T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

JEOİSTATİSTİK YÖNTEMLER KULLANILARAK MADEN REZERVLERİNİN TAHMİN EDİLMESİ VE HARİTALANMASI

Murat BAĞCI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran-2022
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Murat BAĞCI tarafından hazırlanan "Jeoistatistik Yöntemler Kullanılarak Maden Rezervlerinin Tahmin Edilmesi ve Haritalanması" adlı tez çalışması 22/06/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	**İmza**
Başkan Prof. Dr. Semih EKERCİN	……..
Danışman Prof. Dr. Mevlüt UYAN	……..
Üye Doç. Dr. Arif Emre DURSUN	……..

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Murat BAĞCI

Tarih:22/06/2022

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

JEOİSTATİSTİK YÖNTEMLER KULLANILARAK MADEN REZERVLERİNİN TAHMİN EDİLMESİ VE HARİTALANMASI

Murat BAĞCI

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mevlüt UYAN

2022, 113 Sayfa

Jüri
Prof. Dr. Mevlüt UYAN
Prof. Dr. Semih EKERCİN
Doç. Dr. Arif Emre DURSUN

Türkiye'de enerji talebi hem ekonomik büyüme hem de nüfus artışı ile her geçen yıl artmakta ve artan yerli kaynak talebinin karşılanması ekonomik açıdan büyük önem taşımaktadır. Türkiye'nin yerli enerji üretimini artırma stratejisi, yenilenebilir kaynakların, nükleer enerjinin ve linyit madenciliğinin geliştirilmesine yönelik planları içermektedir. Bu tez çalışmasında Maden Teknik Arama Genel Müdürlüğü tarafından 1967 – 2012 yılları arasında Kütahya ili Tavşanlı ilçesi Tunçbilek beldesi Ömerler mevkiinde açılmış 252 adet sondaj noktasından yararlanılmaktadır. Yaklaşık 544.5 ha. alana dağılmış bu veriler kullanılarak, bölgede bulunan madenin rezerv tahmini için en uygun jeoistatistiksel yöntemin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, Ordinary, Simple ve Universal Kriging yöntemleri kullanılmıştır. Kriging yöntemlerinde kullanılan teorik variogram modelleri 11 adet variogram modeli kullanılarak elde edilmiştir. Veriler izotropik kabul edilmiştir ve trend etkisi kaldırılarak ve kaldırılmayarak sonuçlar elde edilmiştir. Veriler hem çarpık hem de logaritmik dönüşüm uygulaması ile normal dağılıma yaklaştırılarak variogram hesabında kullanılmıştır. Yukarıda bahsedilen unsurların jeoistatistik tahmin sonuçlarına nasıl etki ettiği elde edilen uygulama sonuçlarına ait istatistiki veriler ile incelenmiştir. Uygulamalar sonucunda maden rezervinin alt ve üst yüzeyi için, trend etkisinin kaldırılmış olduğu çarpık dağılıma sahip verilerin kullanıldığı ve Halo Effect variogram modelinin uygulandığı Ordinary Kriging yönteminin en iyi sonuç veren yöntem olduğu belirlenmiştir. Belirlenen yönteme göre yapılan rezerv tahmininde çalışma alanında yaklaşık 44,097,723 m^3 linyit rezervinin varlığı tahmin edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Enterpolasyon, Jeoistatistik, Tenör, Rezerv, Kriging, Variogram, Linyit.

ABSTRACT

MS THESIS

ESTIMATION AND MAPPING OF MINE RESERVE USING GEOSTATICAL METHODS

Murat BAĞCI

Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Geomatics Engineering

Advisor: Prof. Dr. Mevlüt UYAN

2022, 113 Pages

Jury
Prof. Dr. Mevlüt UYAN
Prof. Dr. Semih EKERCİN
Assoc. Prof. Dr. Arif Emre DURSUN

Due to the economic growth and population growth in Turkey, the energy demand is increasing day by day, and meeting the increasing domestic energy demand is of great economic importance. Turkey's strategy to increase domestic energy production includes plans to develop renewable resources, nuclear energy and lignite mining. In this thesis, 252 drilling points opened by the General Directorate of Mineral Research and Exploration in the Ömerler locality of Tunçbilek town of Tavşanlı district of Kütahya province between the years of 1967 and 2012 are used. It is aimed to determine the most suitable geostatistical method for the reserve estimation of the mine in the region by using these data scattered over an area of approximately 544.5 ha. For this purpose, Ordinary, Simple, and Universal Kriging methods were used. Theoretical variogram models used in Kriging methods were obtained by using 11 variogram models. The data are considered isotropic, and results are obtained with and without the trend effect. Both skewed data and data approximated to normal distribution by logarithmic transformation are used in applications. How the above-mentioned factors affect the geostatistical estimation results was examined with the statistical data of the application results obtained. As a result of the applications, it was determined that the Ordinary Kriging method, in which the trend effect was removed, data with skewed distribution was used and the Halo Effect variogram model was applied, was the method that gave the best results for both the lower and upper surface. In the reserve estimation made according to the determined method, it has been estimated that there are approximately 44,097,723 m^3 lignite reserves in the study area.

Keywords: Interpolation, Geostatistics, Tenor, Reserve, Kriging,, Variogra, Lignite

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca tezimin oluşumundan tamamlanmasına kadar bütün aşamalarında değerli fikirleri ile çalışmamı zenginleştiren, yol gösteren, ışık tutan, maddi ve manevi desteğini esirgemeyen değerli Prof. Dr. Mevlüt UYAN hocama sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Değerli Dr. Öğr. Üyesi Arif Emre DURSUN hocama desteklerinden, tezimi geliştirici fikirlerinden ve önerilerinden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Lisans ve Yüksek lisans sürecim boyunca her daim yanımda olan çalışmam süresince desteğini esirgemeyen değerlim Ayşe Nur KURT'a ve aileme sevgilerimi sunarım.

Murat BAĞCI
KONYA-2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

1. GİRİŞ **1**

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **5**

3. MATERYAL VE YÖNTEM **8**

3.1. Materyal ve Çalışma Alanı 8
3.2. Yöntem 13

4. MEKANSAL ENTERPOLASYON YÖNTEMLERİ **20**

4.1. Verilerin İstatistiksel Dağılımının Araştırılması 25
4.1.1. Normal dağılım 31
4.1.2. Dönüşümler 31
4.2. Yarı Variogram 33
4.2.1. Deneysel variogramın güvenilirliği 36
4.2.2. Teorik variogram 38
4.3. Kriging Yöntemleri 43
4.4. Çapraz Değerleme Metodu 48

5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA **51**

5.1. Verilerin İstatistiksel Dağılımı 51
5.2. Mekansal Otokorelasyonun Araştırılması 58
5.3. Anizotropinin Araştırılması 59
5.4. Komşuluk Şartlarının Belirlenmesi 60
5.5. Uygun Adım Sayısı ve Adım Aralığının Belirlenmesi 61
5.6. Trend Etkisi 61
5.7. Kriging Yöntemleri Uygulanarak Tahmin Değerlerinin Elde Edilmesi 63
5.7.1. Ordinary Kriging yöntemi uygulanarak tahmin değerlerinin elde edilmesi . 63
5.7.2. Simple Kriging yöntemi uygulanarak tahmin değerlerinin elde edilmesi 74
5.7.3. Universal kriging yöntemi uygulanarak tahmin değerlerinin elde edilmesi . 86
5.8 Kriging Metotlarının Tahmin Bulgularının Karşılaştırılması 94

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER **104**

KAYNAKLAR **111**

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

n	**:** Karşılaştırılan örnek çifti sayısı.
$\bar{X}$	**:** Rasgele değişkenlerin ortalama değeri.
σ^2	**:** Varyans
X_i	**:** Çarpık dağılımlı veri
Y_i	**:** Normal dağılımlı veri
x	**:** Rasgele değişken.
h	**:** Adım aralığı.
N	**:** Karşılaştırılan örnek çifti sayısı.
k_k	**:** Basıklık değeri.
γ	**:** Yarı variogram.
$\bar{y}$ **(h)**	**:** Yarı variogram fonksiyonu.
k_s	**:** Çarpıklık katsayısı.
θ_s	**:** Kısmi Eşik Parametresi
θ_r	**:** Menzil Parametresi
K_{θ_k}	**:** θ_k'nin ikinci dereceden Bessel fonksiyonu
$\hat{\sigma}(x_0)$	**:** Krigingin tahmin varyansı
S	**:** Standart sapma.
Ha	**:** Hektar
m^3	: Metre küp

Kısaltmalar

ASE : Average Standard Error
BLUE : Best Linear Unbiased Estimator
CBS : Coğrafi Bilgi Sistemleri
EDA : Exploratory Data Analysis
ESDA : Exploratory Spatial Data Analysis
IDW : Inverse Distance Weighting
ME : Mean Error
MSE : Mean Standardized Error
MTA : Maden Tetkik ve Arama
NNP : Nearest Neighbor Polygon
OK : Ordinary Kriging
RMSSE : Root Mean Square Standardized Error
RSME : Root Mean Square Error
SK : Simple Kriging
UK : Universal Kriging

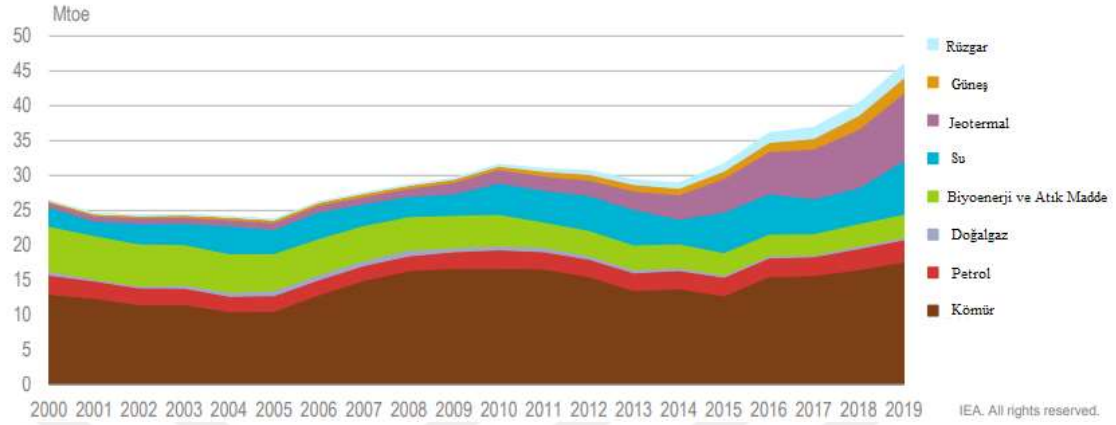
1. GİRİŞ

Yeryüzünde ölçümü yapılan her cismin; coğrafi koordinatları, yeryüzünden yüksekliği, ölçüm zamanı ve ölçüler arası geçen süre olmak üzere en az 4 adet uzay zamansal bileşeni vardır. Sahada bu verilerin elde edilmesi genellikle ölçümün en maliyetli bölümünü oluşturduğundan dolayı arazi ekibi ilgili alandan sınırlı sayıda ölçü alabilmektedir. Bunun sonucunda sınırlı sayıda ölçülere ve istatistiki değerlere dayanarak ilgili alana dair değerlendirmeler yapılır. Sonuç olarak, elde edilen çevresel değişkenlerin haritaları genellikle kısıtlı, tutarsız ve öznel nitelikte olacaktır. Kısacası, daha iyi sonuç ürünler elde edebilmek için ölçüm yapılamayan alanlardaki noktaların bilinmeyen değerlerinin çeşitli istatistiki yöntemlerle tahmin edilmesi gerekmektedir.

Enerji, yenilenebilir ve yenilenemez olarak iki kaynağa ayrılan dokuz ana enerji kaynağı başlığı altında sınıflandırılabilir (Sadia ve ark., 2017). Başlıca yenilenebilir enerji kaynakları rüzgâr, güneş, hidro (su), biyokütle ve jeotermaldir. Bu kaynakların arzı sınırsızdır ve doğal olarak yenilenebilir kaynaklardır. Yenilenebilir olmayan enerji; petrol, nükleer, gaz ve kömürü içerir. Bunların tedariki sınırlıdır ve geri dönüştürülemez veya değiştirilemez enerji kaynaklarıdır. Tüm toplumlar sağlık, aydınlatma, yemek pişirme, mekân konforu, ulaşım ve iletişim gibi temel alanlarda enerjiye ihtiyaç duyar. Bundan dolayı sanayi devriminden itibaren sürekli olarak nüfusu artmakta olduğu dünya ülkeleri, sürekli olarak artan bir enerji ihtiyacıyla karşı karşıyadır.

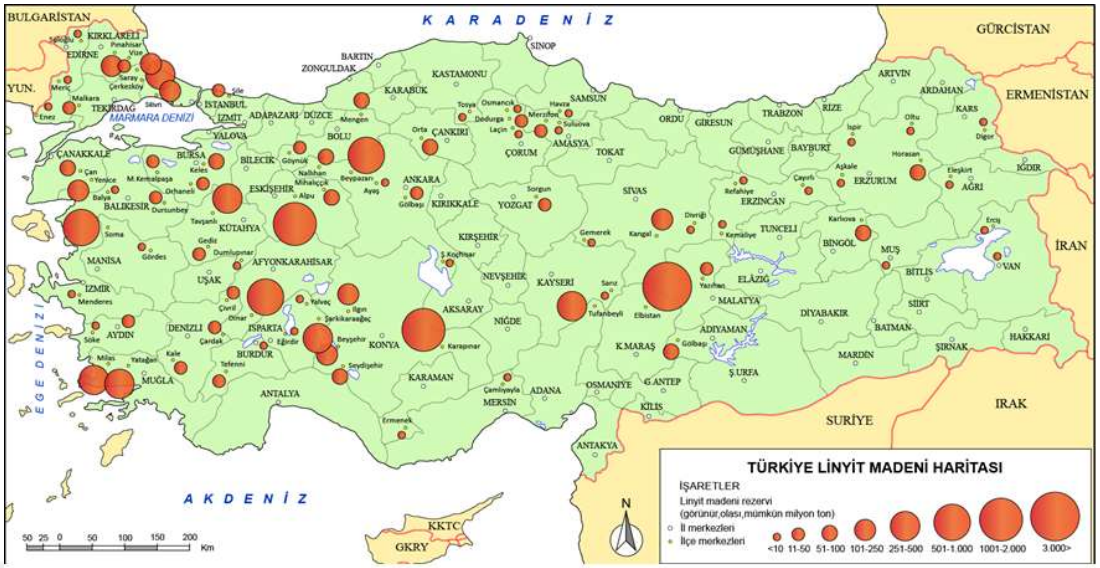
Madencilik faaliyetlerine yönelik yatırımlar için çeşitli madenlere, bazı önemli rezervlere ve devlet desteğine sahip olmasına rağmen, Türkiye'nin madencilik potansiyeli büyük ölçüde kullanılamamıştır. Dünyada ticareti yapılan 90 madenden 77'si Türkiye'de çıkarılabilmektedir. Türkiye bu madenlerin 50'si için zengin veya çok zengin yataklara sahiptir. Türkiye'nin karmaşık jeolojik yapısı maden arama ve madencilik tesislerini zorlaştırmaktadır (Avsaroglu, 2020). Buna rağmen Türkiye, hammaddesinin çoğunu sağlayabilen ender ülkelerden birisidir. Türkiye, dünyanın önde gelen bor madenleri, pomza, feldspat, barit, bentonit, krom cevheri, kaolin, linyit ve manyezit üreticisidir. Bununla birlikte, Türkiye, geçtiğimiz on yılda yenilenebilir enerji kaynaklarında (özellikle güneş, rüzgâr ve jeotermal) etkileyici bir büyüme yaşadı. Özellikle yenilenebilir elektrik üretimi son on yılda neredeyse üç katına çıktı ve toplam elektrik üretimindeki payı 2019'da %44'e ulaştı. Kömür üretiminin de 2010-15 dönemindeki düşüşün ardından

son yıllarda arttığı gözlenmektedir. 2019 yılında kömür, toplam üretimin %39'unu oluşturdu.



Şekil 1.1. Kaynağa göre enerji üretimi, Türkiye, 2000-19 (International Energy Agency, 2021)

Türkiye'nin yerli enerji üretimini artırma stratejisi, yenilenebilir kaynakların, nükleer enerjinin ve linyit madenciliğinin geliştirilmesine yönelik planları içermektedir. Türkiye sınırlı petrol, doğal gaz ve taşkömürü rezervlerine ve üretimine sahiptir. Bu nedenle ülkemiz sanayileşme ve nüfus artışına paralel olarak artan enerji talebini karşılamak ve enerjide dışa bağımlılığı azaltmak amacıyla yeni kömür sahaları bulma ve mevcut madenlerin gelişimini hızlandırma çabalarını hızlandırmıştır. Linyit, yaklaşık 17,2 milyar ton rezerv ile Türkiye'nin en önemli enerji kaynağıdır. Başlıca linyit yatakları Kahramanmaraş-Elbistan, Muğla-Yatağan, Manisa-Soma, Kütahya-Tunçbilek-Seyitömer, Ankara-Beypazarı ve Sivas-Kangal havzalarında bulunur (Avsaroglu, 2020). Türkiye yaklaşık 17,2 milyar ton linyit rezervine sahiptir ve Türkiye'de yaklaşık 1,1 milyar ton linyit üretilmiştir. Türkiye dünyada linyit rezervi bakımından 7., linyit üretiminde ise 6. sırada yer almaktadır.



Şekil 1.2. Türkiye'nin önemli linyit havzaları ve sahaları (MTA Genel Müdürlüğü, 2020)

Yeni kömür sahaları bulmak ve mevcut madenlerin gelişimini hızlandırmak için jeoistatistiksel analiz yöntemlerinin kullanılmasının hem zaman hem de verimlilik bakımından önemli avantajları vardır. Jeoistatistiksel analiz yöntemleri ile arazide ölçülemeyen alanlara ait kömür kaynaklarının tonajı, kömür damar kalınlığı ve kömür kalite parametreleri tahmin edilebilir. Bu çalışma ile çalışma alanı üzerinde bulunan sondaj noktalarına ait linyit kömürünün başladığı ve bittiği derinliğe ait kot değerleri çeşitli jeoistatistik yöntemler (Ordinary Kriging (OK), Simple Kriging (SK), Universal Kriging (UK)) kullanılarak değerlendirilmiş tüm çalışma alanına ait linyit kömürü rezervi hesabı yapılmış ve sonuçlar bir coğrafi bilgi sistemi yazılımı olan ArcGIS uygulaması aracılığıyla bir harita üzerinde gösterilmiştir. Kömür derinlik verilerinin mekânsal sürekliliği deneysel variogram modelleri ile tahmin edilmiştir. On bir farklı modelin performansı, trendin varlığına ve yokluğuna göre yukarıda verilen kriging yöntemleri kullanılarak karşılaştırılmıştır. Kullanılan yöntemler arasında hangi yöntem ile elde edilen mekânsal dağılımın daha iyi bir doğruluğa sahip olduğu çapraz değerleme (cross validation) yöntemi ile belirlenmiştir.

Araştırmada kullanılan veriler 2006-2012 yılları arasında Kütahya Tunçbilek bölgesinde MTA Genel Müdürlüğü tarafından açılan 252 adet sondaj noktasından elde edilmiştir. Açılan sondaj deliklerine ait bilgileri içeren sütun kesitleri incelenerek bölgede bulunan kömür rezervi tahmini için gerekli kot değerleri öğrenilebilmektedir. Sütun

kesitleri incelendiği zaman sondaj deliğinin bulunduğu konumda linyite ulaşılan derinlik ve linyit kömürünün bittiği derinlik gözlemlenebilmektedir.

