

ÇOKLU NOKTASAL TOPLAM YARIVARIOGRAM ALANSAL TAHMİN MODELİ GELİŞTİRİLMESİ VE SÖKE RES ÜRETİM VE İŞLETME VERİLERİNE UYGULANMASI

Dr Murat Durak¹ ve Ahmet Duran Şahin²

1: Meteoroloji Mühendisi (md@enermet.com.tr)

2: Prof Dr, İTÜ Meteoroloji Mühendisliği Bölümü (sahind@itu.edu.tr)

ÖZET

Bu makalenin konusu, Aydın İli Söke İlçesinde bulunan 30 MW kurulu güçlü rüzgar elektrik santralının (RES) işletme değişkenlerinin alansal tahmininin çoklu noktasal toplam yarivariogram alansal tahmin yapılmasıdır. Yapılan çalışmada noktasal toplam yarivariogram yöntemi geliştirilerek çoklu noktasal toplam yarivariogram (NTYV) yöntemi önerilmiştir ve incelenen değişkenlerin alansal tahmini yapılmıştır. Söke RES'te 15 adet 2 MW dişli kutulu rüzgar türbini bulunmaktadır. İncelenen ve alansal tahmini yapılan değişkenler, mesafe, rüzgar şiddeti, üretim, jeneratör sıcaklığı ve reaktif güçtür. Santral sahası düz bir ovada bulunduğu için dolaylı homojen bir yapıya sahiptir. İncelenen her bir rüzgar türbin verisi %70 eğitim ve %30 test verisine ayrılmış olup; çoklu-NTYV %70'e ait saha katsayılarından elde edilen katsayılar %30 ölçülmüş veri ile edilmiştir. Daha sonra sonuçlar %30 test verisi ile karşılaştırılmıştır. Bulunan sonuçlar tahmin doğruluğunun ölçülmüş değere %90-%95 arasında yaklaştığını göstermiştir. RES projeleri için bulunan verilen tahmin aralığı oldukça 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. Aynı süreç 1 aylık veriler de uygulanmış olup önerilen çoklu-NTYV yönteminden daha iyi sonuçlar alınmıştır. Alansal modelleme için bütün değişkenler tek tek çıkarılarak hangi değişkenin alansal modellemeye negatif katkıda bulunduğu anlaşılmasına çalışılmıştır. Söke RES değişken çıkarılarak yapılan alansal modelleme senaryo sonuçları da verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Variogram – Çoklu Noktasal Toplam Yarivariogram – Alansal Tahmin – Rüzgar Elektrik Santrali

1. GİRİŞ

Dünyada 2018 yılı sonu itibarı ile 550.000 MW'a yakın RES kurulu gücü bulunmaktadır. Böyle büyük bir kurulu gücün üretim ve iletim sistem planlaması ve santral değişkenlerinin aralarındaki etkileşim büyük önem arz etmektedir. Alansal modelleme kavramı, jeostatistik uygulamalarda çok kullanılsa da; son yıllarda meteoroloji biliminde kullanımı gittikçe artmaktadır. 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.

Noktasal Toplam Yarivariogram yöntemi (NTYV), Şen [1] tarafından geliştirilmiş bir yöntemdir. Meteorolojide ilk önceleri yağışın alansal modellemesi konusunda çalışılmıştır. Yıllık yağışın alansal modellemesi konusunda en bilinen yöntem Thieses Poligon Yöntemi'dir. Şen [2] tarafından bu yönteme izohiyet yöntemi önerisi getirilmiştir. Şen ve Habib [3] tarafından yağış verilerine uygulanmıştır. Hevesi ve ark. [4], çoklu jeostatistik yöntemlerini yağış hesaplamalarında kullanmışlardır. Şen ve Şahin [5,6] NTYV modelini rüzgar enerjisi alansal tahminleri için kullanmıştır. Hava kirliliği alanında alansal tahmin konularında çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Öztopal [7], İstanbul'un hava kirliliği yarivariogram haritalarını

oluşturmuştur. Öztopal ve Şen [8], NTYV yöntemini kullanarak İstanbul hava kirliliği verilerinin tesir yarıçaplarını hesaplamada kullanmışlardır. Tarawneh ve Şen [9], Ürdün'deki yağışların yarıvarioram tekniği ile alansal modellemesi konusunda çalışmıştır. Rüzgar enerjisi uygulamalarında da alansal modelleme ile ilgili çalışmalar artış göstermektedir. Şahin [10], 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. Şahin [10], Trigonometrik Noktasal Toplam Yarıvarioram (TNTYV) yöntemini geliştirmiştir.

2. ÇALIŞMA UYGULAMA ALANI VE İNCELENEN VERİLER

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 (MWh), türbinler arası mesafe (m), rüzgar şiddeti (m/s), jeneratör sıcaklığı (°C) ve reaktif güç üretimi (MWh) verileri kullanılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Söke Çatalbük RES google earth görünümü.

