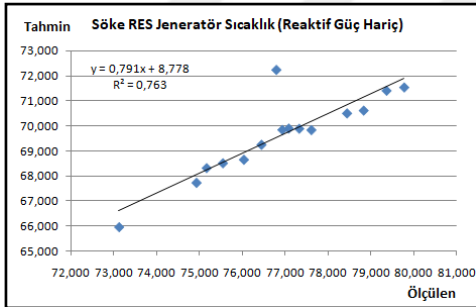
(b)



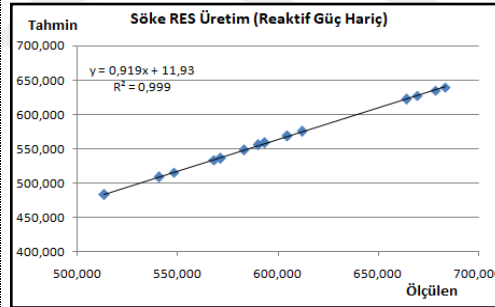
(c)



(d)



(c)



(d)

Şekil S.2. Söke RES Jeneratör Sıcaklığı ve Reaktif Güç Hariç Saçılma Diyagramları





ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Murat Durak
Doğum Tarihi ve Yeri : 22.08.1971 - Şanlıurfa
E-posta : md@enermet.com.tr - mdurak71@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 1997, İTÜ, Uçak ve Uzay Bil. Fak. Meteoroloji Müh. Böl.
- **Yüksek lisans** : 2000, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 1997- 2001 arasında AKEN Akhisar Temiz Enerji Üretim San. ve Tic. A.Ş.'de Rüzgar Enerjisi Koordinatörü olarak çalıştı.
- 2001 -2004 yılları arasında Umweltkontor Yenilenebilir Enerji A.Ş.'de Ülke Müdürlüğü yaptı.
- 2004 – 2008 yılları arasında GAMA Güç Sistemleri Mühendislik ve Taahhüt A.Ş.'de Kıdemli Proje Müdürü olarak çalıştı.
- 2008'den bu yana ENERMET Enerji Meteoroloji Müşavirlik ve Mühendislik A.Ş.'de Şirket Müdürü olarak çalışmaktadır.

DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Durak, M., Şahin, A.D.** 2017. Alansal Yarıvariogram Yöntemi İle Kısa Süreli Rüzgar Enerjisi Tahmini, 4. İzmir Rüzgar Enerjisi Sempozyumu, 27-30 Eylül, 2017. İzmir.

- **Durak, M.**, 2018. Rüzgar Enerji Santralleri Üretim ve İşletme Değişkenlerinin Çoklu-Yarıvარიogram Yöntemi İle Alansal Tahmini, İTÜ Sunumu, 15 Mart, 2018. İstanbul.

Diğer Yayınlar, Sunumlar ve Patentler:

Journal

Durak, M. ve Şen, Z., 2002. Wind power potential in Turkey and Akhisar case study. Renewable Energy 25, Pergamon, 463-472.

Sempozyum

1. **Durak, M.** ve Şaylan, L., 1997. Ekstrem sıcaklıkların bitkisel üretime etkilerinin CRPSM modeli ile analizi, Meteorolojik Karakterli Doğal Afetler Sempozyumu, 7-9 Ekim, Ankara.
2. Şaylan, L., **Durak, M.**, ve Şen, O., 1997. Kuraklık ve etkileri, Meteorolojik Karakterli Doğal Afetler Sempozyumu, 7-9 Ekim, Ankara.
3. Şaylan, L., Eitzinger, J., ve **Durak, M.**, 1998. Influence of climatic change on maize growth, Second Trabzon International Energy and Environment Symposium, 26-28 July, Trabzon, Sf. 573-575.
4. Şaylan, L., **Durak, M.**, ve Çaldağ, B., 1998. Dünya’da ve Türkiye’de bitki-iklim (bitki gelişimi) modelleri, Tarım ve Orman Meteorolojisi Sempozyumu, 21-23 Ekim, İstanbul, Sf. 275-283.
5. **Durak, M.**, ve Şaylan, L., 1998. İklim değişiminin tarımsal meteorolojik etkilerinin modellerle belirlenmesi, Tarım ve Orman Meteorolojisi Sempozyumu, 21-23 Ekim, İstanbul, Sf. 292-295.
6. **Durak, M.**, 2000. Dünya’da ve Türkiye’de rüzgar enerjisinin durumu. 1. Çevre ve Teknoloji Sempozyumu, İstanbul, Sf. 437-444.
7. **Durak, M.**, Çaldağ, B. ve Şaylan, L., 2000. Rüzgar enerjisinin tarımda kullanımı, III. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, 15-17 Kasım, İstanbul, Sf. 365-374.
8. **Durak, M.**, ve Şen, Z., 2000. Akhisar rüzgar elektrik santralı için rüzgar türbini mikrokonuslandırması, III. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, 15-17 Kasım, İstanbul, Sf. 291-298.
9. **Durak, M.**, 2002. Yenilenebilir enerji kaynaklarına verilen teşvikler ve hedefler, IV. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, 16-18 Ekim, İstanbul, Sf. 29-36.
10. **Durak, M.**, 2002. Avrupa ülkelerinde rüzgar enerjisi projelerine verilen teşvikler ve Türkiye için öneriler, Yenilenebilir Enerjiler ve Rasyonel Enerji Kullanımı, 10-11 Eylül, İstanbul, Sf. 81-87.
11. **Durak, M.**, ve Çaldağ, B., 2003. Avrupa ülkelerinde rüzgar enerjisine yatırımlarına verilen teşvikler ve Türkiye için öneriler, III. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu, 19-21 Mart, İstanbul, Sf. 448-454.
12. **Durak, M.**, 2004. Measnet standartlarına göre yapılan cup anemometre kalibrasyon yöntemi, V. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, 26-28 Mayıs, İstanbul.
13. **Durak, M.**, ve Johannes, C., 2004. Elektrik piyasası lisans yönetmeliği uygulamaları, V. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, 26-28 Mayıs, İstanbul.
14. **Durak, M.**, 2004. Yenilenebilir enerji santralleri (YES) için finansman modelleri: Proje ve Sendikasyon kredisi, V. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, 26-28 Mayıs, İstanbul.
15. **Durak, M.**, 2006. Turkish Renewable Energy Market, 8th German Wind Energy Conference, 22-23 November, Bremen, Germany.