Bu tez ile maden rezerv tahmini için kullanılabilecek en iyi sonuç veren jeoistatistik yönteminin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu sayede tenör yüzeylerinin modellenmesi, maden işletme planlarının daha hassas şekilde yapılması ve tonaj miktarının saptanması etkin bir şekilde yapılabilecektir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Matheron (1963), jeoistatistik tekniğini kömür rezerv tahmini için kömür yataklarına uygulayan ilk araştırmacıdır. Son on yılda bazı araştırmacılar, kömür rezervinin tahmini, kömür damarı modellemesi, kömür kalitesi tahmini ve kaynak belirsizliğinin değerlendirilmesi başta olmak üzere birçok alanda jeoistatistiksel yöntemler kullandı. (Knotters ve ark., 1995; Çetin ve Tülücü, 1998; Tercan ve Karayiğit, 2001; Uyar, 2005; Uyguçgil, 2007; Heriawan ve Koike, 2008; Deutsch ve Wilde, 2012; Webber ve ark., 2013; Özçakal, 2014; Daya 2015; Mert ve Dağ, 2017; Hüsrevoğlu, 2018; Bargawa ve Tobing, 2020; Ramadhan ve ark., 2021; Kumar ve Dimitrakopoulos, 2022).

Knotters ve ark.(1995) çalışmalarında, durdurulmuş gözlemlerle ufuk derinliğinin mekânsal enterpolasyonu için yardımcı bir değişkeni hesaba katmaya izin veren iki enterpolasyon yönteminin (co-kriging ve regresyonla birleştirilmiş kriging) performanslarını karşılaştırmayı amaçlamıştır. Regresyonla birleştirilmiş kriging yönteminin, co-kriging yönteminden daha iyi sonuçlar verdiği sonucuna ulaşmışlardır.

Tercan ve Karayiğit (2001), Sivas, Türkiye'deki linyit rezervlerini tahmin etmek için küresel (Spherical) yarı variogram modelini kullanmıştır. Ayrıca bu çalışmada, miktar, kömür damar kalınlığı gibi bazı linyit değişkenleri ve sondaj verilerinden elde edilen bazı kalite parametreleri kullanılmıştır.

Uyar (2005) yüksek lisans tezinde, 'JEOVAR3' isimli bir variogram hesaplama ve kriging yazılımı geliştirdi. Ordu ili Sayaca altın cevherleşmesi kapsamında bu yazılım ile örnek kriging uygulamaları yapılmıştır.

Falivene ve ark. (2007), İspanya'da homojen olmayan bir kömür sahasında ideal ve güvenilir enterpolasyon stratejilerini geliştirmek için jeoistatistiksel yöntemler uyguladı.

Heriawan ve Koike (2008) ordinary kriging ve factorial kriging yöntemlerini kullanarak kömür damar dağılımını ve kömür kalitesini tahmin etmek için yeni bir jeoistatistiksel tahmin yöntemi araştırdılar. Endonezya'daki bir kömür yatağındaki damar kalınlığı, kül içeriği, sodyum, toplam kükürt ve ısıtma değeri verilerini kullandılar.

Deutsch ve Wilde (2012) çalışmalarında, kömür damarlarının sayısının değiştiği ve kömür damarlarında sıkışma ve çatallanma gibi durumların yer aldığı nispeten büyük hacimli alanları işaretli mesafe fonksiyonları ve global kriging yöntemlerini kullanarak modellemeyi hedeflemektedir.

Eric Asa ve ark. (2012) çalışmasında, ulaşım projelerinde toprak verilerinin karakterizasyonu ve enterpolasyonu için üç lineer kriging (basit kriging, sıradan kriging ve evrensel kriging) ve üç lineer olmayan kriging (indikatör kriging, olasılık kriging ve ayırıcı kriging) algoritmalarından hangisinin en uygun yöntem olduğunu belirlemek için karşılaştırmalar yapmıştır. Vektör veri seti ile indikatör ve probability kriging yönteminin kullanılmasının en iyi sonuçları verdiği sonucuna ulaşmıştır.

Igúzquiza ve ark. (2012) çalışmalarında, yarı variogram model parametrelerindeki belirsizliği kömür değişkenlerinin mekânsal değişkenliğine yayarak kaynak risk değerlendirmesinde gelişmiş bir yaklaşım sunmayı amaçlamışlardır. Yarı variogram model parametrelerinin belirsizliği dikkate alındığında daha gerçekçi bir risk değerlendirmesinin elde edildiği sonucuna varmışlardır.

Tercan ve ark.(2013) çalışmasında, Türkiye'deki iki farklı kömür sahasında sondaj verilerine dayalı 3 boyutlu kömür damarı modellemesi, kömür kalite parametreleri ve kömür rezervinin tahmininde jeoistatistiksel yöntemler kullanmıştır.

Webber ve ark. (2013) çalışmalarında, sondaj kuyularından ve jeofiziksel kayıtlardan elde edilen verileri kullanarak kömür kalitesi tahmini için İndicatör Kriging yöntemini uygulamıştır.

Daya (2015) çalışmasında, Ordinary Kriging yöntemi kullanılarak damar tipi bir bakır yatağının tahmin edilmesi ve modellenmesini amaçlamıştır. Sonuçlar damar tipi bir bakır yatağının tahmin edilmesi ve modellenmesi için Ordinary Krigingin (OK) uygun bir yöntem olduğunu göstermiştir.

Uyan (2016) çalışmasında, arazi toplulaştırma projeleri için CBS teknolojisi ile ordinary kriging kullanarak tarımsal toprak indeksini belirlemek ve değerlendirmeyi amaçlamıştır. Çalışmasında Altı variogram modelinin (Dairesel, Küresel, Tetrasferik, Pentasferik, Üstel, Gauss) performanslarını karşılaştırmıştır.

Uyan (2019) çalışmasında, arazi toplulaştırma projelerine tarımsal toprak indeksi haritaları için üç enterpolasyon yönteminin performansını değerlendirmiş ve karşılaştırmıştır. Modelleme için üç mekansal enterpolasyon yöntemi (Ordinary Kriging (OK), Ters Mesafe Ağırlıklı (IDW) ve Radyal Temel Fonksiyonlar (RBF)) kullanılmıştır.

Siddiqui ve ark. (2015) çalışmalarında, Pakistan'daki Thar linyit sahasında 3 boyutlu damar modellemesi ve bazı kömür kalite parametrelerinin tahminleri için ordinary kriging yöntemine dayalı jeoistatistiksel yöntemler kullanmıştır.

Mert ve Dağ (2017) çalışmasında, pratik ve eğitici bir jeoistatistiksel program (JeoStat) geliştirmiş ve petrol sahası verileri kullanılarak porozite parametre dağılımının örnek analizini sunmuştur.

Hüsrevoğlu (2018) yüksek lisans tezinde, Türkiye'de meydana gelen yağış olaylarının yağış miktarı cinsinden konumsal dağılımının jeoistatistik analiz yöntemleri ile incelenerek haritalandırılması üzerinde çalışmıştır. Uygulamalar sonucunda jeoistatistik yöntemlerin deterministik yöntemlere göre daha uygun tahmin sonuçları ortaya çıkardığını belirlenmiştir. Buna ek olarak jeoistatistik yöntemleri de birbirleri arasında karşılaştırılmış ve en uygun tahmin bulgularının, trend etkisinin kaldırılması ve Küresel (Spherical) yarı variogram modelinin kullanılması ile tahminlerin yapıldığı Ordinary Kriging yöntemi ile elde edildiğini belirtmiştir.

Zulkarnain ve Bargawa (2018) çalışmasında, optimum sondaj mesafesini belirlemek için sıradan kriging yöntemini uygulamayı ve kömür kalitesi ve miktarı verilerine göre kömür kaynağını sınıflandırarak analiz etmeyi amaçlamıştır.

Bargawa ve Tobing (2020) çalışmasında, demir cevherinin sınıfını belirlenmesi için Ordinary Kriging (OK), ters mesafe ağırlıklandırma (IDW) ve en yakın komşu poligon (NNP) yöntemlerinin uygulanması ve bu tekniklerin değerlendirmesini ele almıştır.

Ramadhan ve ark. (2021) çalışmalarında, Kuzey Bengkulu'daki kömür madenlerinin kalınlık dağılımını ve değişimini belirlemek, kömür kaynaklarının konumunu ve derinliğini tahmin etmek, sınıflandırmak ve sondaj kuyuları arasındaki mesafeyi en uygun şekilde belirlemek için jeoistatistiksel yöntemler kullanmışlardır.

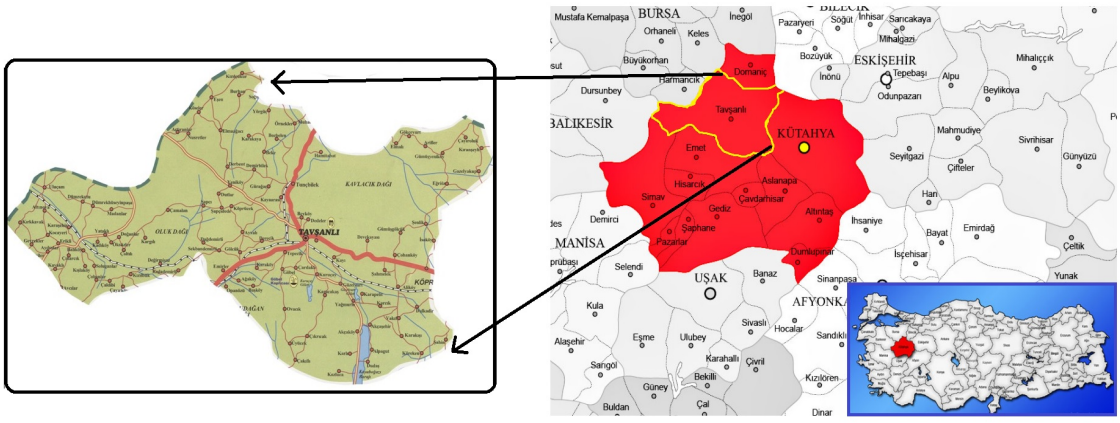
Uyan ve Dursun (2021) çalışmasında, Trakya Havzası'ndaki kömür damarlarının modellenmesini ve CBS teknolojisi ile jeoistatistiksel yöntemler (Ordinary Kriging) kullanarak çeşitli kömür kaynağı tahmin özellikleri için mekânsal dağılım haritaları üretmeyi amaçlamıştır. Çapraz değerleme yöntemi ile elde edilen sonuçlara göre, deneysel variogram için en uygun model dairesel model olarak tespit edilmiştir.

Kumar ve Dimitrakopoulos (2022) çalışmalarında, jeoistatistiksel olarak simüle edilmiş maden yatakları modellerini gerçek zamanlı olarak güncellemek için, gelen yeni bilgilerden öğrenen ve yüksek dereceli mekânsal istatistikleri hesaplayan yeni bir kendi kendine öğrenen yapay zekâ algoritması önermektedir.

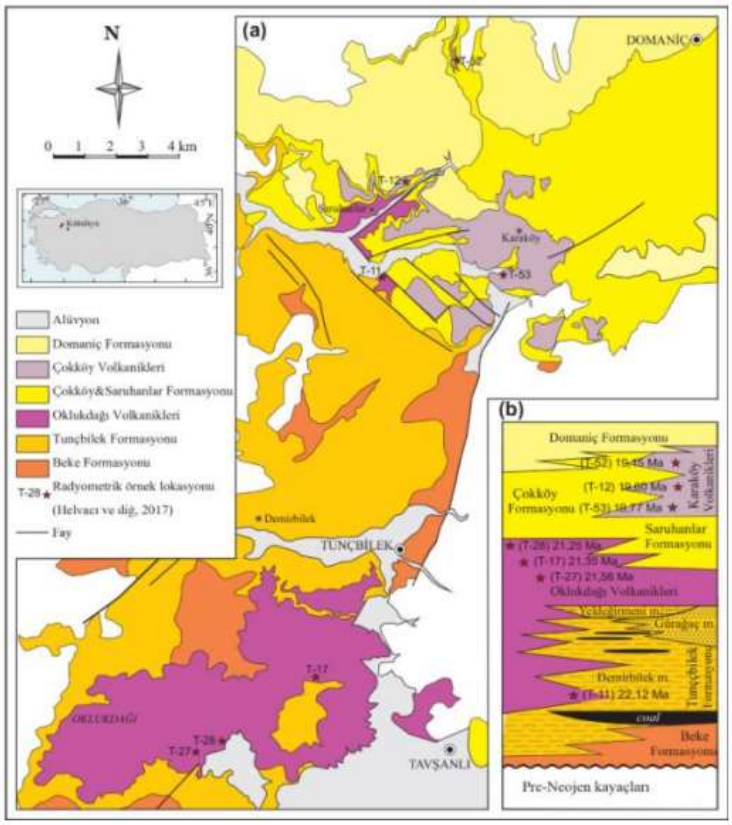
3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal ve Çalışma Alanı

Türkiye yaklaşık 17.2 milyar ton rezerv ile linyit üretiminde dünya da önemli bir konuma sahiptir. Başlıca linyit yatakları Kahramanmaraş-Elbistan, Muğla-Yatağan, Manisa-Soma, Kütahya-Tunçbilek/Seyitömer, Ankara-Beypazarı ve Sivas-Kangal havzalarındadır (Avsaroglu, 2020). Kütahya şehri Tunçbilek bölgesi Türkiye'nin en önemli linyit havzalarından bir tanesidir. Çalışma Sahası Şekil 3.1 ile gösterilmektedir. Kütahya havzasının jeolojik haritasını ve çalışma alanının linyit yatağı Şekil 3.2 ile gösterilmektedir. Tunçbilek Derin Sahalar Kömür Üretim Projesi: Tunçbilek derin sahaların projelendirilmesi sonrasında ruhsat devri yöntemi ile ekonomiye kazandırılmak üzere 114 milyon ton kaynağa sahip sahanın 2019–2020 yıllarında ihale edilmek üzere kurumsal prosedürlerinin tamamlanmasının ardından 2021–2023 plan döneminde üretime yönelik hazırlık çalışmalarının yapılması planlanmaktadır (Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu (TKİ), 2018). Tunçbilek bölgesinde çıkarılan linyit Tunçbilek termik santralinde enerjiye dönüşmekte bu elektrik enerjisi de ülkemizin enerji ihtiyacını karşılamada kullanılmaktadır. Çıkarılan elektrik enerjisi yaklaşık 100 bin kişinin ortalama elektrik ihtiyacını karşılamaktadır.

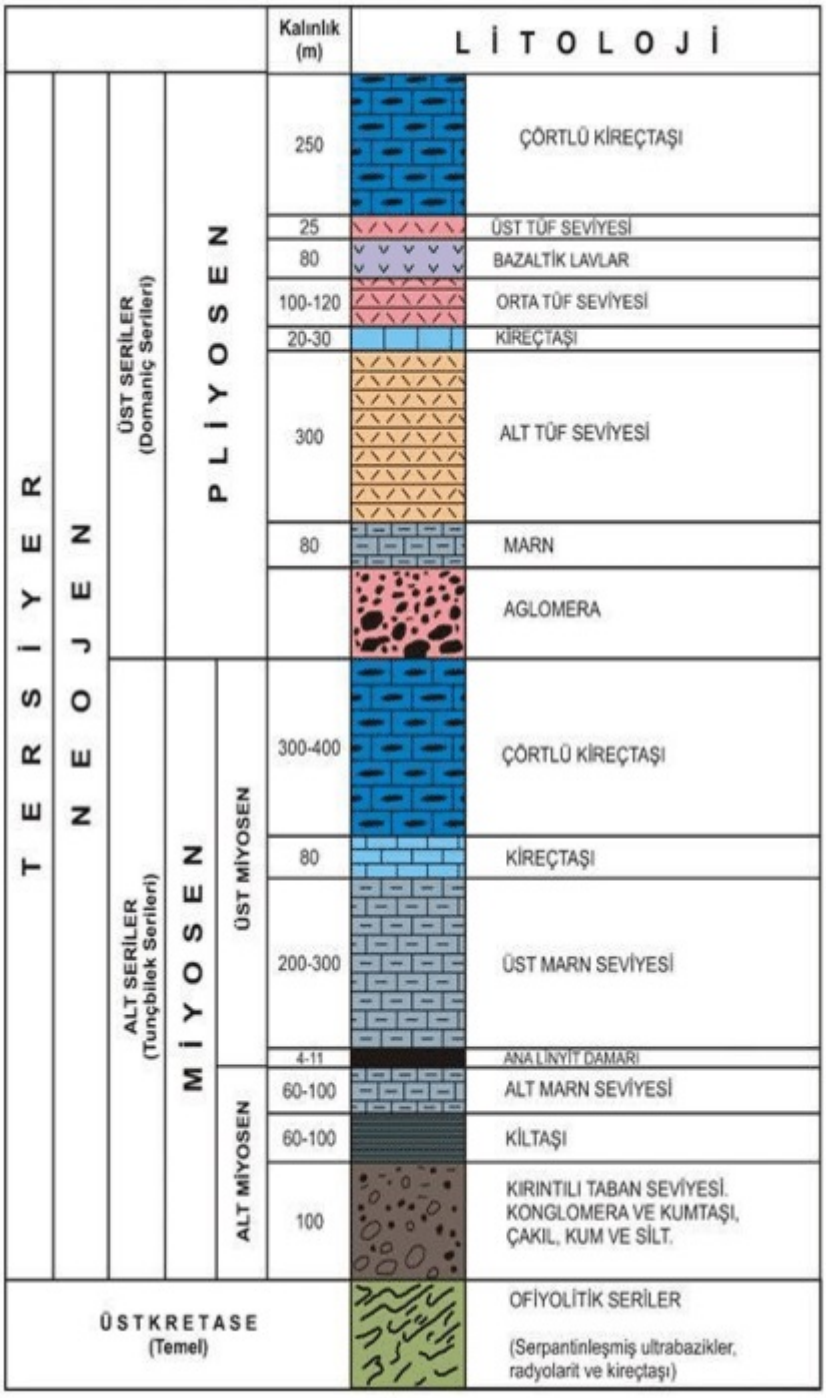


Şekil 3.1. Çalışma bölgesi



Şekil 3.2. Tunçbilek-Domaniç havzası (a) Basitleştirilmiş jeoloji haritası ve (b) sütunlu bölüm (Baş, 1986 ve Helvacı ve ark., 2017).

Tunçbilek kömür havzasındaki temel kayaçlar, Mezozoik yaşlı ultra bazik kayaçlardan oluşmaktadır (Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu (TKİ), 2018). Ultra bazik kayaçlar yer yer serpantinleşmiş olup, radyolarit ile karışık olarak bulunmaktadır. Temel kayaçlar üzerinde uyumsuz olarak Miyosen yaşlı çökeller bulunmaktadır. Miyosen birimleri, yer yer gevşek olan kumtaşı ve konglomera seviyesi ile başlar. Ardalanmalı olan kumtaşı ve konglomeralar genellikle serpantin, kuvars ve kireçtaşı çakılları içermektedir. Bunun üzerinde uyumlu olarak genellikle marn, killi marn, siltli marn, silttaşı, kumtaşı ardalanmasından oluşan birim bulunmaktadır. Bu birimin alt seviyeleri bol bitki kalıntısı içermektedir ve ekonomik linyit damarı burada bulunmaktadır. Miyosen'in en üst seviyesi ise genellikle kireçtaşı ve silisifiye kireçtaşından oluşmaktadır.



Şekil 3.3. Domaniç neojen havzasının genelleştirilmiş stratigrafik sütun kesiti (Başarır ve Karpuz, 2004).