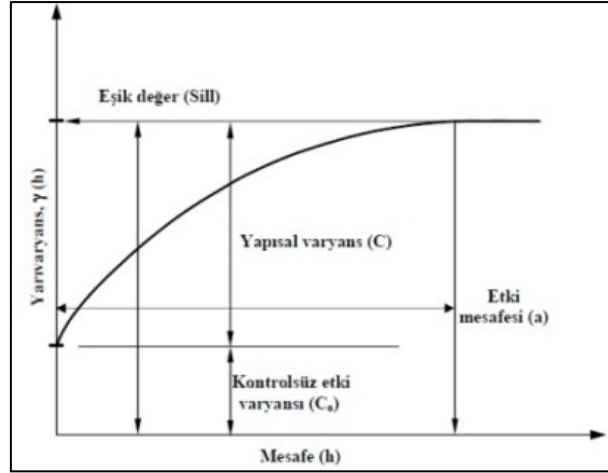
Yukarıdaki bilgiler ışığında incelenen Söke RES verilerine ait özet bilgiler aşağıdaki tabloda görülmektedir. Burada yaklaşık 4 yıllık üretim verilerinin ortalama değerleri görülmektedir. Sahada yıllık 6 m/s civarında rüzgar şiddeti olup Class III rüzgar türbinleri kullanılmıştır. Kullanılan veriler,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

Tablo 1. Söke RES özet veriler (ortalama değerler).

Türbin No	Mesafe (m)	Rüzgar Hızı (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. YARIVARIOGRAM KAVRAMI

Yarıvariogram, 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 [11]. İdeal bir yarıvariograma ait özellikler ve parametreleri aşağıdaki Şekil 2 ile görülmektedir.



Şekil 2. Yarıvariogram parametreleri.

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 [12]. Etki mesafesi (range, a), 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. 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.

3.1 Değişkenlerin Alansal Dağılımı

Alansal dağılım veya uzaysal değişkenlik, alan değişkenlerinin temel bir özelliği olup teknik bilimlerde önemli bir yer tutar [13]. Konu ile ilgili yapılan ilk çalışmalar Matheron [14, 15] tarafından yapılmıştır. 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 alansal ilişki yapısı olarak tarif edilir. Atmosferik olayların incelenmesinde kullanılan yarıvariogram

$$Yh = \sum_i^{i-n} (X_i - X_{i+h})^2 / 2n \quad (1)$$

şeklinde ifade edilir. Formülde kullanılan X_i , BD'nin ölçülen değeri; X_{i+h} ise h mesafe sonraki değişkenin ölçülmüş değerini ifade etmektedir [16]. 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 mesafelerin sıfır ise, aslında her noktadaki değer kendisiyle karşılaştırılıyor demektir. Böylece, bütün farklar ve yarıvariogram değeri de sıfır olacaktır.

3.2 Noktasal Toplam Yarıvariogram (NTYV)

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 ilişkide yarıvariogram yaklaşımı doğru sonuçlar vermemektedir. Bu hususun aşılabilmesi için Şen [1] tarafından yapılan çalışmada noktasal toplam yarıvariogram (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, daha çok yer bilimlere çalışmalarında kullanılmış ve yine Şen [2] tarafından hava kirliliği konusunda çalışılarak atmosfer bilimlerine uygulanmıştır. X_r , referans noktası ve, h_1, \dots, h_n bu referans noktası ile diğer noktalar arasındaki mesafeler olmak üzere değişim karesinin beklenen değeri,

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

ve yarıvariogram da

$$Y(h_i) = \frac{1}{2(n-1)} \sum_{i=1}^n (X_r - X_{h_i})^2 \quad (3)$$

olarak yazılabilir. 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 her birisinin en büyük değerine bölünebilir. $y(h_n)$ de en büyük yarıvariogram ve h_n , ise en büyük mesafe değeri olmak üzere;

$$y_{st}(h_i) = \frac{y(h_i)}{y(h_n)} \quad i = 1, \dots, \dots, n \quad (4)$$

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_i olmak üzere

$$(SAB)_i = w(h_{st,i}) = 1 - y_{st}(h_i) \quad (5)$$

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;

$$A = w(h_{st,1}) + w(h_{st,2}) + \dots + w(h_{st,n}) \quad (6)$$

$$X_T = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^n X_i w(h_{st,i}) \quad (7)$$

değerlerini bulunması gerekmektedir. A, tesir katsayılarının ağırlıklı ortalamaya etkisini temsil ederken, X_T ise sonuç olarak alan esaslı ağırlıklı ortalama tahmin değerini vermektedir. NTYV sürecinden sonra aşağıdaki adımlar izlenerek standartlaştırılma sağlanmıştır.

$$y_{st}(h_i) = \frac{y(h_i)}{y(h_n)} \quad i = 1, \dots, \dots, n \quad (8)$$

$$h_{st,i} = \frac{h_i}{h_n} \quad i = 1, \dots, \dots, n \quad (9)$$

$$(SBK)_i = w(h_{st,i}) = 1 - y_{st}(h_i) \quad (10)$$

Şimdiye kadar anlatılanları özetlemek gerekir ise noktasal toplam yarıvariogramın (NTYV) hesaplanabilmesi için aşağıdaki adımların izlenmesi gerekmektedir;

- i- Referans bir nokta seçilmeli ve seçilen bu nokta ile diğer noktalar arasındaki mesafeler hesaplanmalıdır. Eğer, n tane nokta varsa, mesafe sayısı da n-1 tane olacaktır. Bu noktalar küçükten büyüğe doğru sıralanmalıdır,
- ii- Seçilen referans nokta ile diğer noktalar arasındaki değerlerin farklarının karelerinin ardışık toplamlarının alınması ve yarıvariogram olabilmesi için her değer yarıya bölünmesi gerekir,
- iii- Herbir noktanın mesafe değerlerine (X ekseninde) karşılık gelen NTYV değerleri Y ekseninde işaretlenir,
- iv- Elde edilen fonksiyonun X ekseninde mesafeler ve Y ekseninde ise NTYV değerleri hesaplanmış olacaktır. Bunların nokta-alan ilişkilendirme hesaplamalarında kullanabilmek için, her bir noktadaki değerler en büyük değerlere bölünerek standart ve birimsiz hale getirilir.
- v- Objektif analiz yöntemine göre mesafeler arttıkça tesir de azalacaktır. Buna dayanarak standartlaştırılmış değerleri, l'den çıkarılır ve en büyük değere bölünür ve SAB fonksiyonu bulunmuş olunur.
- vi- İncelenen her nokta için bulunan SAB fonksiyonunda noktalar arasındaki mesafelere göre ağırlıklı ortalamalar alınır ve alansal tahminler yapılır.