16. **Durak, M.**, 2016. Rüzgar Elektrik Santral (RES) Projesi ve Meteoroloji Mühendisliği, 10. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, 24-26 Ekim, İstanbul.
17. **Durak, M.**, Şahin, A.D., 2017. Alansal Variogram Yöntemi ile Rüzgar Enerjisi Tahmini, 4. Rüzgar Enerjisi Sempozyumu, İzmir. 28-30 Eylül, İzmir.

Dergi

1. **Durak, M.**, 2000. Bakış: Rüzgar enerjisi ve Türkiye, Ekovizyon Dergisi, Sayı 29, Sf. 64-66.
2. **Durak, M.**, 2000. Rüzgar enerjisi ve Türkiye’de kullanımı. Orman Mühendisliği Dergisi, Mart, Sayı 3, Sf. 4-7.
3. **Durak, M.**, ve Şen, Z., 2001. Akhisar rüzgar elektrik santrali için rüzgar türbini mikrokonuslandırması, Elektrik Dergisi, Ocak, Sayı 142, Sf. 130-133.
4. **Durak, M.**, 2001. Küçük rüzgar türbinleri: Dünya’da ve Türkiye’de durum, Çevre ve Mühendis, ÇMO Dergisi, Sayı 21-22, Sf. 44-45.
5. **Durak, M.**, 2001. Rüzgar elektrik santralleri için uluslararası kredi-finansman olanakları, Çevre ve Mühendis, ÇMO Dergisi, Sayı 21-22, Sf. 46-47.
6. **Durak, M.**, 2002. Avrupa ülkelerinde rüzgar enerjisine yatırımlarına verilen teşvikler ve Türkiye için öneriler, 3e Electrotech Dergisi, Aralık, Sayı 103, Sf. 88-93.
7. **Durak, M.**, 2002. Dünya’da belirlenen hedeflere göre yenilenebilir enerji kaynaklarına kim nasıl teşvik veriyor? Energate Dergisi, Sayı 4, Sf. 60-62.
8. **Durak, M.**, 2002. Neden hazine garantisi? Energate Dergisi, Sayı 1, Sf. 62-63.
9. **Durak, M.**, 2004. Fransa ve Yenilenebilir Enerji, Energate Dergisi, Sayı 1, Sf. 24-26.
10. **Durak, M.**, 2004. Belçika ve Yenilenebilir Enerji, Energate Dergisi, Sayı 2, Sf. 36-37.
11. **Durak, M.**, 2007. Monopol ve Liberal Elektrik Piyasalarının Karşılaştırılması, 3e Aylık Enerji, Elektrik, Elektronik Teknolojileri Dergisi, Sayı 3, Sf. 34-37.

Kitap

Erdun, H. ve **Durak, M.**, 1999. Uzman C++ Programlama, Beta Yayınları, İstanbul.

Durak, M. ve Özer, S., 2008. Rüzgar Enerjisi : Teori ve Uygulama, Ajans Press, Ankara.

Durak, M. ve Özer, S., 2012. Güneş Enerjisi : Teori ve Uygulama, Enermet Enerji A.Ş. Yayını, Ankara.