Araştırmada kullanılan veriler MTA'dan temin edilmiştir. Şekil 3.3'te gösterilen sütun kesitleri 2006-2012 yılları arasında Kütahya Tunçbilek bölgesinde yaklaşık 544.5 ha. alanda MTA Genel Müdürlüğü tarafından açılan 252 adet sondaj deliği çalışmada kullanılmıştır. Şekil 3.3'te görülebileceği gibi linyit madeninin başladığı ve bittiği

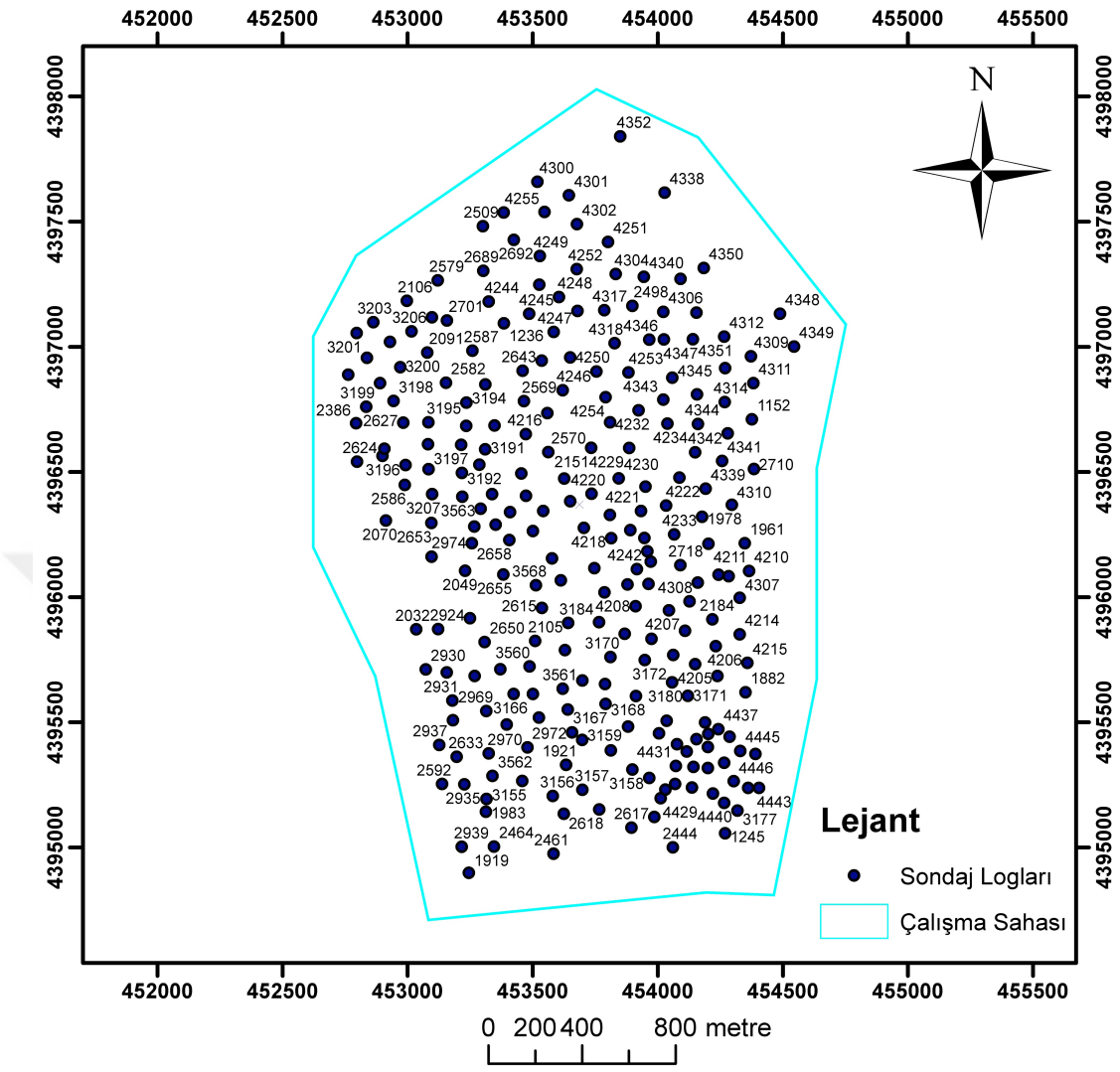
derinlikler sondaj noktalarına ait sütun kesitlerinde gösterilmektedir. Sondaj deliklerinin ayrıntıları ve yerleri sırasıyla Çizelge 3.1 ve Şekil 3.4, Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'da gösterilmektedir.

Çizelge 3.1. Sondaj noktalarına ait istatistiki veriler

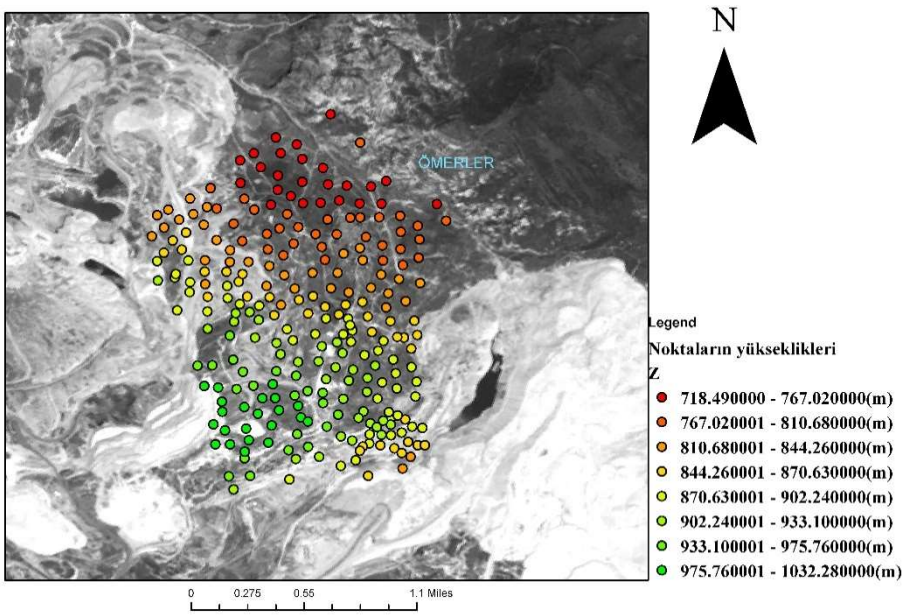
Toplam Sondaj Noktası	Toplam Sondaj Miktarı	En Düşük Sondaj Derinliği	En Yüksek Sondaj Derinliği	Ortalama Sondaj Derinliği
252	64690,34 m	80 m	458 m	256,71 m



Şekil 3.4. Sondaj noktalarının Google Haritalarda görünümü



Şekil 3.5. Çalışma sahası



Şekil 3.6. Sondaj deliklerinin yüksekliğe göre gösterimi

3.2. Yöntem

Bu tez çalışması, Kütahya Tunçbilek bölgesinde bulunan sondaj noktalarından elde edilen linyit kömürüne ait derinlik bilgilerini kullanarak tüm bölgedeki linyit rezervinin hacminin tahmin edilmesi amacıyla jeoistatistik analiz yöntemlerinin kullanılması esasına dayanmaktadır. Bunun için MTA genel müdürlüğünden temin edilen veriler kullanılarak tüm alana ait linyit kömürünün başladığı ve bittiği derinliğin, jeoistatistik analiz yöntemleri kullanılarak tahmin edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, tahmin işlemi için çeşitli kriging yöntemleri (Ordinary Kriging, Simple Kriging, Universal Kriging) kullanılmıştır. Kriging yöntemlerinde kullanılan teorik variogram modellerinden olan 11 adet variogram modeli kullanılarak elde edilmiştir. Veriler izotropik kabul edilmiştir ve trend etkisi kaldırılarak ve kaldırılmayarak sonuçlar elde edilmiştir. Veriler hem çarpık hem de logaritmik dönüşüm uygulaması ile normal dağılıma yaklaştırılarak variogram hesabında kullanılmıştır. Yukarıda bahsedilen unsurların jeoistatistik tahmin sonuçlarına nasıl etki ettiği elde edilen uygulama sonuçlarına ait istatistiki veriler ile incelenmiştir. Son olarak yapılan istatistiki işlemler sonucunda elde edilen tahmini değerler çapraz değerleme yöntemi ile değerlendirmiş ve bölgede kullanılacak en doğru istatistiki yöntem seçilmiştir.

Jeoistatistik analiz yöntemlerinin aşamaları aşağıda verilmektedir;

1. Kütahya Tunçbilek bölgesi üzerinde yapılan sondaj işlemlerinden elde edilen sütun kesitleri ve koordinat bilgileri MTA'dan temin edilmiştir.
2. Elde edilen verilerin çarpık olarak dağıldığı tespit edilmiştir. Veriler hem çarpık hem de logaritmik dönüşüm uygulaması ile normal dağılıma yaklaştırılarak variogram hesabında kullanılmıştır. Bu sayede veri dağılımının sonuca etkisi hesaplanabilmiştir.
3. Uygulamada hem trend etkisi bulunan veriler hem de 2. Derece polinomlar ile trend etkisi kaldırılmış veriler kullanılmıştır. Bu sayede trend etkisinin sonuca etkisi hesaplanabilmiştir.
4. Variogram bir yöne bağlıysa, anizotropik ve aksi halde izotropik olarak bilinir. İlk olarak anizotropi kontrol edildi. Anizotropiyi kontrol etmek için çeşitli yönlerde variogramlar karşılaştırıldı (0^0, 45^0 , 90^0 , 135^0 ve açı toleransı= ±22.50). Karşılaştırmalar sonucunda hesaplanan variogramların yapıları arasında önemli farklılıklar olmadığı görülmüştür. Bu nedenle, mekânsal varyasyon izotropik olarak kabul edildi.
5. Yukarıda bahsedilen her bir etkenin uygulandığı yarı variogram modellerinin sonuca etkisi, çapraz değerleme yöntemiyle her model için karşılaştırılmıştır.
6. Uygulanan modellerden elde edilen sonuçlar çapraz değerleme yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmak için elde edilen tahminlerin ortalama hatası (ME, Mean Error), standartlaştırılmış hata (Mean Standardized Error, MSE), ortalama standart hata (Average Standart Error, ASE), tahminin karesel ortalama hatalarının kökü (Root Mean Square Error, RMSE), tahminin standartlaştırılmış karesel ortalama hatalarının kökü (Root Mean Square Standardized Error, RMSSE) değerleri incelenmiştir.

Sonuç olarak kullanılan farklı variogram modellerinin, trend etkisinin, verilerin dağılımının kriging yöntemlerini ne kadar etkilediği ve en uygun sonucun hangi uygulama modeli ile elde edilebileceği araştırılmıştır.

Tüm bu işlemler ArcGIS uygulaması ile gerçekleştirilmiş olup elde edilen sonuç değerler ArcGIS ortamında harita üzerinde görselleştirilmiştir. Bu uygulama için izlenen akış diyagramı Şekil 3.7 de gösterilmektedir.

Tez içerisinde kriging yöntemleri ile gerçekleştirilen uygulama türleri aşağıdaki çizelgelerde verilmiştir.

Çizelge 3.2. Uygulama 1'de kullanılan tahmin yöntemleri (Alt ve üst yüzey için ayrı arı uygulanmıştır)

UYGULAMA 1				
Yöntem Adı	Veri Dağılımı	Trend	Model	İzotropik /Anizotropik Uygulama
Ordinary Kriging-01	Çarpık	Var	Circular	İzotropik
Ordinary Kriging-02	Çarpık	Var	Spherical	İzotropik
Ordinary Kriging-03	Çarpık	Var	Thetraspherical	İzotropik
Ordinary Kriging-04	Çarpık	Var	Pentaspherical	İzotropik
Ordinary Kriging-05	Çarpık	Var	Exponential	İzotropik
Ordinary Kriging-06	Çarpık	Var	Gaussian	İzotropik
Ordinary Kriging-07	Çarpık	Var	Rational Quadratic	İzotropik
Ordinary Kriging-08	Çarpık	Var	Halo Effect	İzotropik
Ordinary Kriging-09	Çarpık	Var	K-Bessel	İzotropik
Ordinary Kriging-10	Çarpık	Var	J-Bessel	İzotropik
Ordinary Kriging-11	Çarpık	Var	Stable	İzotropik
Simple Kriging-01	Çarpık	Var	Circular	İzotropik
Simple Kriging-02	Çarpık	Var	Spherical	İzotropik
Simple Kriging-03	Çarpık	Var	Thetraspherical	İzotropik
Simple Kriging-04	Çarpık	Var	Pentaspherical	İzotropik
Simple Kriging-05	Çarpık	Var	Exponential	İzotropik
Simple Kriging-06	Çarpık	Var	Gaussian	İzotropik
Simple Kriging-07	Çarpık	Var	Rational Quadratic	İzotropik
Simple Kriging-08	Çarpık	Var	Hoao Effect	İzotropik
Simple Kriging-09	Çarpık	Var	K-Bessel	İzotropik
Simple Kriging-10	Çarpık	Var	J-Bessel	İzotropik
Simple Kriging-11	Çarpık	Var	Stable	İzotropik

Çizelge 3.3. Uygulama 2'de kullanılan tahmin yöntemleri (Alt ve üst yüzey için ayrı arı uygulanmıştır)

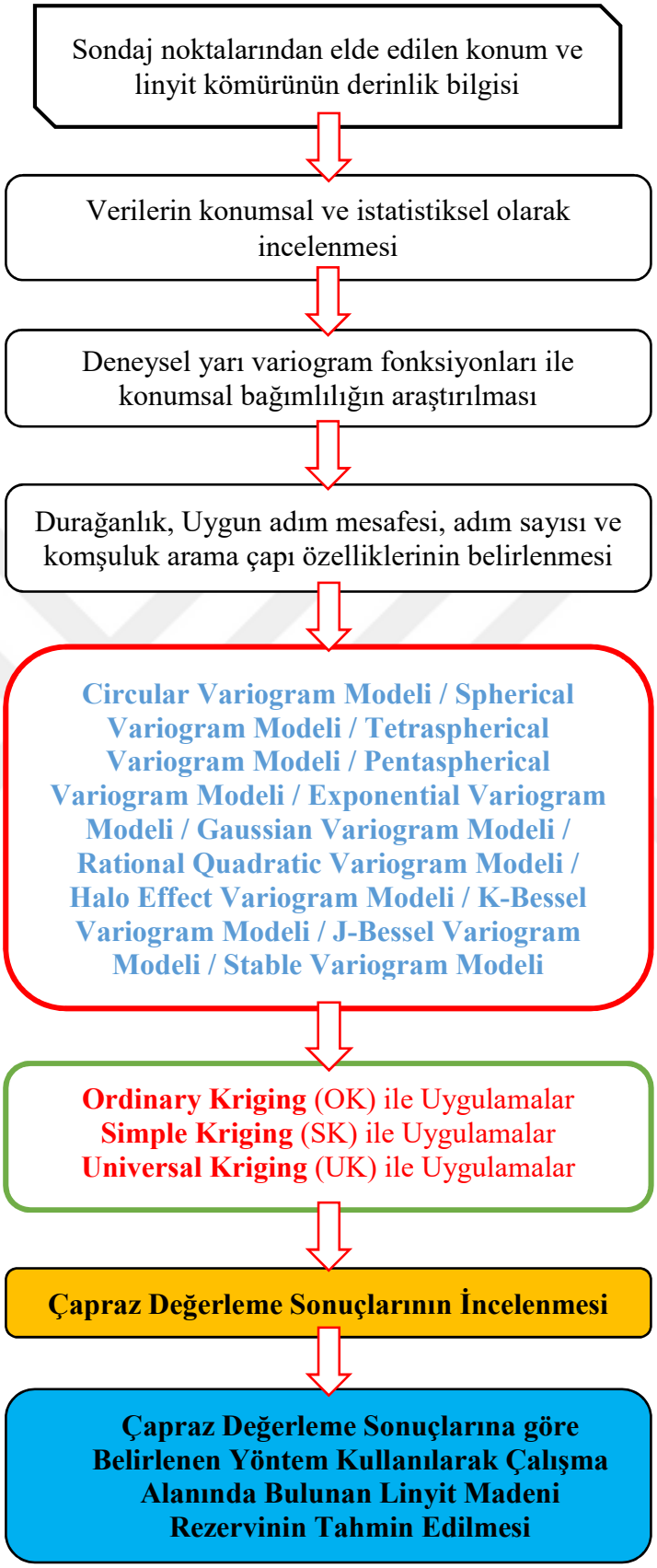
UYGULAMA-2				
Yöntem Adı	Veri Dağılımı	Trend	Model	İzotropik /Anizotropik Uygulama
Ordinary Kriging-12	Çarpık	Kaldırıldı	Circular	İzotropik
Ordinary Kriging-13	Çarpık	Kaldırıldı	Spherical	İzotropik
Ordinary Kriging-14	Çarpık	Kaldırıldı	Thetraspherical	İzotropik
Ordinary Kriging-15	Çarpık	Kaldırıldı	Pentaspherical	İzotropik
Ordinary Kriging-16	Çarpık	Kaldırıldı	Exponential	İzotropik
Ordinary Kriging-17	Çarpık	Kaldırıldı	Gaussian	İzotropik
Ordinary Kriging-18	Çarpık	Kaldırıldı	Rational Quadratic	İzotropik
Ordinary Kriging-19	Çarpık	Kaldırıldı	Halo Efect	İzotropik
Ordinary Kriging-20	Çarpık	Kaldırıldı	K-Bessel	İzotropik
Ordinary Kriging-21	Çarpık	Kaldırıldı	J-Bessel	İzotropik
Ordinary Kriging-22	Çarpık	Kaldırıldı	Stable	İzotropik
Simple Kriging- 12	Çarpık	Kaldırıldı	Circular	İzotropik
Simple Kriging- 13	Çarpık	Kaldırıldı	Spherical	İzotropik
Simple Kriging-14	Çarpık	Kaldırıldı	Thetraspherical	İzotropik
Simple Kriging-15	Çarpık	Kaldırıldı	Pentaspherical	İzotropik
Simple Kriging-16	Çarpık	Kaldırıldı	Exponential	İzotropik
Simple Kriging-17	Çarpık	Kaldırıldı	Gaussian	İzotropik
Simple Kriging-18	Çarpık	Kaldırıldı	Rational Quadratic	İzotropik
Simple Kriging-19	Çarpık	Kaldırıldı	Halo Effect	İzotropik
Simple Kriging-20	Çarpık	Kaldırıldı	K-Bessel	İzotropik
Simple Kriging-21	Çarpık	Kaldırıldı	J-Bessel	İzotropik
Simple Kriging-22	Çarpık	Kaldırıldı	Stable	İzotropik
Universal Kriging-01	Çarpık	Kaldırıldı	Circular	İzotropik
Universal Kriging-02	Çarpık	Kaldırıldı	Spherical	İzotropik
Universal Kriging-03	Çarpık	Kaldırıldı	Thetraspherical	İzotropik
Universal Kriging-04	Çarpık	Kaldırıldı	Pentaspherical	İzotropik
Universal Kriging-05	Çarpık	Kaldırıldı	Exponential	İzotropik
Universal Kriging-06	Çarpık	Kaldırıldı	Gaussian	İzotropik
Universal Kriging-07	Çarpık	Kaldırıldı	Rational Quadratic	İzotropik
Universal Kriging-08	Çarpık	Kaldırıldı	Halo Effect	İzotropik
Universal Kriging-09	Çarpık	Kaldırıldı	K-Bessel	İzotropik
Universal Kriging-10	Çarpık	Kaldırıldı	J-Bessel	İzotropik
Universal Kriging-11	Çarpık	Kaldırıldı	Stable	İzotropik

Çizelge 3.4. Uygulama 3'te kullanılan tahmin yöntemleri (Alt ve üst yüzey için ayrı arı uygulanmıştır)