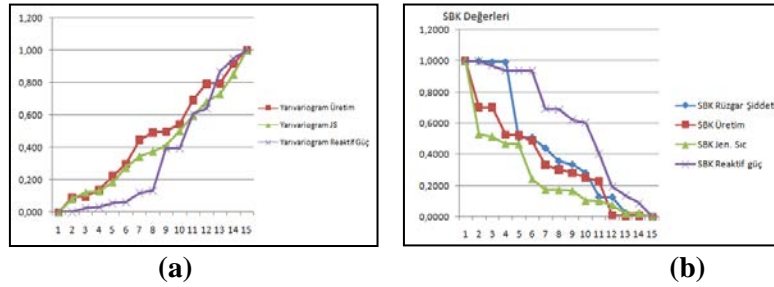
4. ÇOKLU NOKTASAL TOPLAM YARIVARIÖGRAM UYGULAMASI

Tablo 2 ile yukarıda anlatılan süreç, Söke RES projesinde rastgele seçilen 10 nolu rüzgâr türbinine ait rüzgâr şiddeti değişkeninin NTYV ve standartlaştırma süreci ve değerleri görülmektedir.

Tablo 2. Söke 10 nolu rüzgâr türbinine ait değerler rüzgâr şiddeti yarıvariogram ve standartlaştırma süreci.

Türbin No	Mesafe (m)	Rüzgâr Şiddeti (m/s)	Variogram Değerleri	Ardışık Toplama	Yarıvario. Değerleri	Standart Yarıvario.	Standart Mesafe	Alan Bağımlı Katsayısı	Standart RŞ Değeri
T10	0	5,895	0,0000	0,0000	0,0000	0,000	0,000	1,000	0,942
T11	425	5,951	0,0031	0,0031	0,0016	0,006	0,194	0,994	0,951
T12	451	5,600	0,0870	0,0902	0,0451	0,170	0,206	0,830	0,895
T9	465	5,748	0,0216	0,1118	0,0559	0,211	0,213	0,789	0,918
T7	563	6,260	0,1332	0,2450	0,1225	0,462	0,258	0,538	1,000
T8	721	5,760	0,0182	0,2632	0,1316	0,496	0,330	0,504	0,920
T14	852	5,697	0,0392	0,3024	0,1512	0,570	0,390	0,430	0,910
T13	869	5,517	0,1429	0,4453	0,2227	0,839	0,398	0,161	0,881
T5	1069	5,910	0,0002	0,4455	0,2228	0,840	0,489	0,160	0,944
T15	1159	5,773	0,0149	0,4604	0,2302	0,868	0,530	0,132	0,922
T6	1325	5,750	0,0210	0,4814	0,2407	0,908	0,606	0,092	0,919
T3	1560	5,970	0,0056	0,4871	0,2435	0,918	0,714	0,082	0,954
T4	1705	5,790	0,0110	0,4981	0,2490	0,939	0,780	0,061	0,925
T1	2086	5,967	0,0052	0,5033	0,2516	0,949	0,954	0,051	0,953
T2	2186	5,730	0,0272	0,5305	0,2653	1,000	1,000	0,000	0,915

Burada öncelikle türbinler mesafelere göre yakından uzağa şekilde dizilmiştir. Bütün diğer rüzgar türbinlerine ait rüzgar şiddeti değerleri, 10 nolu rüzgar türbininden çıkarılarak karesi alınarak variogram değerleri hesaplanmıştır. Sonraki adımda variogram değerlerinin ardışık toplamları hesaplanmıştır. Ardışık toplamların yarısı alınarak NTYV süreci bitirilmiştir. Tablo incelendiğinde her bir türbine ait farklı rüzgar şiddeti değerleri görülmektedir. Doğal olarak her bir türbinde, rüzgar şiddeti, jeneratör sıcaklığı, reaktif güç vb gibi değerler Micrositinge bağlı olarak değişiklikler gösterecektir. İncelenen RT10'dan uzaklaştıkça yarıvariogram değerleri de artış göstermektedir. Yarıvariogram değerleri, ardışık toplamın yarısı alındığından dolayı, sonuçların böyle çıkması doğaldır. Mesafe arttıkça 10 nolu rüzgar türbininin uzak mesafelerdeki türbinlere olan etkisinin azaldığı görülmektedir. NTYV süreci tamamlandıktan sonra verilerin ve yarıvariogram değerlerinin standartlaştırılması işlemine geçilmiştir. Burada incelenen rüzgar türbinine ait mesafe, alan bağımlılık katsayısı incelenen değişken (bu örnekte rüzgar şiddeti) ve NTYV değerleri standart hale getirilmiştir. Standartlaştırma sürecinde ölçülen değişken ve hesaplanan değerlerin, en yüksek değerine bölünmüştür. Alan bağımlılık katsayısı ise, 1 değerinden standart NTYV değerlerinin çıkarılması ile elde edilmiştir. Aşağıda verilen Şekil 3a ile Söke RES 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 3b ile incelendiğinde, mesafe arttıkça her iki değişken için olarak alan bağımlılık katsayısının azaldığı görülmektedir.