UYGULAMA-3				
Yöntem Adı	Veri Dağılımı	Trend	Model	İzotropik /Anizotropik Uygulama
Ordinary Kriging-23	Logaritmik Dağılım	Var	Circular	İzotropik
Ordinary Kriging-24	Logaritmik Dağılım	Var	Spherical	İzotropik
Ordinary Kriging-25	Logaritmik Dağılım	Var	Thetraspherical	İzotropik
Ordinary Kriging-26	Logaritmik Dağılım	Var	Pentaspherical	İzotropik
Ordinary Kriging-27	Logaritmik Dağılım	Var	Exponential	İzotropik
Ordinary Kriging-28	Logaritmik Dağılım	Var	Gaussian	İzotropik
Ordinary Kriging-29	Logaritmik Dağılım	Var	Rational Quadratic	İzotropik
Ordinary Kriging-30	Logaritmik Dağılım	Var	Halo Effect	İzotropik
Ordinary Kriging-31	Logaritmik Dağılım	Var	K-Bessel	İzotropik
Ordinary Kriging-32	Logaritmik Dağılım	Var	J-Bessel	İzotropik
Ordinary Kriging-33	Logaritmik Dağılım	Var	Stable	İzotropik
Simple Kriging-23	Logaritmik Dağılım	Var	Circular	İzotropik
Simple Kriging24	Logaritmik Dağılım	Var	Spherical	İzotropik
Simple Kriging-25	Logaritmik Dağılım	Var	Thetraspherical	İzotropik
Simple Kriging-26	Logaritmik Dağılım	Var	Pentaspherical	İzotropik
Simple Kriging-27	Logaritmik Dağılım	Var	Exponential	İzotropik
Simple Kriging-28	Logaritmik Dağılım	Var	Gaussian	İzotropik
Simple Kriging-29	Logaritmik Dağılım	Var	Rational Quadratic	İzotropik
Simple Kriging-30	Logaritmik Dağılım	Var	Halo Effect	İzotropik
Simple Kriging-31	Logaritmik Dağılım	Var	K-Bessel	İzotropik
Simple Kriging-32	Logaritmik Dağılım	Var	J-Bessel	İzotropik
Simple Kriging-33	Logaritmik Dağılım	Var	Stable	İzotropik

Çizelge 3.5. Uygulama 4'te kullanılan tahmin yöntemleri (Alt ve üst yüzey için ayrı arı uygulanmıştır)

UYGULAMA-4				
Yöntem Adı	Veri Dağılımı	Trend	Model	İzotropik /Anizotropik Uygulama
Ordinary Kriging-34	Logaritmik Dağılım	Kaldırıldı	Circular	İzotropik
Ordinary Kriging-35	Logaritmik Dağılım	Kaldırıldı	Spherical	İzotropik
Ordinary Kriging-36	Logaritmik Dağılım	Kaldırıldı	Thetraspherical	İzotropik
Ordinary Kriging-37	Logaritmik Dağılım	Kaldırıldı	Pentaspherical	İzotropik
Ordinary Kriging-38	Logaritmik Dağılım	Kaldırıldı	Exponential	İzotropik
Ordinary Kriging-39	Logaritmik Dağılım	Kaldırıldı	Gaussian	İzotropik
Ordinary Kriging-40	Logaritmik Dağılım	Kaldırıldı	Rational Quadratic	İzotropik
Ordinary Kriging-41	Logaritmik Dağılım	Kaldırıldı	Halo Effect	İzotropik
Ordinary Kriging-42	Logaritmik Dağılım	Kaldırıldı	K-Bessel	İzotropik
Ordinary Kriging-43	Logaritmik Dağılım	Kaldırıldı	J-Bessel	İzotropik
Ordinary Kriging-44	Logaritmik Dağılım	Kaldırıldı	Stable	İzotropik
Simple Kriging-34	Logaritmik Dağılım	Kaldırıldı	Circular	İzotropik
Simple Kriging-35	Logaritmik Dağılım	Kaldırıldı	Spherical	İzotropik
Simple Kriging-36	Logaritmik Dağılım	Kaldırıldı	Thetraspherical	İzotropik
Simple Kriging-37	Logaritmik Dağılım	Kaldırıldı	Pentaspherical	İzotropik
Simple Kriging-38	Logaritmik Dağılım	Kaldırıldı	Exponential	İzotropik
Simple Kriging-39	Logaritmik Dağılım	Kaldırıldı	Gaussian	İzotropik
Simple Kriging-40	Logaritmik Dağılım	Kaldırıldı	Rational Quadratic	İzotropik
Simple Kriging-41	Logaritmik Dağılım	Kaldırıldı	Halo Effect	İzotropik
Simple Kriging-42	Logaritmik Dağılım	Kaldırıldı	K-Bessel	İzotropik
Simple Kriging-43	Logaritmik Dağılım	Kaldırıldı	J-Bessel	İzotropik
Simple Kriging-44	Logaritmik Dağılım	Kaldırıldı	Stable	İzotropik
Universal Kriging-12	Logaritmik Dağılım	Kaldırıldı	Circular	İzotropik
Universal Kriging-13	Logaritmik Dağılım	Kaldırıldı	Spherical	İzotropik
Universal Kriging-14	Logaritmik Dağılım	Kaldırıldı	Thetraspherical	İzotropik
Universal Kriging-15	Logaritmik Dağılım	Kaldırıldı	Pentaspherical	İzotropik
Universal Kriging-16	Logaritmik Dağılım	Kaldırıldı	Exponential	İzotropik
Universal Kriging-17	Logaritmik Dağılım	Kaldırıldı	Gaussian	İzotropik
Universal Kriging-18	Logaritmik Dağılım	Kaldırıldı	Rational Quadratic	İzotropik
Universal Kriging-19	Logaritmik Dağılım	Kaldırıldı	Halo Effect	İzotropik
Universal Kriging-20	Logaritmik Dağılım	Kaldırıldı	K-Bessel	İzotropik
Universal Kriging-21	Logaritmik Dağılım	Kaldırıldı	J-Bessel	İzotropik
Universal Kriging-22	Logaritmik Dağılım	Kaldırıldı	Stable	İzotropik



Şekil 3.7. Tez çalışmasının, uygulama ve araştırma akış diyagramı

4. MEKANSAL ENTERPOLASYON YÖNTEMLERİ

Enterpolasyon daha önce ölçüm yapılmamış noktaya ait değerleri elde etmek için uygulanan tahmin yöntemidir. Yakın veya uzak nesneler arasındaki ilişkiyi ölçen mekânsal otokorelasyon prensibine dayandırılır.

Mekânsal otokorelasyon nesnelerin birbiri ile ilişkisinin olup olmadığını belirler. Eğer otokorelasyon varsa mekânsal bir model olup olmadığı araştırılır. Korelasyon aşağıdakileri ölçer;

- Bir alandaki objelerin benzerliği
- Bir mekânsal olgunun alanda kendisiyle ilişkilendirilme derecesi.
- Değişkenlerin birbirine bağlı olma derecesi
- Karşılıklı bağımlılığın doğası ve derecesi

İki enterpolasyon tekniği kategorisi vardır: Deterministik ve jeoistatistiksel. Deterministik enterpolasyon teknikleri ölçülmüş noktalara veya matematiksel formüllere dayanan yüzeyler oluşturur. Ters Mesafe Ağırlığı (IDW) gibi yöntemler, nesnelerin benzerlik derecesine dayanır. Kriging gibi jeoistatistiksel enterpolasyon teknikleri ise, istatistiklere dayalıdır ve tahminlerin kesinliğinin veya doğruluğunun bir ölçüsünü de içeren daha gelişmiş tahmin yüzey modellemesi için kullanılır.

1. Mekanik (deterministik) modeller

Bunlar, keyfi veya deneysel model parametrelerinin kullanıldığı modellerdir. Model hatasının tahmini yoktur ve genellikle bir özelliğin değişkenliği ile ilgili kesin bir varsayım yoktur. Bu gruba ait en yaygın teknikler:

- Thiessen polygons (Thiessen çokgenleri);
- Inverse distance interpolation (Ters mesafe enterpolasyonu);
- Regression on coordinates (Koordinatlarda Regresyon);
- Natural neighbors (Doğal Komşuluk);
- Splines (Spline Enterpolasyonu) vb. şeklindedir.

2. Doğrusal istatistiksel (olasılık) modelleri

İstatistiksel modeller durumunda, model parametreleri olasılık teorisini takiben, genellikle tarafsız bir şekilde tahmin edilir. Tahminlere, yapılan tahminin içerdiği hatanın bir tahmini eşlik eder. Giriş veri setinin genellikle sıkı istatistiksel varsayımları yerine

getirmesi gerektiği dezavantaj olarak görülebilir. En az dört lineer istatistiksel model grubu vardır:

- kriging (Jeoistatistik);
- environmental correlation (Regresyon tabanlı);
- Bayesian-based models (Bayesian maksimum entropi);
- hybrid models (Regresyon-kriging) vb. şeklindedir.

Jeoistatistiğin ilk uygulamaları, 1951 yılında Güney Afrika'da bulunan altın madenlerinin mekânsal olarak ilişkilendirilmiş örnek verilerinden cevher derecelerini tahmin etmek amacıyla Daniel Krige tarafından gerçekleştirilmiştir. 1960'lı yıllara gelindiğinde deneysel olarak ilk defa Daniel Krige tarafından uygulanan yöntem meslektaşı Matheron tarafından resmileştirildi ve yönteme Daniel Krige'yi onure etmek için "Kriging" adı verildi.

Matheron'a göre; Jeoistatistik doğal olguların tahmininde ve keşfinde rassal fonksiyonları biçimlendirme yöntemidir (Uyguçgil, 2007). Jeoistatistik, doğal olayların mekânsal sürekliliğini tanımlamanın bir yolunu sunar ve bu süreklilikten yararlanmak için klasik regresyon tekniklerinin uyarlamalarını sağlar. Jeoistatistiğin ilgilendiği sorular şunlardır (Pereira, 2009):

- Bir değişken uzay-zamanda nasıl değişir?
- Uzay-zaman değişimini ne kontrol ediyor?
- Mekânsal değişkenliği tanımlamak için örnekleri nereye yerleştirmeli?
- Mekânsal değişkenliği belirlemek için kaç örnek gerekiyor?
- Ölçü alınmamış noktadaki değişkenin değeri nedir?
- Tahmin edilen değerlerin belirsizliği nedir?

Jeoistatistiksel yöntemler ilk olarak madencilik alanında uygulanmış, daha sonra günümüze kadar çevre bilimcileri, toprak bilimcileri, hidrologlar, jeologlar ve atmosfer bilimcileri tarafından birçok alanda uygulanmaya devam etmiştir (Uyan ve Dursun, 2021). Artık Jeoistatistiksel yöntemler, petrol mühendisliği, madencilik ve jeoloji, meteoroloji, hidroloji, toprak bilimi, hassas tarım, kirlilik kontrolü, halk sağlığı, balıkçılık, bitki ve hayvan ekolojisi ve uzaktan algılama alanlarında yaygın olarak uygulanmaktadır (Oliver ve Webster, 2014). Jeoistatistiğin maden alanında kullanımları aşağıda verilmiştir;

- Maden yatağındaki cevher kalite tahmini

- Jeolojik bir katmanın derinliği ve kalınlığı

Maden alanında Jeoistatistiksel veri analizinin ana odak noktası, kömür kalitesi ve kalınlığı gibi değişkenlerdeki mekânsal etkileri anlamak ve açıklamaktır. Jeoistatistikçilerin mekânsal varyasyonu merak etmelerinin nedeni, bir kömür yatağının değerlendirilmesinde kilit açıdan önemli bir rol oynamasıdır (Srivastava, 2013):

- Maden Yatağının jeolojik evrimi, ölçülen değerlerin belirli yöne bağlı olarak değişmesine neden oluyorsa, enterpolasyon yaptığımızda bu durumu hesaba katarak tahminlerimizin güvenilirliğini arttırabiliriz.
- Verilerdeki veya özellikle veri alt gruplarındaki bozukluk hakkında bilgiye sahip olmak, herhangi bir belirli veri noktasına ne kadar güvenmemiz gerektiği konusunda bize yardımcı olur. Mekânsal çeşitlilik anlayışımız, gürültülü ve güvenilir verilerin kombinasyonunu en iyi şekilde nasıl değerlendirileceği konusunda iyi seçimler yapmamıza yardımcı olacaktır.
- Proje alanında işlem yapmadan önce proje alanına ait mekânsal değişkenlik hakkında bilgi sahibi olmak verilerde meydana gelen ani değişimlerin tahmin edilmesinde önemli bir yere sahiptir. Eğer kısa mesafelerde kömür kalitesinde önemli değişiklikler meydana gelebileceğini biliyorsak, sevk edilen kömür kalitesinde günlük olarak büyük dalgalanmalar olacağını tahmin edebiliriz.
- Bir tahmine olan güvenimiz, elde edilen verilerin gösterdiği dalgalanmaya ve ölçülen veri noktaları arasındaki mesafeye bağlı olduğundan dolayı, mekânsal değişkenlik modeli hakkında sahip olduğumuz bilgi, tahminlerimizdeki belirsizliği ölçmek için değerlidir. Risk analizi ve belirsizlik karşısında karar verme becerisi, tüm tahminlerimiz için belirlenmiş güven aralıklarının güvenilirliğine göre değişim gösterir.

Hiçbir model, yeryüzündeki çeşitliliği tam olarak tanımlayamaz, bir başka deyişle tüm enterpolasyon yöntemleri az çok hatalı sonuçlar vermektedir. Jeoistatistiğin rolü buradadır çünkü jeoistatistik analiz yöntemi bu hataların büyüklüğünün tahminini sağlamaktadır. Jeoistatistiği özellikle ön plana çıkaran özelliği, tahminlerinin prensipte tarafsız olmasıdır (Oliver ve Webster, 2015).

Jeoistatistiğin mekânsal rastgele süreçler teorisine dayanan bir istatistiksel teknikler bütünü olması jeoistatistiğin bu kadar çok alanda uygulanmasının başlıca nedenidir. Sistematik olmaktan uzak ve tüm mekânsal ölçeklerde değişen özelliklerle

uğraşmamızı sağlar. Jeoistatistik, yer bilimlerinde Bölgeselleştirilmiş Değişkenler Teorisi'ne dayandırılmıştır. Bölgeselleşmiş değişken, konumdan konuma düzensiz bir şekilde sıkça değişen ve değişimi basit bir fonksiyonla modellenemeyen, değeri konumunun bir fonksiyonu olarak ifade edilebilen bir değişkendir (Uyguçgil, 2007). Jeoistatistiksel öğrenmenin temeli, aşağıdakileri içeren "Bölgeselleştirilmiş Değişkenler Teorisi"dir (Ramadhan ve ark., 2021):

a) Veriler rastgeledir.

b) Veriler birbirine bağlıdır (bağımlılık).

c) Veri noktaları birbirine yaklaştıkça benzerlik artmakta, uzaklaştıkça da benzerlik azalmaktadır.

Veriler normal olarak dağıtıldığında ve sabit olduğunda jeostatistik yöntem ideal olabilir. Trend veya dalgalanması yoksa, veriler ortalama değere veya çalışma alanı için hesaplanan varyansa yakındır. Veri normalliğinden ve veri durağanlığından önemli sapmalar sorunlara neden olabilir. Durağanlık kavramı, jeoistatistiğin temelini oluşturur ve bir yerden bir yere aynı derecede değişim olduğunu varsaymamıza izin verir (Oliver ve Webster, 2014).

Bilgi işlem donanımı ve CBS yazılımlarındaki son gelişmeler, büyük mekânsal veri tabanları ile doğrudan etkileşime girmeyi ve çok çeşitli CBS işlemleri için anında sonuçlar elde etmeyi mümkün kılmıştır. Hızla gelişen CBS teknolojisi ile meydana gelen depolama, erişim ve görüntülemedeki karmaşıklık, genel ve özel olarak mekânsal istatistiksel analizlerin yapılabilmesi için yeni araçlara yönelik bir talep yaratmıştır. Bu talep, geleneksel ve mekânsal analiz tekniklerinin CBS ortamında karşılaşılan zorlukları ele almak için yetersiz olduğunun farkındalığından kaynaklanmıştır. Spesifik olarak, mekânsal oto korelasyon ve mekânsal regresyon modelleri için uygulanan testler, çoğu mekânsal istatistiksel teknik gibi statiktir ve veriler, modeller ve analizci arasında yalnızca sınırlı etkileşime izin verir. Buna karşılık, veri analizine yönelik dinamik veya etkileşimli yaklaşımlar, grafiksel bir ortamda yapının araştırılmasına ve modellerin keşfedilmesine yardımcı olmak için verilerin anında seçilmesi, silinmesi, döndürülmesi, istenen doğrultuda yönlendirilmesine izin veren kullanıcı etkileşimini ön plana çıkarır.

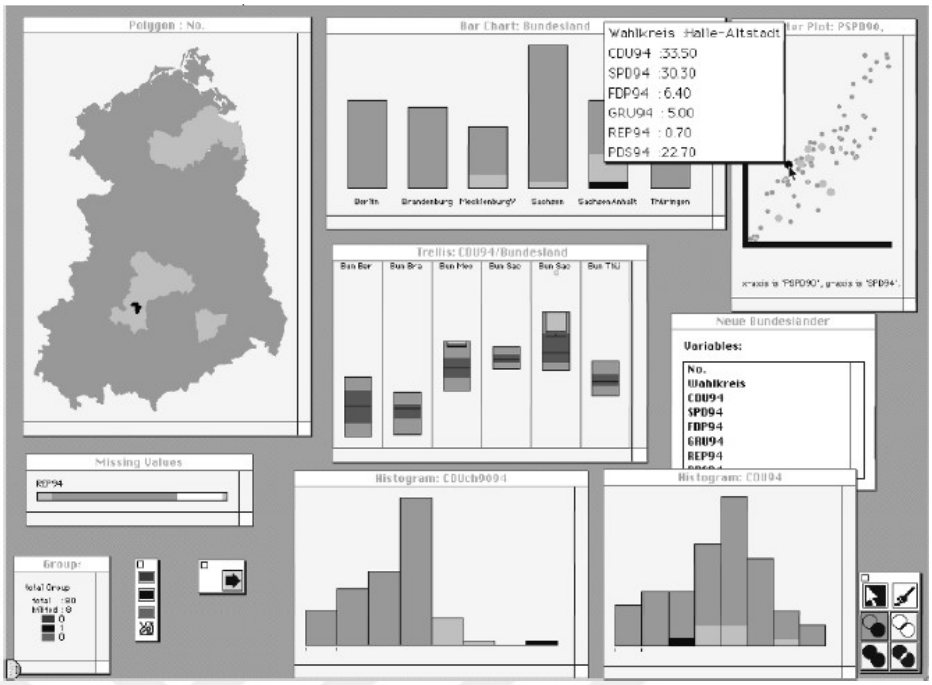
İstatistiksel veri analizindeki ilk adım, üç veri özelliğini doğrulamaktır: bağımlılık, durağanlık ve dağılım. Veriler bağımsızsa, onları jeoistatistiksel olarak analiz etmek pek mantıklı olmaz. Veriler durağan değilse, genellikle veri trendini azaltma ve veri dönüştürme yoluyla sabit hale getirilmeleri gerekir. Jeoistatistik, giriş verileri Gauss

dağılımında en iyi sonucu vermektedir. Veriler Gauss dağılımına sahip değilse, verilerin Gauss dağılımına yakınlaştırılması gerekir. Jeoistatistiksel analiz metodunda, bu görevleri gerçekleştirmek için keşfedici veri analizi araçları kullanılır.

Keşfedici veri analizi (Exploratory Data Analysis, EDA)'nın CBS'nin mekânsal analitik yeteneklerini geliştirmedeki önemi geniş çapta kabul görmüştür. Keşfedici veri analizi (EDA), veri özelliklerini özetlemek, verilerdeki modelleri tespit etmek, verilerdeki olağandışı veya ilginç özellikleri belirlemek, hataları tespit etmek, bir veri setindeki tesadüfi ve önemli özellikleri ayırt etmek ve verilerden hipotezler üretmek için var olan teknikler topluluğudur (Haining, 2014). EDA, model uyumunun değerlendirilmesinde, analizin sonraki aşamalarında da kullanılabilir. Teknikler tipik olarak görseldir (tablolar, grafikler ve şekiller) veya sayısaldır (dirençli istatistikler, yani az sayıda uç değerden büyük ölçüde etkilenmeyen istatistikler). Mekânsal veri analizi genellikle "veri açısından zengin fakat teori açısından zayıf" olarak nitelendirildiğinden, EDA'nın uygulanması için ideal bir ortam olarak düşünülebilir. Ancak, EDA'nın mekânsal veriler üzerinde uygulanması uygun olmayabilir, çünkü mekânsal verilerin doğası, EDA'nın uygulanması için vazgeçilmez olan bağımsızlık varsayımına dayanan yöntemlerin yorumlanmasında sorun teşkil edebilir. Bu nedenle, mekânsal verilerin özel doğasını açıkça hesaba katan özel keşfedici mekânsal veri analizi (ESDA) yöntemleri geliştirme ihtiyacı ortaya çıkmıştır.

Keşfedici mekânsal veri analizi (ESDA), keşfedici veri analizinin (EDA), her bir öznitelik değeri için bir konumsal verinin olduğu veri kümelerinin mekânsal özelliklerini saptama sorununa uzantısıdır (Diggle ve ark., 1998). ESDA'nın amacı verilerdeki mekânsal modelleri saptamak, verilerin coğrafyasına dayanan hipotezleri formüle etmek ve mekânsal modelleri değerlendirmektir. Kullanılan teknikler EDA'da olduğu gibi görseldir. Ancak, ESDA sayısal ve grafiksel prosedürleri harita ile ilişkilendirebilmektedir. Bir başka değişle, ESDA, meydana gelen olayların haritada yeri, haritanın bir kısmında yer alan öznitelik verilerinin başka hangi bölümde bulunduğu veya haritada hangi bölgelerin istenen özniteliklere sahip olduğu gibi sorulara cevap verebilmektedir.

ESDA sürecinde verilerin birbirleri ile ilişkilendirilmesi ve incelenebilmesi için harita, sütun grafiği, koşullu (kafes) çizimi, histogram, dağılım grafiği ve eksik değer grafiğinin yanı sıra belirli bir konumda gözlemlenen değişkenlerin adları ve değerlerini içeren listelere ihtiyaç duyulur (Anselin, 1996).



Şekil 4.1. Mekansal verileri keşfetmek için etkileşimli dinamik grafikler (Anselin, 1996).

ESDA'nın jeoistatistikteki ana odak noktası, variogramın daha sağlam tahminlerini elde etmek için 'olağandışı' ve modele etki eden alanları belirlemektir. Bu tür konumlara mekânsal aykırı değerler denir ve jeoistatistiksel modelleme veya mekânsal tahmin (Kriging) ile devam etmeden önce daha yakından incelenmesi gerekir. Diğer bir ifade ile jeoistatistiksel yöntemler mekânsal verilere ait değişkenleri modelleme (Variogram) ve bilinen değişkenlere ait veriler ile bilinmeyenleri tahmin etme (kriging) yöntemlerini içerir (Başbozkurt, 2015). İlk aşama genellikle yarı variogram grafiklerinin oluşturulması ve yorumlanmasından oluşur bu aşamayı ilgili Kriging yönteminin uygulanması takip eder.

4.1. Verilerin İstatistiksel Dağılımının Araştırılması

Klasik araştırmalardan elde edilen veriler tipik olarak; ortalama, medyan, mod, varyans, çarpıklık, gibi birçok veri keşif yöntemleri ile histogramlar, voronoi grafikleri ve normal QQ grafikleri kullanılarak özetlenir. Ortalama, mod ve medyan veri kümesinin merkezini bulmayı amaçlarken varyans, standart sapma, varyasyon katsayısı, çarpıklık ve basıklık ile veri kümesinin dağılımının bulunması amaçlanmaktadır (Aksoy, 2011).
Eğer elimizde n sayıda gözlem varsa (X_i, i = 1, 2, …, n), aritmetik ortalama aşağıdaki formül ile hesaplanır;

$$\bar{z} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{N} X_i \qquad (4.1)$$

Ortalama, merkezi eğilimin olağan ölçüsüdür. Ortalama, tüm gözlemleri hesaba katar, cebirsel olarak ele alınabilir ve örnek ortalamasının yansız bir tahminidir.

Medyan, gözlemler küçükten büyüğe sıralandığında bir veri kümesinin orta değeridir. Bir özellik kaba ölçekte kaydedilmişse, medyan gerçek merkezin kaba bir tahminidir. Başlıca avantajı, uç değerlerden etkilenmemesi, yani aykırı değerlere, hatalı kayıtlara ve hatalı ölçümlere karşı duyarsız olmasıdır. Sağlam bir özet istatistiktir.

Mod, bir dağılımda en çok tekrarlanan değerdir. Frekans dağılımının tek bir tepe noktasına sahip olduğu anlamına gelir. Sayısal değeri belirlemek genellikle zordur. Bir histogramda sınıf aralığı küçükse, mod olarak en sık görülen sınıfın orta değeri alınabilir. Simetrik bir dağılım için mod, ortalama ve medyan prensipte aynıdır. Asimetrik bir dağılım için aşağıda verilen formül geçerlidir.

(mod - medyan) ≈ 2 x (medyan - ortalama) (4.2)

Asimetrik dağılımlarda medyan ve mod ortalama değere yakın değildir ve medyan değeri mod ile ortalama arasında yer alır. Aşağıda asimetrik dağılımın histogram grafiğinde nasıl göründüğü verilmiştir.

Varyans değeri aşağıda verilen formül ile hesaplanmaktadır;

$$S^2 = \frac{1}{n}\sum_{\text{İ}=1}^{N}(X_i - \bar{X})^2 \qquad (4.3)$$

Varyans, ortalamanın ikinci momentidir. Ortalama gibi, tüm gözlemlere dayanır, cebirsel olarak ele alınabilir ve örnekleme dalgalanmalarından çok az etkilenir. Varyansın karekökü standart sapmayı (S) verir. Standart sapma, değişkenin ölçüldüğü birimlerle aynı birimlerdeki dağılımı ifade eder.

Varyans, ortalamanın ikinci momentidir. Ortalama gibi, tüm gözlemlere dayanır, cebirsel olarak ele alınabilir ve örnekleme dalgalanmalarından çok az etkilenir. Varyansın karekökü standart sapmayı (S) verir. Standart sapma, değişkenin ölçüldüğü birimlerle aynı birimlerdeki dağılımı ifade eder.

Varyasyon katsayısı, standart sapmanın aritmetik ortalama ile oranının 100 ile çarpılması sonucunda elde edilir ve birimsizdir. Varyasyon katsayısı kullanılarak birden fazla örneğin değişkenliğinin birbiriyle karşılaştırılması gerçekleştirilebilir. Varyasyon katsayısının artmasıyla değişkenlik de artar. Varyasyon katsayısı incelenen parametrelerin değişkenliği hakkında fikir verdiği için jeoistatistiksel analizler için de yol göstericidir (Aksoy, 2011).

$$CV = 100(S/\bar{X})\% \quad (4.4)$$

Çarpıklık, gözlemlerin asimetrisini ölçer.

$$k_3 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})^3 \quad (4.5)$$

Çarpıklık katsayısı ise;

$$k_s = \frac{k_3}{S^3} \quad (4.6)$$

Çarpıklık, dağılımın normal dağılımdan sapması olarak ifade edilebilir. Simetrik dağılımlarda k_s değeri 0'a eşittir. Dağılım grafiği sağa çarpık ise ($k_s > 0$) pozitif çarpıklık, sola çarpık ise ($k_s < 0$) negatif çarpıklık demektir (Ken ve ark., 2006). Veriler çarpıksa, hangi merkezin ölçüsünün kullanılacağı konusunda bazı şüpheler vardır. Farklı gözlem kümelerinin ortalamaları arasındaki karşılaştırmalar özellikle güvenilmezdir çünkü varyanslar bir kümeden diğerine önemli ölçüde farklılık gösterebilir.

Basıklık, bir dağılımın doruk noktasını ifade eder. Dördüncü ortalama etrafındaki moment olarak tanımlanır;

$$k_4 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})^4 \quad (4.7)$$

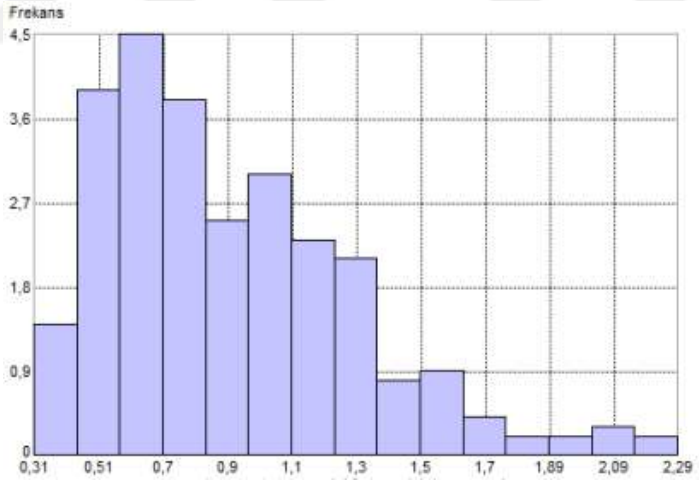
Basıklık katsayısı şu formül ile hesaplanır:

$$k_k = \frac{k_4}{S^4} \quad (4.8)$$

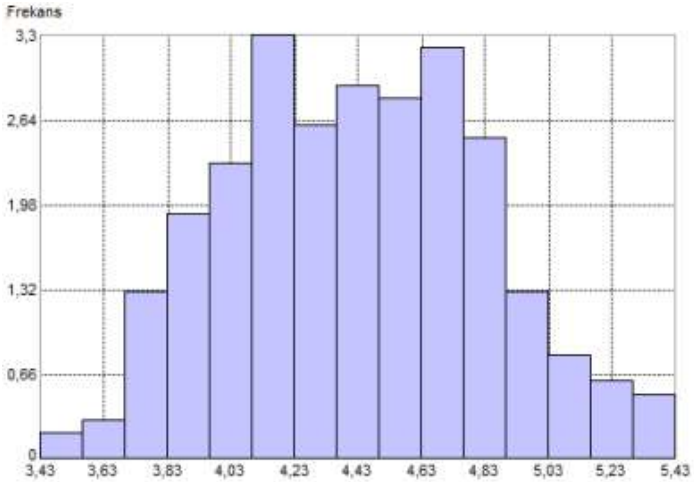
k_k = 3 değeri elde ediliyorsa dağılımın normal olduğu sonucuna varılır. Sivri tepe noktası olan dağılımlar k_k > 3 olarak bulunur; daha düz grafiğe sahip dağılımlarda olanlar k_k <3 değeri elde edilir.

Veri özelliklerinin görsel olarak araştırılabilmesi için, yukarıda verilen istatistiki değerlere ek olarak, Normal Q-Q (Quantile-Quantile) Plot, Voronoi haritaları gibi grafik gösterimleri kullanılabilir.

Histogram, veri setinin istatistiksel değerlerinin incelenebilmesi için görsel bir imkân sunar (Hüsrevoğlu, 2018). Bir frekans dağılımı üzerinde araştırılan niteliğin veri setindeki değerleri belirli sınıflara ayrılır ve her sınıf değerine karşılık gelen veri örneği sayısı veya bu sayının toplam veri sayısına oranı bu sınıflar üzerinde çubuk grafikler ile gösterilir. Histogram üzerinde dağılımın şekli kolayca görülür. Eğer histogram üzerinde dağılım uzun bir sağ kuyruğa sahipse yani uzun çubuk grafikler histogramın sol tarafında toplanmış ve sağ tarafı boyunca kısa çubuk grafikler görülüyorsa burada pozitif çarpıklık vardır denir. Bunun tam aksi durumunda ise negatif çarpıklık vardır denir (Hüsrevoğlu, 2018).

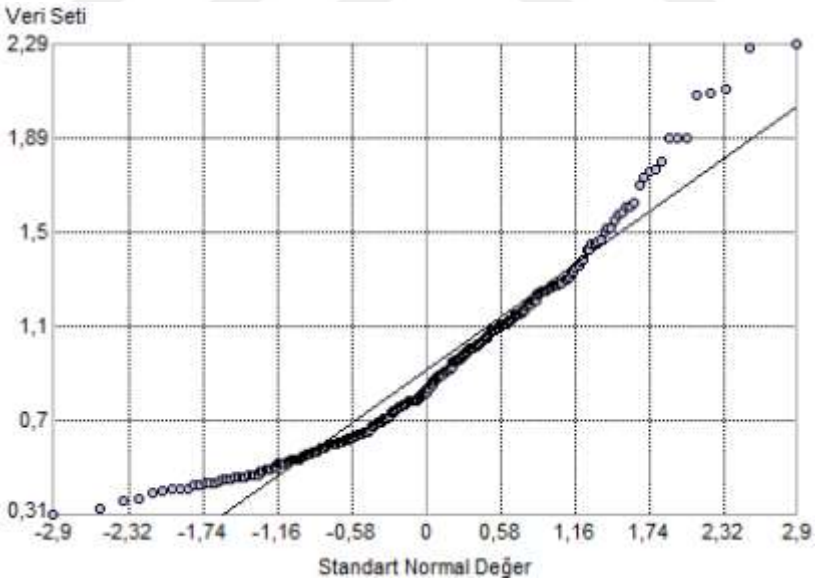


Şekil 4.2. Pozitif çarpıklığa sahip veri örneği

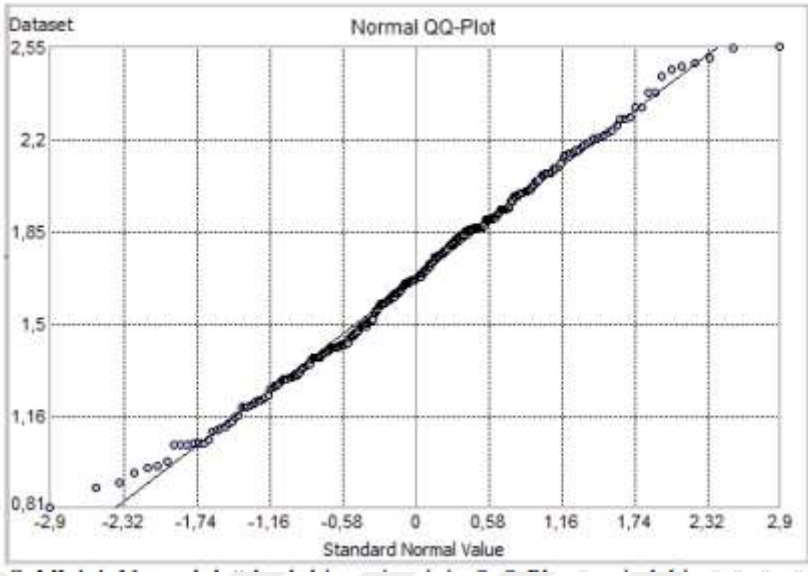


Şekil 4.3. Normal dağılıma sahip veri örneği

Normal Q-Q Plot grafikleri veri değerlerini beklenen değerin bir doğrusu etrafında gösteren, verilerin dağılımının, aykırı değerlerin vb. incelenmesini sağlayan grafik türüdür. Şekil 4.4. ile çarpık, Şekil 4.5. ile normal dağılımlı veri setinin Q-Q Plot grafiği verilmiştir.



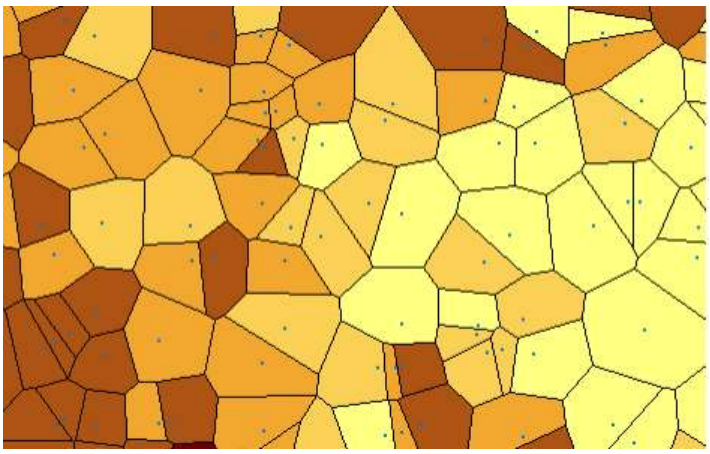
Şekil 4.4. Normal dağılımlı olmayan bir veri setinin Q-Q Plot üzerindeki görünümü



Şekil 4.5. Normal dağılımlı bir veri setinin Q-Q Plot üzerindeki görünümü

Voronoi diyagramları, örnek veri noktalarının her birinin etrafında dış bükey bir kapalı alan oluşturarak birbiri ile çakışmayan alanlar oluşturur. Bu alanlar mozaik yapılıdır ve birbirleri ile bitişiktir.

Her bir örnek noktasını merkezine koyan bu kapalı alanlar içindeki bir nokta bu örnek verisine en yakın noktalardan biridir (Hüsrevoğlu, 2018). Bu sayede Voronoi diyagramı ile her bir örnek veri noktasının etki alanı hakkında bir fikir elde edinilir. Veri dağılımının yeterliliği ve sürekliliği de Voronoi diyagramının görsel analizi ile tecrübeye bağlı olarak değerlendirilir. Şekil 4.6 ile örnek bir Voronoi diyagramı görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.6. Örnek bir Voronoi diyagramı görüntüsü

4.1.1. Normal dağılım

Normal dağılım, istatistiksel teorinin merkezinde yer alır. Fizikteki gözlem hatalarını oldukça iyi tanımladığı bulunmuştur. Dağılımın biçimi De Moivre, Laplace ve Gauss tarafından ayrı ayrı keşfedilmiştir (Oliver ve Webster, 2007), ancak dağılım genellikle 'Gaussian' dağılımı olarak adlandırılıyor. Sürekli bir rastgele değişken Z için olasılık yoğunluk fonksiyonu, f(z) cinsinden şu şekilde tanımlanır:

$$f(z) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\Omega}} \exp\left\{-\frac{(z-\mu)^2}{2\sigma^2}\right\} \quad (4.9)$$

Denklemde μ dağılımın ortalaması ve σ^2varyanstır. Normal dağılımın şekli, bir çan boyunca dikey bir enine kesittir. Dağılım süreklidir ve tepe noktasından simetriktir.

Çoğu durumda dağılımlar normal olmaktan uzaktır ve normallikten bu sapmalar, kararsız yapılan tahminlerin kararsız olmasına yol açar. Veriler çarpıksa hangi merkez ölçüsünün alınacağı konusunda karar vermek gerekir. Değişken çarpıksa gözlem ortalamaları arasındaki istatistiksel karşılaştırmalar güvenilmezdir çünkü varyanslar bir kümeden diğerine önemli ölçüde farklılık gösterebilir.

4.1.2. Dönüşümler

Normallikten sapmalardan kaynaklanan zorlukların üstesinden gelmek için, ölçülen değerleri, dağılımın daha normale yakın olduğu yeni bir ölçeğe dönüştürmeye çalışabiliriz. Daha sonra dönüştürülmüş veriler üzerinde daha fazla analiz yapmalı ve gerekirse sonuçları en sonunda orijinal ölçeğe dönüştürmeliyiz. Aşağıda, ölçülen veriler için yaygın olarak kullanılan dönüşüm yöntemlerinden bazıları verilmiştir;

- Logaritmik dönüşüm
- Karekök dönüşümü
- Açısal dönüşüm
- Logit dönüşümü

Logaritmik dönüşüm;

$$Y_i = \log X_i, \quad (4.10)$$

Y_i : Normal dağılımlı veri

X_i : Çarpık dağılımlı veri

Olmak üzere denklem 4.10 ile çarpık dağılımlı veriler logaritmik dönüşüm kullanılarak normal dağılımlı verilere dönüştürülür.