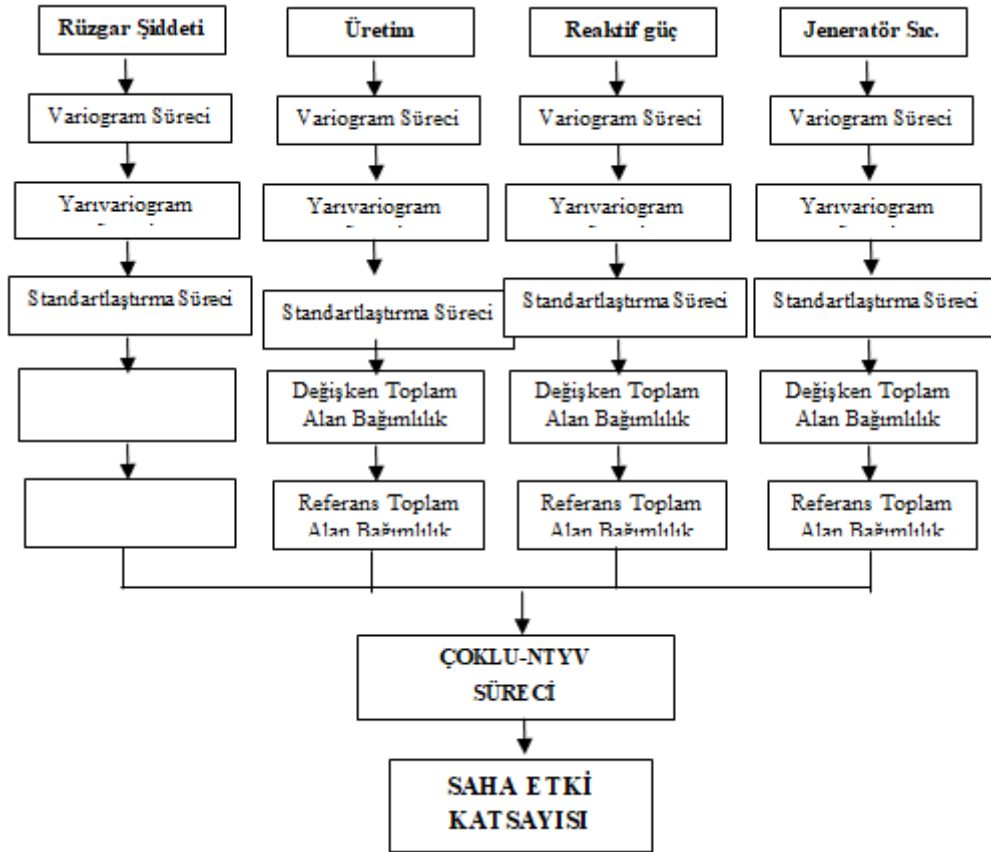


Şekil 3. Söke RES T7'e ait yarıvariogram grafiği.

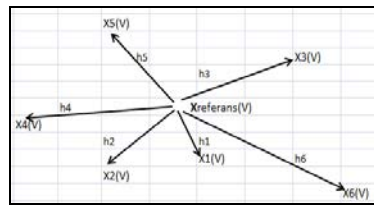
Çoklu-NTYV yönteminin ana amacı, incelenen bütün değişkenlerin kullanılarak alansal etki katsayısı geliştirilmesidir. NTYV iki nokta arasındaki ilişkiyi baz aldığından arazinin topoğrafik özellikleri hesaba katılmamaktadır. Çoklu-NTYV ile incelenen bütün değişkenler hesaba katıldığından sahanın topoğrafyası da hesaplamalara dahil edilmektedir. Yani incelenen değişken için sahayı temsil eden bir katsayı geliştirilmektedir. 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 [18]. Çoklu-NTYV yöntemi ile yeni bir alansal tahmin yöntemi geliştirilmeye çalışılmıştır. Yani, her bir türbin ve incelenen değişken için alandaki bütün değişkenlerin de hesaba katıldığı bir “Saha Etki Katsayısı” geliştirilmiştir. Şekil 4'te rüzgar şiddeti için SEK değeri adımlarını göstermektedir.

Çoklu-NTYV simülasyon için ise, bütün veri noktalarını ve mesafelerini göstererek simüle edilmeye çalışıldığı Şekil 5 incelenmelidir. Şekil 5 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, P, GT, RP sırası ile rüzgar şiddeti, üretim, jeneratör sıcaklığı ve reaktif gücü ifade ettiğini varsayalım. Şekil 5a'da görülen rüzgar şiddeti değişkeni NTYV uygulamasını anlatmaktadır. Burada iki değişken arasında bir ilişki kurulmaya çalışılmıştır; yani normal NTYV süreci görülmektedir. Şekil 5b'de rüzgar şiddeti ve sıcaklık dahil edilerek alanda iki değişkenli yani