Y_i değişkeninin aritmetik ortalaması;

$$\bar{Y} = \sqrt[n]{X_1 X_2 \dots X_n} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^{n} X_i} \tag{4.11}$$

Ve Y_i değişkeninin geometrik varyansı ise;

S_y^2 : Geometrik varyans

$$S_y^2 = \sqrt[n-1]{\prod_{i=1}^{n} 2\left(\frac{X_i}{\bar{Y}}\right)} \tag{4.12}$$

Kare-Kök dönüşümü; (Şen, 2002);

$$Y_i = \sqrt{X_i} \tag{4.13}$$

Verilerin ikinci veya üçüncü dereceden kuvvetlerinin alınması ile büyük veriler küçük olanlara göre daha fazla büyür ve böylece frekans dağılımı simetrik şekle yaklaşır (Şen, 2002).

$$Y_i = X^2 \tag{4.14}$$

$$Y_i = X^3 \tag{4.15}$$

Açısal dönüşüm;

$$Y_i = \arcsin X_i \tag{4.16}$$

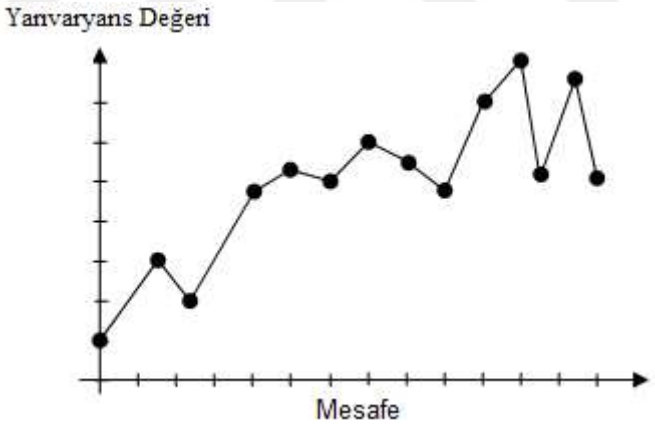
Negatif çarpıklık gösteren verilerin, normal dağılıma yaklaştırılması için bu dönüşüm faydalı olabilir (Şen, 2002).

Logit Dönüşüm;

$$Y_i = \ln\left\{\frac{x_i}{1-x_i}\right\} \quad (4.17)$$

4.2. Yarı Variogram

Jeoistatistiksel yöntemler, yakın konumlardaki değerlerin daha benzer olma eğiliminde olduğu varsayımı altında çalışır (Topal, 2007). Birçok jeoistatistiksel uygulamanın temel taşı olan variogram, veriler arasındaki korelasyonu bulmak için kullanılan jeoistatistiksel yöntemdir bundan dolayı konumsal verilerin analizi için uygun bir araçtır (Lichtenstern, 2013). Variogram yöntemi ile mekânsal sürekliliğin yapısı karakterize edilebilir. Ölçülen değişkenlerin değerleri arasındaki farkın değişkenler arasındaki mesafeye bağlı olup olmadığı yarı variogram ile ortaya çıkarılır. Jeoistatistik yöntemlerde veriler arasındaki mesafe azaldıkça verilerin birbirine benzemesi, aradaki fark açıldıkça benzerliklerin azalması beklenmektedir. Şekil 4.7 ile variogram örneği gösterilmektedir.



Şekil 4.7. Deneysel variogram grafiği (YAPRAK, 2007)

Jeoistatistiksel analizde, bölgesel değişkenlerin uzaklığa bağlı değişimleri variogram fonksiyonu ile belirlenir ve bu fonksiyon birbirinden h kadar uzaktaki iki değişken arasındaki farkın varyansı olarak ifade edilir (Yeşilkanat ve ark., 2014). Varyansın artması, aralarındaki ilişkinin azalması şeklinde yorumlanabilir. Bir başka deyişle iki nokta arasındaki farkın varyansının büyüklüğü noktalar arasındaki mesafenin büyüklüğüne bağlıdır.

Bölgeselleştirilmiş değişken teorisinin merkezinde yer alan ve kriging için gerekli olan variogram, içsel hipotezin geçerli olması koşuluyla bir, iki veya üç boyutlu örnek verilerden tahmin edilebilir (Oliver ve Webster, 1990).

Bölgesel değişkenlerin birbirleri arasındaki konumsal ilişkisini tanımlayan yarı variogram fonksiyonu şu şekilde hesaplanır (Matheron, 1967);

$$\gamma\,(h) = \frac{1}{2}\,Var[z(x+h) - z(x)], \tag{4.18}$$

ve bu denkleme göre yarı variogram fonksiyonu (Sarma, 2010)

$$\bar{y}\,(h) = \frac{1}{2N}\sum_{i=1}^{N}\{z(x_i + h) - z(x_i)\}^2 \tag{4.19}$$

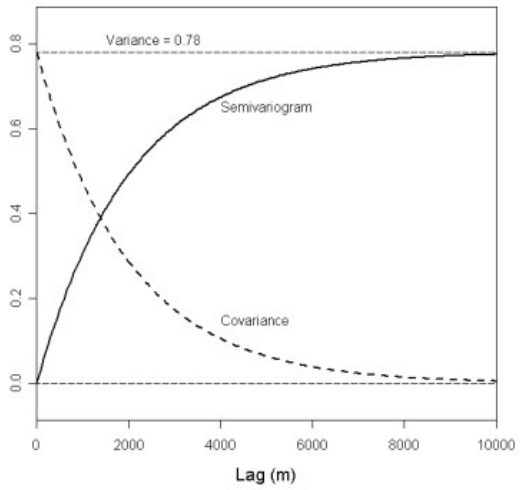
Denklemde, karşılaştırılan örnek çifti sayısı N ile gösterilmektedir. Ayrıca z (x_i+h): xi+h konumundaki bölgeselleşmiş değişkenin beklenen değeridir (Hüsrevoğlu, 2018).

Ayarlanmış her h kadar mesafe arasında yer alan örnek çiftleri için yarı variogram hesaplanır. Bu işlem genelde h mesafesinin katları şeklinde tekrarlanarak, örnekler arasında artan mesafeye göre bir dizi yarı variogram değerleri elde edilir. Tanımlanan h mesafesine adım aralığı da (Lag interval) denilmektedir.

Yarı variogram modelinin üç özelliği vardır (Aydın, 2014).

1. Yarı variogramın h = 0 uzaklığındaki değeri sıfıra eşit olur (2γ (0) = 0).
2. Yarı variogram negatif değerler alamaz (2γ(h) ≥ 0 ∀h için).
3. Yarı variogram simetriktir (2γ (h) = 2γ (- h), ∀h).

Yarı variogram ve kovaryans, mesafenin bir fonksiyonu olarak istatistiksel korelasyonun gücünü ölçer. Kovaryansın tahmini, yarı variogram tahminine benzer, ancak veri ortalamasının kullanılmasını gerektirir. Veri ortalaması genellikle bilinmediğinden, yani tahmin edildiğinden, bu durum yanlılığa neden olur. Bu nedenle, jeoistatistiksel analiz yönteminde, mekânsal veri yapısını karakterize etmek için varsayılan fonksiyon aracı olarak yarı variogram kullanılır (Krivoruchko, 2004). Variogram grafiği aslında bir korelasyon grafiğinin baş aşağı bir versiyonudur.



Şekil 4.8. Yarı variogram / kovaryans grafiği

Örnek değer çiftleri, değerler arasındaki farkın karesi hesaplanarak değerlendirilir. Ortaya çıkan farklılıklar, coğrafi uzayda örnek çiftlerinin ayrılmasına karşı çizilir ve variogram bulutunu oluşturur. Bulut, veri özelliklerindeki farklılığa göre sınıflara bölünür ve her sınıftaki ortalama farklılıklar deneysel variogramın değer dizisini oluşturur. Yakın örnekler birbirine benzeme eğiliminde olduğundan, farklılık genellikle mesafe ile artar. Variogram bulutu mekânsal verilerin özelliklerini keşfetmek için güçlü bir araçtır. Variogram bulutunun değerleri, bir harita üzerindeki örnek çiftlerinin konumuna bağlanabilir. Variogram bulutunun alt kümelerinin analizi, coğrafi uzayda örnek değerlerin dağılımının anlaşılmasına yardımcı olabilir. Anomaliler ve verilerin homojen olarak dağılmama durumu, kısa mesafelerde meydana gelen yüksek farklılıklara bakılarak tespit edilebilir.

Özetlemek gerekirse deneysel yarı variogram oluşturmak dört için aşağıdaki dört madde uygulanmalıdır (Krivoruchko, 2004):

- Tüm örnek değer çiftlerini bulun (herhangi iki konum).
- Değerler arasındaki farkların karesini tüm örnek değer çiftler için hesaplayın.
- Vektörleri (adım aralıklarını) benzer mesafe ve yön sınıflarına göre gruplandırın.
- Her grup için farkların karesinin ortalamasını alın. Bunu yaparken durağanlık fikrini kullanıyoruz.

4.2.1. Deneysel variogramın güvenilirliği

Deneysel variogramın güvenilirliğini etkileyen faktörler:

- Örnek boyutu.
- Adım aralığı ve oluşturulan grupların genişliği.
- Verilerin istatistiksel dağılımı.
- Anizotropi.
- Trend.

4.2.1.1. Örnek boyutu

Deneysel variogramın güvenilirliğini veya doğruluğunu belirleyen ve üzerinde kontrolümüz olan en önemli faktör, dayandığı örneğin boyutudur. Genel olarak, ne kadar fazla veriye sahip olursanız, doğruluk o kadar yüksek olur (Oliver ve Webster, 2014). Tahmin edilen yarı variogramların güvenilirlik değerinin istenen aralıkta olması için her adım aralığında (lag interval) birçok karşılaştırmaya ihtiyaç duyarız. En kısa adım aralıklarında, iki boyutlu veriler için oldukça az sayıda ikili karşılaştırmamız olabilir. Ancak veriler arasındaki adım aralığı arttıkça karşılaştırma sayısı da artar (Oliver ve Webster, 2015). Ancak veri sayısına bağlı olarak belirli bir mesafede veriler arasında uygulanan karşılaştırma sayıları azalmaya başlar. Bunun anlamı daha uzun adım aralığı mesafesinin daha fazla güvenilir sonuçlara karşılık gelmediğidir (Oliver ve Webster, 2015).

Webster ve Oliver (1992) yaptıkları araştırmalarda Varyasyonun izotropik olduğu durumlarda 150 veri hedeflenmesi ve minimum 100 olarak ayarlanması gerektiği sonucuna varmışlardır. Brus ve de Gruijter (1994) farklı bir yoldan benzer bir sonuca varmışlardır ve değerler Webster ve Lark (2013) ve Oliver ve Webster (2014)'deki örneklerle pekiştirilmiştir.

4.2.1.2. Adım aralığı ve adım sayısı

Düzenli bir ağdaki veriler için, deneysel variogramdaki doğal artış bir aralıktır. Verilerin düzensiz dağıldığı durumlarda, karşılaştırmalar mesafeye göre gruplandırılmalıdır (Oliver ve Webster, 2014).

4.2.1.3. Verilerin istatistiksel dağılımı

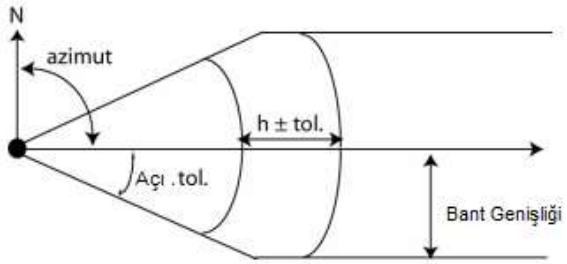
Aykırı değerler, jeoistatistik uygulamalarda ciddi bozulmalara neden olur. Variogram sonucunda elde edilen varyans değerleri verilerin çarpık olmasından veya verilerin aykırı değerler içermesinden etkilenir. Eğer veriler çarpıksa veri dağılımına logaritmik dönüşüm formülleri uygulanarak normal dağılımlı veri haline getirilmelidir.

Aykırı değerler veriler arasında bulunan beklenmedik şekilde büyük veya küçük değerlerdir. Aykırı değerler uç değerler ile karıştırılmamalıdır, aykırı değerler ilgilenilen alana ait olma ihtimali çok düşük verilerdir. Histogram veya normal QQ grafikleri aykırı değerlerin belirlenmesinde bize yardımcı olur.

4.2.1.4. Anizotropi

Anizotropi, değişkenliğin yöne bağlı olması olarak tanımlanabilir. Birçok durumda anizotropi, mekânsal koordinatların basit bir lineer dönüşümü ile izotropik hale getirilebilir. Anizotropiyi belirlemek için araştırma alanına ait deneysel ve yönelimsel yarı variogramlar en az dört yönde hesaplanmalıdır (Aydın ve ark., 2015). Anizotropi için yaygın olarak kullanılan model, yarı variogramın her yönde aynı eşiğe, ancak farklı aralıklarda ulaştığı geometrik anizotropidir. Jeolojik ortamlarda, anizotropinin en belirgin biçimi, dikey ve yatay yönlerdeki mesafelerde güçlü bir kontrasta sahip olmasıdır ve dikey yarı variogram, eşiğe yatay yarı variogramdan çok daha kısa bir mesafede ulaşır.

İzotropi kolaylığı için variogram modelleri tanımlandığından, izotropi modellerinden rastgele anizotropi fonksiyonlarının elde edilmesini sağlayan koordinatların dönüşümlerini incelememiz gerekir (Wackernagel, 2003). Ampirik bir yarı variogramda yön bağımlılığını kontrol etmek için, belirli yön bantları içinde kalan ve aynı zamanda öngörülen adım aralığı sınırları içinde kalan veri çiftleri için yarı variogram değerlerini hesaplamamız gerekir. Yönlü bantlar, belirli bir azimut yönü, açısal tolerans ve bant genişliği ile belirtilir (Bohling, 2005):



Şekil 4.9. Yönlü bant gösterimi

Tez çalışma alanında anizotropiyi kontrol etmek için çeşitli yönlerde variogramlar karşılaştırıldı (0^0, 45^0, 90^0, 135^0 ve açı toleransı= ±22.50). Karşılaştırmalar sonucunda hesaplanan variogramların yapıları arasında önemli farklılıklar olmadığı görülmüştür. Bu nedenle, tez çalışmasında mekânsal varyasyon izotropik olarak kabul edildi.

4.2.1.5. Trend

Jeoistatistikteki trend, çalışma alanındaki kademeli değişimdir. Teorik variogram sürecin rastgele olduğu yerde tahmin edilebilir. Eğer trend varsa, süreç rastgele olmadığı için hesaplamalarda yanlış sonuçlar elde edilir. Tipik olarak, trendin mevcut olduğu durumlarda deneysel variogram sonsuza kadar artar ve eğer baskın ise, adım aralığı arttıkça deneysel dizi giderek daha dik hale gelir (Oliver ve Webster, 2014).

Trend analizi parametrik T-Test ve parametrik olmayan Mann-Kendal testleri ile yapılmaktadır. T-Testi, değişkenin normal dağıldığını varsayar. Mann-Kendal testi parametrik değildir ve değişkenin dağılımı hakkında herhangi bir varsayımda bulunmaz (Bostan, 2013).

4.2.2. Teorik variogram

Teorik yarı variogram modeli, jeoistatistiksel çalışmanın en önemli parçasıdır. Kriging modelinde deneysel variogram değerlerinin kullanılabilmesi için deneysel variogram veri dizisinin temel özelliklerine, rastgele süreçlerin varyanslarını tanımlayabilen matematiksel bir ifadeye sahip belirli bir model uydurmamız gerekir. Başka bir deyişle, kriging denklemlerinin çözülebilir olması için kriging işleminde kullanılan yarı variogram modellerinin belirli matematiksel bir fonksiyona uyması

gerekir (Bohling, 2005). Mevcut çalışmalar, yarı variogramı tanımlayan en yaygın modellerin, eşiksiz modeller ve eşikli modeller olarak ikiye ayrılabileceğini göstermiştir (Lianhenga ve ark., 2018). Bazı yarı variogram modelleri aşağıda verilmiştir (Johnston ve ark., 2001).

Circular

Variogram modeli;

$$y(h;\theta) = \begin{cases} \frac{2\theta_s}{\Pi}\left[\frac{\|h\|}{Q_r}\sqrt{1-\left(\frac{\|h\|}{Q_r}\right)^2} arcsin\frac{\|h\|}{Q_r}\right] & eğer\ 0 \le \|h\| \le \theta_r \\ \theta_s & eğer\ \ \theta_r < \|h\| \end{cases} \quad (4.20)$$

Burada $\theta_s \geq 0$ kısmi eşik parametresidir ve $\theta_r \geq 0$ aralık parametresidir

Spherical

Variogram modeli;

$$y(h;\theta) = \begin{cases} \theta_s\left[\frac{3}{2}\frac{\|h\|}{Q_r} - \frac{1}{2}\left(\frac{\|h\|}{Q_r}\right)^3\right] & eğer\ 0 \le \|h\| \le \theta_r \\ \theta_s & eğer\ \ \theta_r < \|h\| \end{cases} \quad (4.21)$$

Burada $\theta_s \geq 0$ kısmi eşik parametresidir ve $\theta_r \geq 0$ aralık parametresidir

Tetraspherical

Variogram modeli;

$$y(h;\theta) =$$

$$\begin{cases} \frac{2\theta_s}{\Pi}\left[arcsin\left(\frac{\|h\|}{Q_r}\right) + \left(\frac{\|h\|}{Q_r}\right)\sqrt{1-\left(\frac{\|h\|}{Q_r}\right)^2} + \frac{2}{3}\frac{\|h\|}{Q_r}\left(1-\left(\frac{\|h\|}{Q_r}\right)^2\right)^{\frac{3}{2}}\right] & eğer\ 0 \le \|h\| \le \theta_r \\ \theta_s & eğer\ \ \theta_r < \|h\| \end{cases} \quad (4.22)$$

Burada $\theta_s \geq 0$ kısmi eşik parametresidir ve $\theta_r \geq 0$ aralık parametresidir.

Pentaspherical

Variogram modeli;

$$y(h;\theta) = \begin{cases} \theta_s \left[\frac{15}{8}\frac{\|h\|}{Q_r} - \frac{5}{4}\left(\frac{\|h\|}{Q_r}\right)^3 \frac{3}{8}\left(\frac{\|h\|}{Q_r}\right)^5\right] & eğer\ 0 \le \|h\| \le \theta_r \\ \theta_s & eğer\ \ \theta_r < \|h\| \end{cases} \quad (4.23)$$

Burada $\theta_s \geq 0$ kısmi eşik parametresidir ve $\theta_r \geq 0$ aralık parametresidir

Exponential

Variogram modeli;

$$y(h;\theta) = \theta_s \left[1 - \exp\left(-\frac{3\|h\|}{Q_r}\right)\right] \quad \text{Tüm h'lar için} \quad (4.24)$$

Burada $\theta_s \geq 0$ kısmi eşik parametresidir ve $\theta_r \geq 0$ aralık parametresidir.

Gaussian

Variogram modeli;

$$y(h;\theta) = \theta_s \left[1 - \exp\left(-3\left(\frac{\|h\|}{Q_r}\right)^2\right)\right] \quad \text{Tüm h'lar için} \quad (4.25)$$

Burada $\theta_s \geq 0$ kısmi eşik parametresidir ve $\theta_r \geq 0$ aralık parametresidir. Bu model, külçe (nugget) olmadan kararsız davranışa sahip olduğundan, varsayılan olarak Jeoistatistiksel analist, veriler için hesaplanan örnek varyansının 1/1000'ine eşit küçük bir külçe (nugget) ekler.

Rational Quadratic

Variogram modeli;

$$y(h;\theta) = \theta_s \frac{19\left(\frac{\|h\|}{Q_r}\right)^2}{1+19\left(\frac{\|h\|}{Q_r}\right)^2} \quad \text{Tüm h'lar için} \quad (4.26)$$

Burada $\theta_s \geq 0$ kısmi eşik parametresidir ve $\theta_r \geq 0$ aralık parametresidir.