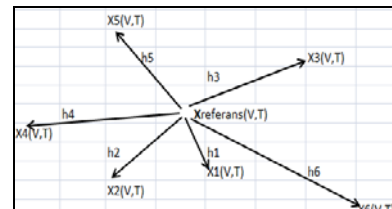
çoklu-NTYV tekniği kullanılmaya başlamıştır. Şekil 5c'de rüzgar şiddeti, sıcaklık ve üretim değişkenleri eklenerek 3 değişkenli çoklu-NTYV çalışması yapılmıştır. Değişken sayısı artırılarak incelenen alan daha da iyi temsil edilmektedir. Şekil 5d'de ise, rüzgar şiddeti, sıcaklık, üretim ve jeneratör sıcaklığını da içeren 4 değişkenli çoklu-NTYV sürecini göstermektedir. Şekil 5d'de sahadaki bütün değişkenler hesaplamalara dahil edilerek; hem alansal tahmin doğruluğu artırılmakta; hem de sistemdeki bütün çıktı verileri sisteme için girdi verisi olarak kullanılmaktadır. Grafiklerin büyüklükleri değişken sayısını şematize etmek için değişik yapılmıştır.



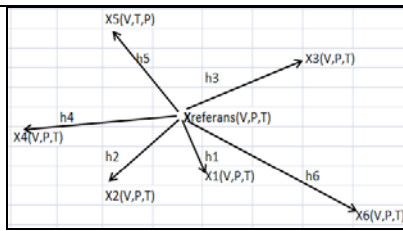
Şekil 4. Rüzgar şiddeti için çoklu-NTYV süreci basitleştirilmiş diyagramı.



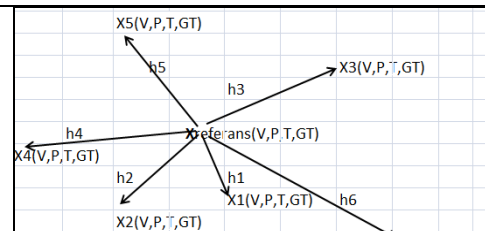
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 6. 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 5a'da NTYV yöntemi ile alanı temsil eden ağırlık sayısı 4 iken; önerilen Şekil 4d ile gösterilen çoklu-NTYV yöntemi ile sahayı temsil eden ağırlık sayısı 20'ye çıkmaktadır. İncelenen alan, daha iyi temsil edilebilme imkanına kavuşarak yüksek doğrulukta alansal tahmin edilebilme imkanı mümkün olmaktadır. 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 rüzgâr türbinindeki değişkene diğer değişkenlerin etkisinin bulunması amacı ile standart alan bağımlılık ve standartlaştırılmış değerlerinin toplamı bulunmuştur. İncelenen verilerin standartlaştırılması için aşağıdaki adımlar takip edilmiştir. İlk olarak verilere Eşitlik (1) ile Eşitlik (10) arasındaki süreç uygulanmıştır.

İncelenen değişkenin toplam alan bağımlılık katsayısının hesaba katılmadığı **Referans Saha Bağımlılık Katsayısı** (SBK_{referans}) hesaplanmıştır. Örnek olarak Eşitlik 11, referans olarak rüzgâr şiddeti değişkeninin (V) hesaba katılmadığı eşitliği göstermektedir:

$$SBK_{\text{referans}} = (SBK)_T + (SBK)_P + (SBK)_{GT} + (SBK)_{VB} + (SBK)_{RP} \quad (11)$$

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.

$$TAK_{\text{ref}} = \sum_{i=1}^n (SBK) di \quad (12)$$

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 13, rüzgâr şiddeti (V) değişkeni için verilmiştir.

$$\begin{aligned} \mathbf{SEK}_V = & \left\{ \left(\sum_{i=1}^n (T) i * \frac{\sum_{i=1}^n (SBK) Ti}{\sum_{i=1}^n (TAK_{\text{ref}} V) i} \right) + \left\{ \left(\sum_{i=1}^n (P) i * \frac{\sum_{i=1}^n (SBK) Pi}{\sum_{i=1}^n (TAK_{\text{ref}} V) i} \right) \right\} \right. \\ & + \left\{ \left(\sum_{i=1}^n (GT) i * \frac{\sum_{i=1}^n (SBK) GT i}{\sum_{i=1}^n (TAK_{\text{ref}} V) i} \right) + \left\{ \left(\sum_{i=1}^n (VB) i * \frac{\sum_{i=1}^n (SBK) VB i}{\sum_{i=1}^n (TAK_{\text{ref}} V) i} \right) \right\} \right. \\ & \left. \left. + \left\{ \left(\sum_{i=1}^n (RP) i * \frac{\sum_{i=1}^n (SBK) RP i}{\sum_{i=1}^n (TAK_{\text{ref}} V) i} \right) \right\} \right\} \quad (13) \end{aligned}$$

Denklem 14 ile üretim (P) değişkeni için denklem görülmektedir.

$$\begin{aligned} \mathbf{SEK}_P = & \left\{ \left(\sum_{i=1}^n (V) i * \frac{\sum_{i=1}^n (SBK) Vi}{\sum_{i=1}^n (TAK_{\text{ref}} T) i} \right) + \left\{ \left(\sum_{i=1}^n (T) i * \frac{\sum_{i=1}^n (SBK) Ti}{\sum_{i=1}^n (TAK_{\text{ref}} T) i} \right) \right\} \right. \\ & + \left\{ \left(\sum_{i=1}^n (GT) i * \frac{\sum_{i=1}^n (SBK) GT i}{\sum_{i=1}^n (TAK_{\text{ref}} T) i} \right) + \left\{ \left(\sum_{i=1}^n (VB) i * \frac{\sum_{i=1}^n (SBK) VB i}{\sum_{i=1}^n (TAK_{\text{ref}} T) i} \right) \right\} \right. \\ & \left. \left. + \left\{ \left(\sum_{i=1}^n (RP) i * \frac{\sum_{i=1}^n (SBK) RP i}{\sum_{i=1}^n (TAK_{\text{ref}} T) i} \right) \right\} \right\} \quad (14) \end{aligned}$$

Jeneratör sıcaklığı ve reaktif güç için de aynı mantıkla hesaplamalar yapılmıştır.

4.1 Eğitim ve Test Verisi

Önerilen çoklu-NTYV alansal tahmin modelinin çalıştırılması için veri setlerinin eğitim ve test sürecine geçilmiştir. Bu aşamada Söke RES'te bulunan rüzgar türbinlerine ait verilerin, %70'i eğitim ve %30'u test için ikiye ayrılmıştır. %70 eğitim verisinden elde edilen SEK ile %30 test verisi ölçülmüş değerleri çarpılarak alansal tahmin sonuçları bulunmuş olacaktır.

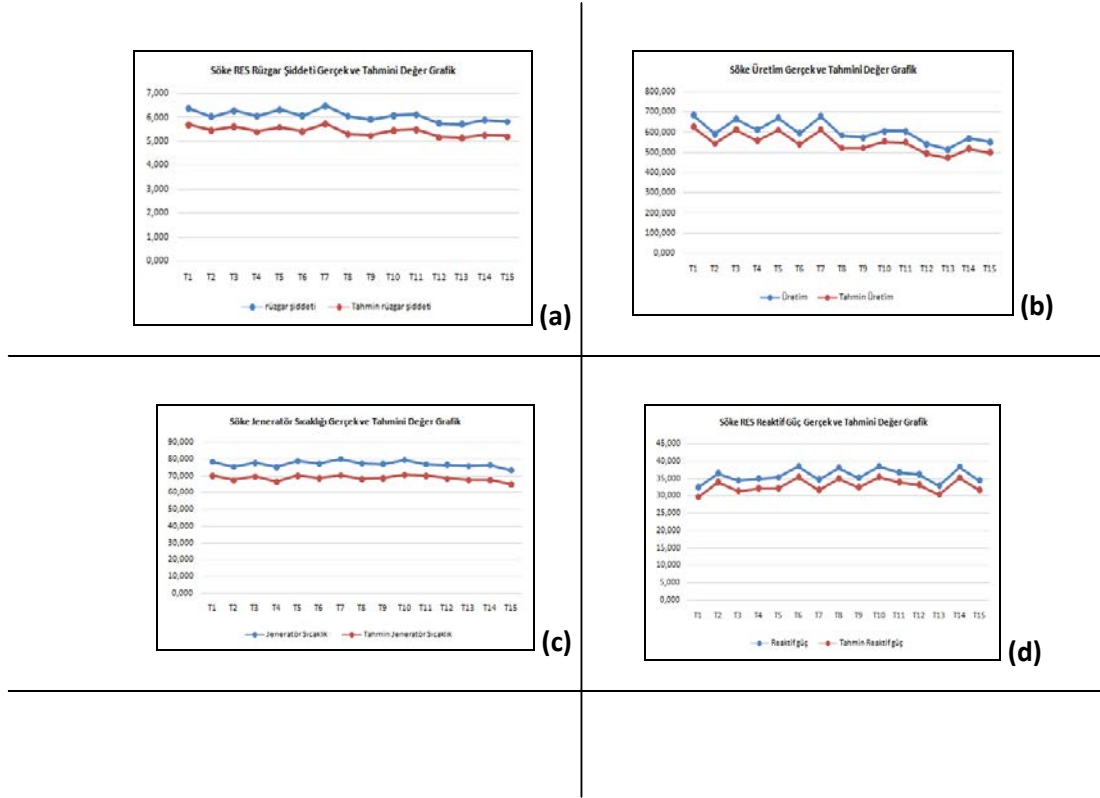
4.2 Çoklu-NTYV Alansal Tahmin Uygulama Sonuçları

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. %70 eğitim verisine uygulanan çoklu-NTYV sonuçlarından sonra elde edilen SEK (yani alansal tahmin katsayıları) görülmektedir Tablo 3 ile görülmektedir.

Tablo 3. Söke RES çoklu-NTYV tahmin katsayıları.

Türbin No	Rüzgar şiddeti	Üretim	Jeneratör Sıcaklık	Reaktif Güç
T1	0,893	0,916	0,891	0,912
T2	0,904	0,920	0,895	0,925
T3	0,896	0,919	0,894	0,913
T4	0,893	0,912	0,888	0,918
T5	0,886	0,911	0,888	0,909
T6	0,892	0,908	0,886	0,923
T7	0,887	0,904	0,879	0,914
T8	0,879	0,891	0,877	0,917
T9	0,889	0,909	0,892	0,918
T10	0,900	0,913	0,888	0,921
T11	0,896	0,909	0,909	0,921
T12	0,896	0,914	0,892	0,919
T13	0,900	0,919	0,896	0,920
T14	0,894	0,917	0,890	0,917
T15	0,895	0,912	0,889	0,916

Burada görülen katsayılar %70 eğitim verisinden elde edilmiştir. İncelenen Söke RES projesindeki türbinlere ait her bir değişken için çoklu-NTYV yöntemi ile hesaplanmış münhasır SEK değerleri bulunmuştur. Bulunan SEK değerleri %30 test verisi ile çarpılarak alansal tahminler elde edilmiştir. Gerçek (ölçülmüş) değerler ile kıyaslandığında geliştirilen çoklu-NTYV yöntemi ile oldukça iyi bir yaklaşımla alansal tahminler yapıldığı görülmüştür. Alansal tahmin aralığının %90 ile %95 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. 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. Şekil 7 ile Söke RES projesine ait tahmin ve ölçülen değerlerin grafiği görülmektedir.