Hole Effect

Variogram modeli;

$$y(h;\theta) = \begin{cases} 0 & eğer\ h = 0 \\ \theta_s \frac{1-s\ \ (\frac{2\Pi\|h\|}{\theta_r})}{sin(\frac{2\Pi\|h\|}{\theta_r})} & eğer\ h\ \neq 0 \end{cases} \quad (4.27)$$

Burada $\theta_s \geq 0$

K-Bessel

Variogram modeli;

$$y(h;\theta) = \theta_s \left[1 - \frac{\left(\Omega_{\theta_k}\frac{\|h\|}{\theta_r}\right)^{\theta_k}}{2^{\theta_k - 1}\Gamma(\theta_k)} K_{\theta_k}(\Omega_{\theta_k}\frac{\|h\|}{\theta_r})\right] \text{ tüm h'lar için} \quad (4.28)$$

Burada $\theta_s \geq 0$, $\theta_r \geq 0$, $\theta_k \geq 0$, Ω_{θ_k}sayısal olarak bulunan değerlerdir. $\Gamma(\theta_k)$ gama fonksiyonudur;

$$\Gamma(y) = \int_0^\infty x^{y-1}\exp(-x)dx \quad (4.29)$$

ve K_{θ_k} θ_k'nin ikinci dereceden Bessel fonksiyonudur.

J-Bessel

Variogram modeli;

$$y(h;\theta) = \theta_s \left[1 - \frac{2^{\theta_d}\,\Gamma(\theta_d+1)}{\left(\Omega_{\theta_d}\frac{\|h\|}{\theta_r}\right)^{\theta_d}} J_{\theta_d}(\Omega_{\theta_d}\frac{\|h\|}{\theta_r})\right] \text{ Tüm h'lar için} \quad (4.30)$$

$\Gamma(\theta_d)$ gama fonksiyonudur;

$$\Gamma(y) = \int_0^\infty x^{y-1}\exp(-x)dx \quad (4.31)$$

ve J_{θ_d}, J −Bessel fonksiyonudur.

Stable

$$y(h;\theta) = \theta_s\left[1 - \exp(-3\left(\frac{\|h\|}{\theta_r}\right)^{\theta_e})\right] \quad \text{Tüm h'lar için} \qquad (4.32)$$

Burada $\theta_s \geq 0$ ve $0 \leq \theta_e \leq 2$ 'dir. Bu model, külçe etkisi (nugget) olmadan kararsız davranışa sahip olduğundan, varsayılan olarak Jeoistatistiksel Analist, modele, verilerden hesaplanan örnek variogramın 1/1000'ine eşit küçük bir külçe etkisi değeri ekler.

Deneysel variogram modellemenin sonuçlarına dayanarak, daha sonra kriging tahmininde kullanılacak olan aşağıdaki parametreler elde edilir (Johnston ve ark., 2001):

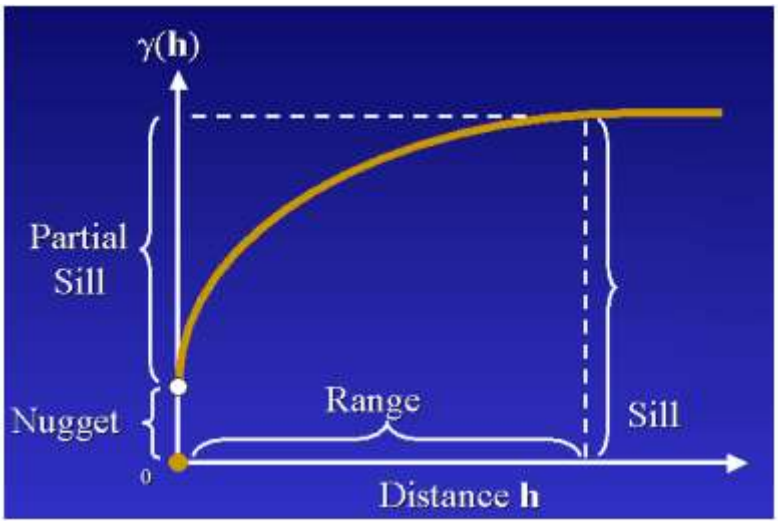
Menzil (Range): Bir yarı variogramın modeline baktığınızda, belli bir mesafede modelin düzleştiğini fark edeceksiniz. Modelin ilk düzleştiği mesafe, aralık olarak bilinir. Menzilden daha yakın mesafelerle ayrılan örnek konumlar, mekânsal olarak oto korelasyonluyken, aralıktan daha uzak konumlar değildir.

Eşik (sill): Yarı variogram modelinin aralıkta (y eksenindeki değer) ulaştığı değere eşik denir. Kısmi eşik, eşik eksi külçe (nugget) değeridir.

Külçe etkisi (Nugget effect): Teorik olarak sıfır ayırma mesafesinde (yani adım aralığı = 0), yarı variogram değeri sıfır olmalıdır. Bununla birlikte, sonsuz derecede küçük bir ayırma mesafesinde, ölçümler arasındaki fark genellikle sıfıra eğilim göstermez. Buna külçe etkisi denir.

Külçe etkisi, örnekleme aralığından (veya her ikisinden) daha küçük mesafelerdeki ölçüm hatalarına veya mekânsal varyasyon kaynaklarına bağlanabilir. Ölçüm hatası, ölçüm cihazlarında bulunan hata nedeniyle oluşur.

Teorik yarı variogram ile elde edilen parametreler Şekil 4.10 ile gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Yarı variogram modeli (Krivoruchko, 2004)

4.3. Kriging Yöntemleri

Jeoistatistiğin ilk uygulamaları, 1951 yılında Güney Afrika'da bulunan altın madenlerinin mekânsal olarak ilişkilendirilmiş örnek verilerinden cevher derecelerini tahmin etmek amacıyla Daniel Krige tarafından gerçekleştirilmiştir. 1960'lı yıllara gelindiğinde deneysel olarak ilk defa Daniel Krige tarafından uygulanan yöntem meslektaşı Matheron tarafından resmileştirildi ve yönteme Daniel Krige'yi onure etmek için "Kriging" adı verildi. Kriging, en iyi doğrusal yansız (mekânsal) tahmin edici (BLUE) olarakta bilinir (Amini ve ark., 2019).

Kriging yöntemi, örnek noktaların birbirine mekânsal yakınlıklarına göre korelasyonunu analiz eden ve daha önce ölçü alınmamış yerlere ait değer tahmini yapmak için mekânsal korelasyonların matematiksel bir temsilini kullanan istatistiksel bir tahmin yöntemidir. Teoride, tahminler yansızdır ve bilinen değerlerin ağırlıklı toplamı olarak hesaplanan tahmin yöntemleri arasında en küçük tahmin hatasına sahiptir (Myers, 1997). Diğer tahmin yöntemlerinin aksine kriging, tahmin edilen yüzeyin hata veya belirsizliğinin bir ölçüsünü sağlar (Arslan, 2014).

Jeoistatistiksel yöntemler olarak da bilinen kriging ailesi, yakın yerlerde ölçülen değerlerin diğer yerlerde ölçülen değerlerden istatistiksel olarak daha fazla ilişkili olma eğiliminde olduğu fikrine dayanmaktadır (Borges ve ark., 2016). Kriging teknikleri, bilinen noktalar ve tahmin edilecek noktalar arasındaki kovaryans değerleri ile bilinen noktalar arasındaki kovaryans değerlerine dayanır (Bailey ve Gatrell, 1995).

Mekânsal enterpolasyon süreçlerini yürütmek amacıyla bir kriging varyasyonu seçmeden önce, kriging'in bir veri seti hakkında birkaç varsayımı olduğunun farkında olunmalıdır (Lilly, 2016). İlk olarak, kriging teknikleri, tüm enterpolasyon tekniklerinde olduğu gibi, ilgili veri setinin mekânsal olarak sürekli olduğunu varsayar. Mekânsal olarak sürekli, belirli bir ilgi alanındaki her noktanın bir değer içerdiği fikri olarak tanımlanabilir. Daha önce belirtildiği gibi, kriging ayrıca bir veri kümesinin mekânsal olarak otokorelasyonlu olduğunu varsayar. Bu varsayım, daha yakın mesafelerde bulunan verilerin, daha uzak mesafelerde bulunan verilerden daha karşılaştırılabilir değerler vereceği fikriyle açıklanabilir. Kriging'in bir diğer temel varsayımı, verilerin durağan olduğudur; bu nedenle, değerlerin tahmini, gerçek konumlarının aksine, yerleşik değerler arasındaki mesafelere dayanacaktır.

Kriging algoritmasının uygulanmasında aşağıdaki gibi ardışık dört temel adım vardır (Şen, 2016):

1. Algoritma, enterpolasyon ağırlıklarını hesaplarken, tahmin noktası ile örnek veriler arasındaki boşluğu dikkate alır. Algoritma aynı zamanda kümelerin ayrıştırılmasına izin veren veriler arası mesafeyi de dikkate alır.
2. Enterpolasyon ağırlıklarını hesaplarken, algoritma, verilerin doğal uzunluk ölçeğini dikkate alır. Örneğin, topografyanın yavaş değiştiği ve hızlı değiştiği bölgeler vardır. Bu iki farklı topografyada aynı mesafedeki iki noktanın yükseltileri dikkate alınırsa, yavaş değişen bölgesel yükselti durumunda bu iki gözlem arasında lineer bir varyasyon varsaymak mantıklı olurken, hızlı değişen bölgelerde, lineer bir varyasyon varsaymak gerçekçi olmayacaktır.
3. Algoritma, enterpolasyon ağırlıklarını hesaplarken, verilerin doğal güvenilirliğini dikkate alır. Veri ölçümleri aşırı derecede kesin ve doğruysa, enterpolasyonlu yüzey gözlemlenen her değerden geçer. Veri ölçümlerinden şüpheleniliyorsa, özellikle belirli bir değer komşu gözlenen değerlerle tam bir uyumsuzluk içindeyse, enterpolasyonlu yüzey gözlemlenen bir değerden geçmeyebilir. Bu bir veri tekrarlanabilirliği sorunudur.
4. Doğa olayları, genellikle tercih edilen yönelimleri olan fiziksel süreçler tarafından yaratılır. Örneğin, bir nehrin ağzında, iri malzeme ilk olarak çökerken, daha ince malzemenin yerleşmesi daha uzun sürer. Böylece, kıyıya ne kadar yakınsa tortular o kadar iri, kıyıdan uzaklaştıkça tortular da o kadar

ince olur. Enterpolasyon ağırlıklarını hesaplarken, algoritma bu doğal anizotropiyi içerir.

Kriging tekniğinin bazı özellikleri ve avantajları (Şen, 2016):

1. Yarı variogram modeli ile Kriging tekniği kullanılarak minimum varyanslı tahminler yapılabilir.
2. Jeoistatistiksel analiz için sistem doğru kurulmuş ve yarı variogram modeli doğru seçilmiş ise kriging sistemi için her zaman eşsiz bir çözüm vardır.
3. Düzenli örnekleme varsa ve bölge içerisinde aynı örneklem tipi başka bölümlerde de bulunuyorsa, kriging sistemini her seferinde yeniden hesaplamaya gerek yoktur.
4. Kriging, verilen Z büyüklüğünün tek nokta tahmini ile sınırlı değildir, ayrıca aşağıda verilen amaçlar içinde kullanılabilir:

a) Belirli bir bloktaki ortalama Z değerini tahmin etmek için,

b) Z büyüklüğünün tahmin varyansını, yani kabaca bu tahminin güven aralığını elde etmek için,

c) Çalışma alanındaki genel belirsizliği en aza indirerek yeni bir ölçüm noktası için en iyi durumu belirlemek için.

5. Kriging yönteminin aşağıdaki maddeleri hesaba katarak tahmin yapması, kriging yöntemini diğer yöntemlere göre daha avantajlı hale gelmesini sağlar,

a) Çalışma bölgesindeki gözlem noktalarının mekansal konfigürasyonlarının sayısı

b) İlgili bölge içindeki veri noktalarının konumu

c) İlgi alanına göre veri noktaları arasındaki mesafe

d) Enterpolasyonlu değişkenin spektral sürekliliği

6. Diğer istatistik yöntemlere göre ise yer bilimlerinde bölgesel değişkenlerin modellenmesi için en iyi lineer yansız tahmin edici olmayı sağlar.
7. Kriging tahmin ettiği noktaya ait varyans değerinin hatasını minimize ettiği için en iyi yöntemdir, ağırlıklarının toplamı bir olduğu için tarafsızdır ve lineerdir.
8. Örneklenmemiş konumlardaki değerleri hesaplamak için ağırlıklandırılmış ortalama yöntemini kullanır.

Kriging yönteminde, örnek noktaların ağırlıklarının mekânsal konumlarına göre hesaplanabilmesi için komşu iki nokta arasındaki mekânsal korelasyonun ölçüsü olan yarı variogram modelleri kullanır (Uyan, 2016). Verilerin ağırlıklandırılması, enterpolasyonun yansız olması ve elde edilen varyans değerinin en aza indirilmesi için uygulanır (Sarann ve ark., 2013). Ağırlıklara etki eden faktörleri şu şekilde özetleyebiliriz. (Flipo ve ark., 2007);

- Veri ile hedef arasındaki mesafeler: Yakın noktalar, daha uzak olanlardan daha fazla ağırlık taşır.
- Blok boyutu: Blok boyutu arttıkça, ağırlıklar eşitlenene kadar en yakın noktaların ağırlıkları azalır ve daha uzak noktaların ağırlıkları artar.
- Değişkenin mekânsal yapısı: Kümelenmiş noktalar, aynı mesafedeki yalnız noktalara göre ayrı ayrı daha az ağırlık taşır.

Yaygın tahmin prosedürlerinin tümünde, algılanan alaka düzeyine veya önemine göre ağırlığı yakındaki örneklere dağıtarak, toplamı 1 olan ağırlık değerleri kullanır. Tipik olarak, komşu örnekler daha yüksek ağırlık değeri alırken, uzaktaki örnek noktalar daha düşük ağırlık değeri alır (Srivastava, 2013). Bundan dolayı hangi örnek noktalarının tahmin hesabına dahil edileceği ve hangilerinin dahil edilmeyeceği ve tahmin için kaç adet örnek noktası gerektiği dikkatli bir şekilde belirlenmelidir. Bu kapsamda aşağıda belirtilen maddeler dikkate alınmalıdır (Oliver ve Webster, 2007);

1. Eğer variogram eşikli ve veri kümesi yoğun ise komşuluk yarıçapı etki mesafesi olarak ayarlanabilir. Etki mesafesinin dışında kalan veriler önemsiz ağırlıklara sahiptir.
2. Büyük külçe (nugget) varyansına sahip variogram için komşuluk yarıçapı etki mesafesinden daha uzun alınabilir çünkü uzak noktalar önemli derecede ağırlık taşımaya meyillidir.
3. Bununla birlikte, veriler seyrekse, etki mesafesinden uzakta bulunan noktalar, tahminde kullanılmak için yeterli ağırlık değerine sahip olabilirler. Bu yüzden komşuluk bunları içerecek şekilde ayarlanmalıdır.
4. Alternatif olarak, kullanıcı en yakın n veri noktasını seçebilir ve etkin bir şekilde bu sayının komşuluğu sınırlamasına izin verebilir. Eğer veri dağılımı düzensiz ise, hedef nokta hareket ettirildikçe komşuluğun boyutu az ya da çok

değişecektir. Maksimum n ≈ 20'nin genellikle yeterli olduğunu bulduk. Maksimum n'nin yaklaşık 20 olarak belirlenmesi genellikle yeterlidir.

5. Eğer komşuluk için maksimum yarı çap ayarlandıysa, ayarlanan yarı çap içerisinde bulunacak minimum n sayısının da ayarlanması gerekebilir. Minimum n'nin yaklaşık 7 olarak belirlenmesi genellikle yeterlidir.
6. Dağılımın çok düzensiz olduğu durumlarda, hedef noktanın etrafındaki alanı sekize bölmek ve her birinde en yakın iki noktayı kullanmak iyi bir uygulamadır.

Kriging, türüne ve metotlarına göre birkaç türe ayrılmaktadır. Türüne göre, kriging, noktasal kriging (nokta tahmini) ve blok kriging (blokların tahmini) olarak ikiye ayrılabilir. Bu çalışmada uygulamalar noktasal kriging esaslarına göre gerçekleştirilmiştir. Yöntemlerine göre kriging kendi içerisinde doğrusal ve doğrusal olmayan olarak ikiye ayrılır (Asa ve ark., 2012). Doğrusal kriging algoritmaları; Ordinary Kriging, Simple Kriging, Universal Kriging, Bayesian Kriging ve Factorial Kriging olarak, doğrusal olmayan kriging metotları ise; Lognormal Kriging, Multi-Gaussian Kriging, İndicator Kriging, Probability Kriging ve Disjunctive Kriging ve Rank Kriging olarak sınıflandırılabilir.

Doğrusal kriging algoritmaları, doğrusal regresyona benzeyen dağılımsız doğrusal enterpolasyon teknikleridir (Asa ve ark., 2012). Uygulamada doğrusal kriging yöntemleri arasında bulunan; Ordinary Kriging, Simple Kriging ve Universal Kriging yöntemleri ile tahminlerde bulunulmuştur.

Bölgesel olarak değişen bir ortalama ile Simple Kriging yöntemi, kriging yöntemlerinin en temel şeklidir. Simple Kriging ile ortalamanın sabit olduğu ve bilindiği varsayılır. Bu özelliği ile diğer kriging yöntemlerinden kolaylıkla ayırt edilebilir. Ortalama sabit değilse, ancak ilgilenilen alanlarda ortalamayı tahmin edebiliyorsak, Simple Kriging yöntemi kullanılarak tahmin yapılabilmesi için bölgesel olarak değişen ortalama değereler kullanılabilir. Bölgesel ortalama Kriging uygulamasından önce tahmin edilir.

Ordinary Kriging tahminleri mevcut verilerin ağırlıklı ortalamalarıdır. Ordinary kriging yönteminin temel teorik avantajı, verilerin mekânsal bağımlılığın derecesini ve biçimini tanımlamak için kullanılması ve modellenen mekânsal bağımlılığın gözlemlere ağırlık atamak için kullanılmasıdır. Ordinary Kriging ağırlıkları en iyi doğrusal tarafsız

tahmin ediciyi tanımlar. Simple Kriging yönteminde çalışma alanına ait ortalamanın sabit olduğu varsayılıyorken, Ordinary Kriging yönteminde çoğu durumda bu geçersiz bir varsayımdır. Bir başka deyişle Ordinary Kriging yönteminde ortalamanın bir özelliğin ortalamasının çalışma alanı içerisinde değişmesine izin verilir. Ortalama kriging uygulamasının bir parçası olarak tahmin edilir. Ordinary Kriging yönteminin nokta tahmini, bölgeselleştirilmiş değişken teorisine dayanır ve tahmin ağırlıklarını hesaplamak için uygun bir variogram modeli kullanılır (Burrough ve ark., 2015). Ordinary kriging verileri için şu üç gereksinime ihtiyaç vardır (Bostan, 2013);

- Trend fonksiyonu sabit olmalıdır.
- Variogram tüm çalışma alanı üzerinde sabit olmalıdır ve
- Veri değişkeni yaklaşık olarak normal dağılıma sahip olmalıdır.

Ordinary Kriging yönteminin deterministik bir yöntem olan IDW (Inverse Distance Weighting) yönteminden tek farkı tahmin ağırlığını belirlemek için bir yarı variogram kullanılmasıdır (Cressie, 1990).

Universal Kriging, yerleşik bir trend içeren kriging yöntemi olarak tanımlanabilir (Burrough ve ark., 2015). Bu kriging yönteminde, bir veri kümesi içerisinde mevcut olan bir dış eğilimi hesaba katmak için hesaplamalara bir regresyon denklemi dahil edilir (Burrough ve ark., 2015). Universal Kriging yöntemi ortalamanın ne bilinen ne de sabit olduğunu varsayar (Olea, 2018). Veri noktalarının ağırlıklarının durağan bir rastgele fonksiyon modeli tarafından belirlendiği Ordinary Kriging yönteminden farklı olarak, Universal Kriging yöntemindeki ağırlıklar durağan olmayan bir rastgele fonksiyon modelinden alınır (Amini ve ark., 2019). Universal Kriging, sonuçların bağımsız olduğunu varsaymak yerine hataları oto korelasyon uygulamak için modellemeler yapar (Bailey ve Gatrell, 1995). Universal Kriging, bir veri kümesinin değerleri belirgin ve sistematik çeşitlilik gösterdiğinde optimal sonuçlar üretecektir (Olea, 2018).