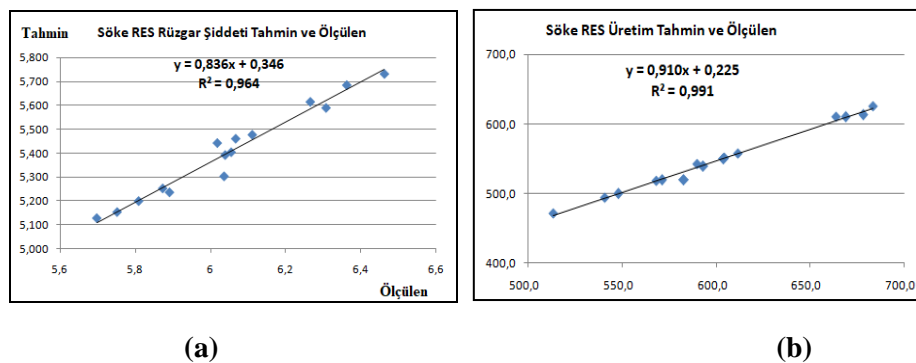


Şekil 7. Söke RES gerçek ve tahmini değerler.

Grafikler incelendiğinde tahmin sonuçlarının gerçek ölçülmüş değerler ile paralel olarak seyrettiği ve %5-%10 arasında daha düşük alansal tahminler yapıldığı görülmektedir. Oluşturulan modelde 1'den çıkarıldığı için ağırlıklar gittikçe azaldığı için alansal model sonuçları daha düşük çıkmaktadır.

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 8'de Söke RES'e ait rüzgâr şiddeti (a) ve üretim (b) tahmin ve ölçülen değerlerin saçılma grafiği verilmiştir. %30 test verisine ait ölçülen rüzgâr şiddeti ile önerilen çoklu-NTYV yöntemi ile elde edilen tahminlerin verildiği saçılma grafiği, denklem ve R^2 (belirlilik katsayısı) değeri görülmektedir.



Şekil 8. Söke RES rüzgâr şiddeti ve üretim tahmin ve ölçülen saçılma grafiği.

4.4 Çoklu-NTYV Modelinin Doğrusal Çoklu-Regresyon Modeli İle Kıyaslanması

Geliştirilen çoklu-NTYV yönteminin test edilmesi amacı için verilere Doğrusal Çoklu-Regresyon yöntemi Söke RES projesine uygulanmıştır. Söke RES toplam veriye ait çoklu-NTYV ile çoklu-regresyon değerleri Tablo 4'te görülmektedir. Söke RES projesinde yükseklik farkları olmadığından dolayı gerek çoklu-NTYV ve gerekse de çoklu regresyon modelinde çok iyi sonuçlar alınmıştır. Yarıvარიogram 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, önerilen çoklu-NTYV yönteminin daha başarılı sonuçlar verdiği 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.

Tablo 4. Söke RES çoklu-NTYV ve çoklu regresyon değerleri.

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	$y=0,899x+0,579$ $R^2 = 0,955$	$y=0,872 +70,30$ $R^2 = 0,848$	$y=0,618x+28,589$ $R^2 = 0,618$	$y=0,2x+27,382$ $R^2 = 0,256$

4.5 Bir Aylık Verilere Ait Uygulama Sonuçları

Daha önce de belirtildiği gibi, önerilen çoklu-NTYV uygulaması yaklaşık 48 aylık verilere uygulanmıştır. Uzun süreli ortalama verilerle çalışmanın yanında kısa süreli ve değişkenliği yüksek veri ile de çalışılarak önerilen yöntem, kısa süreli verilerde de denenmiştir. Söke RES için ise Mayıs 2015 verisi rastgele seçilmiştir. Söke RES üretim ve rüzgar şiddeti yüksek R^2 değerlerine sahipken; jeneratör sıcaklığı ve reaktif güç R^2 değerleri daha düşük olarak hesaplanmıştır. Söke RES Mayıs 2015 tarihine ait 1-aylık verinin çoklu-yarıvარიogram ve çoklu-regresyon sonuçları kıyaslama açısından Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. 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	$y=0,842x+0,875$ $R^2 = 0,842$	$y=0,875x +59,59$ $R^2 = 0,829$	$y=0,643x+25,79$ $R^2 = 0,642$	$y=0,565x+9,900$ $R^2 = 0,565$

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

4.6 Değişken Çıkarılarak Alansal Modelleme Sonuçları

Önerilen çoklu-NTYV ile ilgili olarak incelenen değişkenlerin çıkarılır ise alansal model tahminin daha iyi yapılabileceği de araştırılmıştır. Buradaki yöntemde incelenen değişkene ait toplam alan bağımlılık ile referans toplam alan bağımlılık değeri ile hesaplamalara dahil edilmeyen değişkenin ilgili belirtilen değerleri hariç bırakılmıştır. Söke RES projesine ait değişkenlerin çıkarılarak hesaplanan çoklu-NTYV sonuçları Tablo 6'da görülmektedir. Rüzgar şiddeti değişkeni çıkarıldığında üretim ve reaktif güç değişkenlerine ait R^2 belirlilik katsayı değerleri %1 civarı azalma gösterirken; jeneratör sıcaklığı %10 civarında düşüş göstermiştir.

Üretim değişkeninin alansal modelleme hesabına katılmadığı durumda rüzgar şiddetinin R^2 belirlilik değeri %4 civarında; jeneratör sıcaklığının ise %3 civarında azalma kaydettiği; reaktif güç değişkeni belirlilik katsayısı R^2 değerinde ise %0.5 artış görülmektedir. Üretim değişkeni çıkarıldığında her 3 değişkenin R^2 değeri düşüş göstermektedir. 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. Jeneratör sıcaklığı değişkeninin hesaba katılmadığı durumda R^2 belirlilik değeri rüzgar şiddeti için %1 artış; üretim %1 azalma ve reaktif güç %20 düşüş göstermiştir. Söke RES değişken çıkarılarak yapılan alansal modelleme senaryo sonuçlarına göre reaktif güç çıkarıldığı durumda en yüksek tahmin doğruluğu elde edilmektedir. Üretim değişkeni çıkarıldığında ise, her üç değişkenin de tahmin doğruluğu azalmaktadır.

Tablo 6. 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
$y=0,791x+0,469$ $R^2 = 0,978$	$y=0,899x+3,029$ $R^2 = 0,988$	$y=0,768x+4,320$ $R^2 = 0,601$
Reaktif Güç Hariç		
Rüzgar Şiddeti	Jeneratör Sıcaklığı	Üretim
$y=0,835x+0,455$ $R^2 = 0,968$	$y=0,791x+8,778$ $R^2 = 0,863$	$y=0,919x+11,93$ $R^2 = 0,996$

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışma, kendi türünün ilk örneği olma özelliğini taşımaktadır. İşletmede bulunan bir RES projesi verileri kullanılarak çoklu-NTYV uygulaması denenmiştir.

Söke RES'e ait değişkenlerin çoklu-NTYV yöntemi ile incelenen değişkenler arasında ilişki bulunmuştur. Burada yapılmaya çalışılan incelenen bütün değişkenlerin kullanılarak alansal bir katsayı geliştirilmiştir. İncelenen rüzgar türbini için toplam alandaki değişkenlerin etkisi hesaplanmış ve bütün sahayı temsil eden 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 alansal tahmin için test verisine uygulanmıştır.

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. Variogram 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 1 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.

Alansal modelleme için bütün değişkenler tek tek çıkarılarak hangi değişkenin alansal modellemeye negatif katkıda bulunduğu anlaşılmaya çalışılmıştır. Söke RES değişken çıkarılarak yapılan alansal modelleme senaryo sonuçlarına göre reaktif güç çıkarıldığı durumda en yüksek tahmin doğruluğu elde edilmektedir. Üretim değişkeni çıkarıldığında ise, her üç değişkenin de tahmin doğruluğu azalmaktadır.

6. KAYNAKLAR

- [1] Şen Z., (1989). Cumulative semivariogram model of regionalized variables. *Int. J. Math. Geol.*, 21, 891.
- [2] Şen, Z., (1995). Regional Air Pollution Assessment by Cumulative Semivariogram, *Atmospheric Environment*, Vol. 29. No.4, pp. 543-548.
- [3] Şen, Z. and Habib, Z., (1998). Point cumulative semivariogram of areal precipitation in mountainous regions. *J. of Hydrology*, 205, pp. 81 -91.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] Öztopal, A., (1996). İstanbul İlinin Hava Kirliliği Semivariogram Haritalarının Çıkarılarak Yorumlanması. Lisans Tezi, İTÜ Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, 72 sayfa.
- [8] Öztopal, A. ve Şen, Z., (1999). İstanbul Hava Kirliliği Verilerinin Tesir Yarıçapları. *Tr. J. of Engineering and Environmental Science* 23. 71 – 81.
- [9] Tarawneh, Q. ve Şen, Z., (2003). Ürdün Yağışlarının Yarıvaryogram Modeli, *İTÜ Dergisi*, Cilt 2, Sayı 1, 80-90.
- [10] Şahin, A.D., (2001). Türkiye Rüzgarlarının Alan ve Zaman Modellemesi, İTÜ Doktora Tezi.
- [11] Yünsel, T.Y., (2007). Maden Yataklarının Jeostatistiksel Yöntemi İle Analizi ve Modellemesi, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi.

- [12] **Aslantaş, P., Akyürek, Z. ve Heuvelink, G.,** (2015). Yağışın Zaman ve Mekanda Dağılımının Elde Edilmesi VII. Ulusal Hidroloji Kongresi.
- [13] **Cressie, N. A. L.,** (1993). *Statistics for Spatial Data*. John Willey and Sons, Inc, New York, 898 pp. 374.
- [14] **Matheron G.,** (1965). *Les Variables Regionafisee's et leur Estimation*, Masson, Paris, 306p.
- [15] **Matheron G.,** (1971). *The theory of regionalized variables and its applications*. Ecole de Mines, Fontainbleau, France.
- [16] **Davis, J. C.,** (1986). *Statistics and Data Analysis in Geology*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 646 pp.
- [17] **Durak, M.,** (2018). *Rüzgar Enerji Santralleri Üretim ve İşletme Değişkenlerinin Çoklu-Yarıvariogram Yöntemi ile Alansal Tahmini*, İTÜ Doktora Tezi.