4.4. Çapraz Değerleme Metodu

Gerçek değerleri tahminlerle karşılaştırma kavramı çok daha eski olmasına rağmen, "Çapraz Değerleme" teriminin Jeoistatistiksel uygulamalara 1970'lerin sonlarında girmiş olduğu görülmektedir (Clark, 1986). David M. Jeoistatistiksel Cevher Rezervi Tahmini (1977 s.56), adlı çalışmasında iki farklı tahmin yönteminden elde edilen

tahmin değerleri ile çalışma alanında ölçülen gerçek değerlerin karşılaştırılmasının tam olarak bir örneğini verir. Tarihsel olarak, çapraz değerleme tekniği 1970'lerin ortalarında neredeyse bilinmeyen bir teknikken günümüzde jeoistatistik uygulamalarının ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir.

Çapraz değerleme, örnek veri setinde mevcut olan verilerin kullanılması ile elde edilen değerler ile enterpolasyon yöntemi ile elde edilmiş değerleri karşılaştırmak için kullanılır (Apaydin ve ark., 2004). Jeoistatistiksel işlemlerde, çapraz değerleme, arama stratejileri, ağırlıklandırma prosedürleri, variogram modelleri, enterpolasyon algoritmaları ve simülasyon yaklaşımlarını karşılaştırmak ve/veya bunlar arasında seçim yapmak için kullanılabilir (Asa ve ark., 2012). Bu teknikte, bir konumdaki değer, veri kümesinden geçici olarak çıkarılır ve kalan değerler kullanılarak bu çıkarılan konum için tahminler yapılır. Tahmin hesaplandıktan sonra, hesaplanan değer, başlangıçta örnek veri setinden çıkarılan gerçek değer ile karşılaştırılır. Bu işlem mevcut tüm örnek değerleri için tekrarlanır. Böylece gözlemlenen değerler Kriging yöntemi ile tahmin edilir ve fark hata değeri (residual) olarak not edilir. Tahmin haritalarının değerlendirilmesinde aşağıda formülasyonları verilen hata ölçüm yöntemleri kullanılmaktadır;

Ortalama Hata (Mean Error, ME)

ME, hatanın yanlılık derecesini belirlemek için kullanılmaktadır (Isaaks ve Srivastava, 1989). Negatif ME değeri, tahmin edilen değerlerin, gözlemlenen değerlerin altında olduğunu ifade etmektedir. İyi bir tahmin için ME değerinin sıfıra yakın olması beklenir (Aydın ve Raja, 2016).

$$\mathrm{ME} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(\bar{Z}(x_i) - Z(x_i))}{n} \tag{4.33}$$

Karesel Ortalama Hata Kökü (Root Mean Square, RMSE)

Enterpolasyon yöntemleri ile elde edilen tahminlerin doğruluğu RMSE ile hesaplanır (Asa ve ark., 2012). Tahmin edilen değer ile gerçek değer arasındaki fark arttıkça, (RMSE) artar. RMSE değerinin sıfıra yakın olması, tahmin edilen değerin gerçek değere yakın olduğunu göstermektedir. Bundan dolayı iyi bir tahmin için RMSE değerinin sıfıra yakın olması beklenir.

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} \left(\bar{Z}(x_i) - Z(x_i)\right)^2}{n}} \tag{4.34}$$

Ortalama Standart Hata (Average Standart Error, ASE)

ASE, RMSE değerine yakınsa, tahmindeki değişkenliği doğru bir şekilde değerlendiriyorsunuz demektir (Armstrong, 1998) ASE, RMSE değerinden büyük olması, tahmin değerlerinin gerçek değerden daha büyük olduğu anlamına gelir. ASE, RMSE değerinden küçük olması, tahmin değerlerinin gerçek değerden daha küçük olduğu anlamına gelir. Farklı tahminler için görülen düşük RMSE değerleri, ASE değeri ile karşılaştırılmalıdır.

$$\text{ASE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} \hat{\sigma}(x_i)}{n}} \tag{4.35}$$

Standartlaştırılmış Ortalama Hata (Mean Standardized Error, MSE)

Bu hata ölçüsü genellikle enterpolasyon yöntemlerinin sonuçlarını karşılaştırmak için bir kriter olarak kullanılır ve iyi bir tahminde mümkün olduğu kadar düşük olmalıdır (Borges ve ark., 2016).

$$\text{MSE} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left(\bar{Z}(x_i) - Z(x_i)\right) \,/\, \hat{\sigma}(x_i)}{n} \tag{4.36}$$

Standartlaştırılmış Karesel Ortalama Hata Kökü (Root Mean Square Error, RMSSE)

RMSSE değeri 1'e yakın olmalıdır. RMSSE değeri 1'den büyükse tahmini yapılan değişken değerleri normalin altında hesaplanmıştır, 1'den küçükse değişken değerleri gerçekte olduğundan fazla tahmin edilmiştir (Armstrong, 1998).

$$\text{RMSSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} \left[\left(\bar{Z}(x_i) - Z(x_i)\right) / \hat{\sigma}(x_i)\right]^2}{n}} \tag{4.37}$$

5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında Maden Teknik Arama Genel Müdürlüğünün 1967 – 2012 yılları arasında Kütahya ili Tavşanlı ilçesi Tunçbilek bölgesi Ömerler mevkiinde açtığı yaklaşık 544.5 ha. alanda 252 adet sondaj noktasına ait veriler kullanılarak, bölgede bulunan madenin rezerv tahmini için en uygun jeoistatistiksel yöntemin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, Ordinary, Simple ve Universal Kriging yöntemleri kullanılmıştır. Kriging yöntemleri için elde edilen teorik variogram modelleri 11 adet variogram dönüşüm modeli kullanılarak elde edilmiştir. Veriler izotropik kabul edilmiştir ve trend düzeltmesi uygulanarak ve uygulanmayarak sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen sonuç istatistiksel değerler çapraz değerleme yöntemi kullanılarak karşılaştırılmış ve maden rezervinin üst ve alt yüzeyleri için ayrı ayrı en uygun jeoistatistiksel yöntem elde edilmiştir. Sonuç olarak en doğru yöntemlere ait değerler kullanılarak yüzey modeli oluşturulmuştur ve hacim hesabı yapılmıştır.

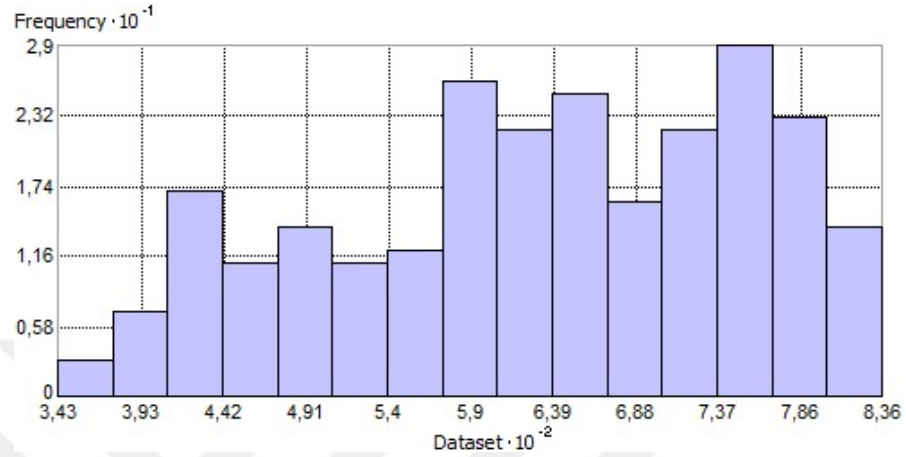
5.1. Verilerin İstatistiksel Dağılımı

MTA'dan temin edile veriler çeşitli istatistiksel yöntemler ve grafikler ile incelenmiş, incelemeler sonucunda sondaj noktalarına ait veriler içerisinde herhangi bir aykırı değer olup olmadığı araştırılmıştır. Bu aşama ile sondaj noktalarından elde edilen linyit kömürünün bulunduğu üst ve alt yüzeyleri için minimum, maksimum, ortalama, medyan, birinci çeyrek, üçüncü çeyrek, standart sapma, çarpıklık katsayısı ve basıklık değerleri Çizelge 5.1. ile verilmiştir.

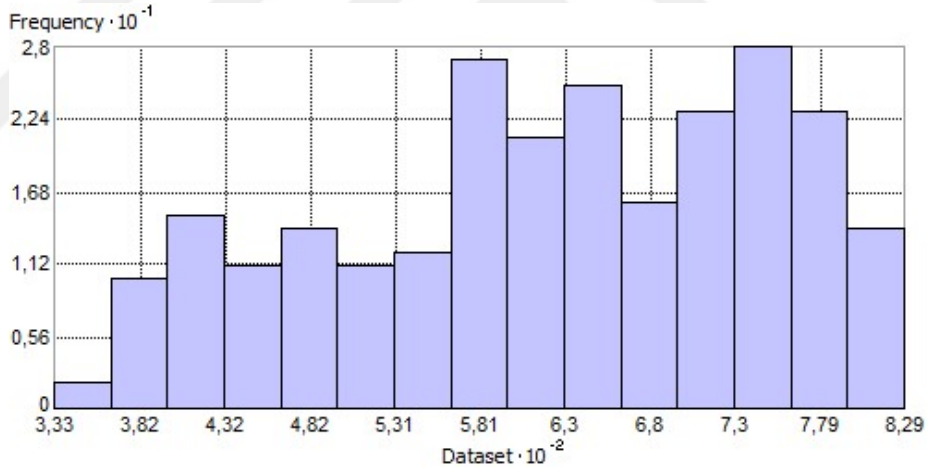
Çizelge 5.1. Ham verilere ait alt ve üst yüzeyler için hesaplanan istatistiksel değerler

İstatistiksel yöntem	Üst yüzey	Alt yüzey
Minimum değer	343.37 m	332.89 m
Maximum değer	835.7 m	828.75 m
Ortalama	630.36 m	622.2 m
1. Çeyrek değeri	543.73 m	533.1 m
3. Çeyrek değeri	742.24 m	732.39 m
Medyan	643 m	635.7 m
Standard sapma	125.45 m	126.25 m
Çarpıklık Katsayısı	-0.35893	-0.36746
Basıklık Katsayısı	2.0746	2.0745

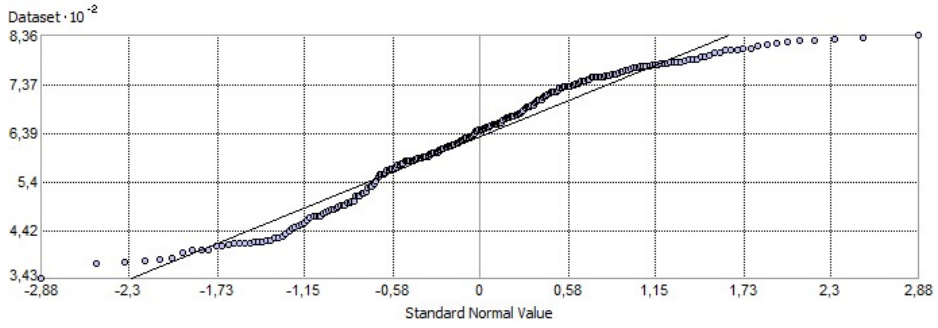
Verilerin dağılımının daha iyi incelenebilmesi için veriler histogram grafiği ve Q-Q plot grafiği ile incelenmiştir. Aşağıda üst ve alt yüzeyler için elde edilen grafikler Şekil 5.1 – 5.4 ile gösterilmiştir.



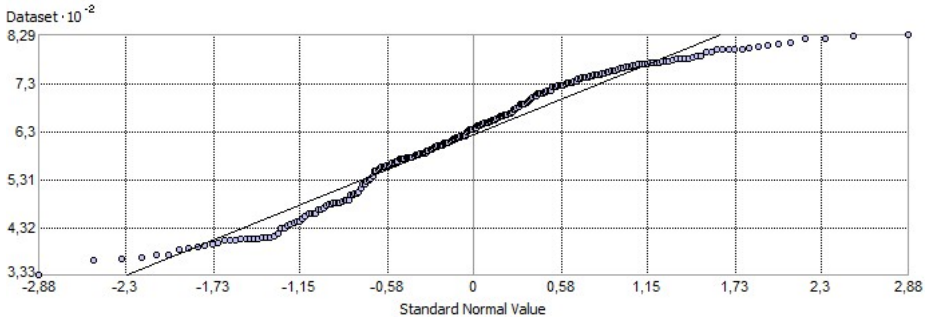
Şekil 5.1. Linyit Madeninin başladığı derinliğe ait (üst yüzey) verilerin histogram grafiği



Şekil 5.2. Linyit Madeninin bittiği derinliğe ait (alt yüzey) verilerin histogram grafiği



Şekil 5.3. Linyit Madeninin başladığı derinliğe ait (üst yüzey) verilerin Q – Q plot grafiği



Şekil 5.4. Linyit Madeninin bittiği derinliğe ait (alt yüzey) verilerin Q – Q plot grafiği

Bölüm 4.1'de açıklandığı üzere basıklık (k_k) değerini 3'e eşit olması verilerin normal dağılıma sahip olduğunu göstermektedir. Veri seti incelendiğinde üst ve alt yüzey için basıklık değerler sırasıyla 2.0746 ve 2.0745 olarak bulunmuştur. Basıklık (k_k) değerinin 3'ten küçük olması verilerin normal dağılımlı verilere göre daha basık olduğu sonucuna varılmıştır. Çarpıklık katsayıları (k_s) incelendiğinde ise üst ve alt yüzeyler için sırasıyla -0.35893 ve -0.36746 değerleri elde edildiği gözlemlenmiştir. Çarpıklık değerleri 0'dan küçük olduğundan dolayı verilere ait histogram grafiğinin çarpık bir dağılıma sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

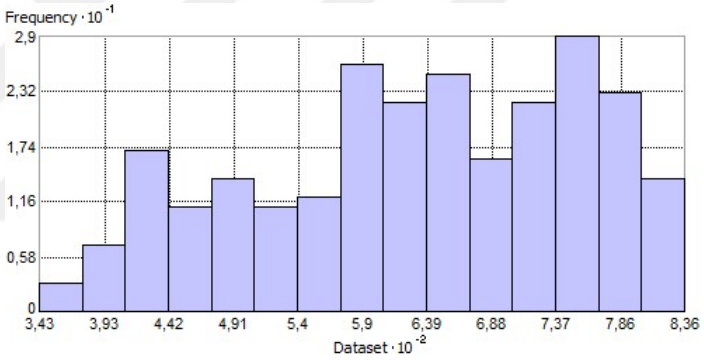
Histogram grafiği incelendiği zaman ortalamanın üstünde bulunan verilerin sayısının daha fazla olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Histogram grafiğinin sağa yatık olması, verilerin soldan çarpık yani negatif çarpıklığa sahip olduğunu göstermektedir. Q – Q plot grafiği incelendiğinde ise verilerin çarpık bir dağılıma sahip olduğu sonucuna kolayca varılabilmektedir.

Üstte elde edilen çarpık bir dağılma sahip veriler jeoistatistik analiz için kullanılmıştır. Daha önceki bölümlerde bahsedildiği gibi daha doğru sonuçların elde edilmesi için verilerdeki çarpıklığın giderilmesi gerekmektedir. Bunun için üst ve alt yüzeye ait veriler logaritmik dönüşüm uygulanarak normal dağılıma yaklaştırılmıştır. Logaritmik dönüşüm sonucunda elde edilen istatistiki veriler Çizelge 5.2'de verilmektedir.

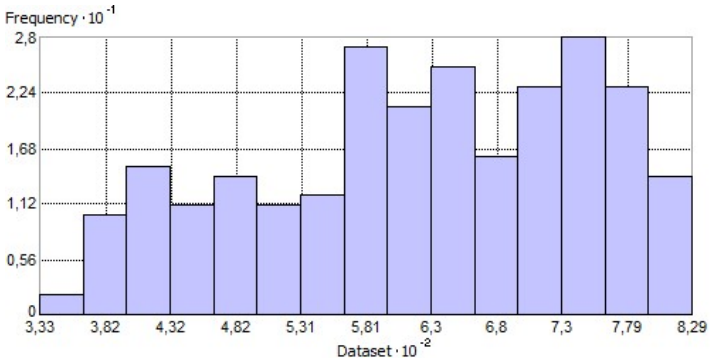
Çizelge 5.2. Logaritmik verilere ait alt ve üst yüzeyler için hesaplanan istatistiksel değerler

İstatistiksel yöntem	Üst yüzey	Alt yüzey
Minimum değer	5.8388 m	5.8078 m
Maximum değer	6.7283 m	6.7199 m
Ortalama	6.4246 m	6.4107 m
1. Çeyrek değeri	6.2984 m	6.2787 m
3. Çeyrek değeri	6.6097 m	6.5963 m
Medyan	6.4662 m	6.4547 m
Standard sapma	0.21385 m	0.21873 m
Çarpıklık Katsayısı	-0.67321	-0.6871
Basıklık Katsayısı	2.476	2.4906

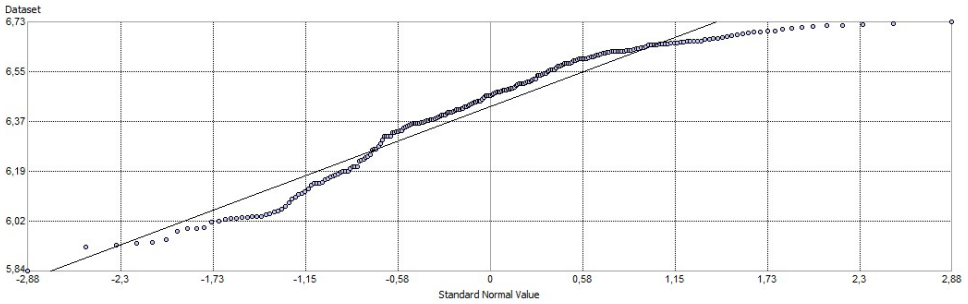
Logaritmik dönüşüm uygulanmış verilerin dağılımının daha iyi incelenebilmesi için veriler histogram grafiği ve Q-Q plot grafiği ile incelenmiştir. Aşağıda üst ve alt yüzeyler için elde edilen grafikler Şekil 5.5 – 5.8 ile gösterilmiştir.



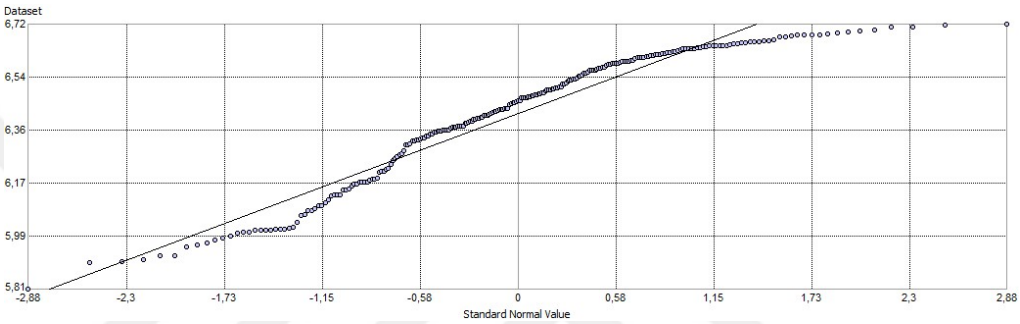
Şekil 5.5. Linyit Madeninin başladığı derinliğe ait (üst yüzey) logaritmik dönüşüm uygulanmış verilerin histogram grafiği



Şekil 5.6. Linyit Madeninin bittiği derinliğe ait (alt yüzey) logaritmik dönüşüm uygulanmış verilerin histogram grafiği

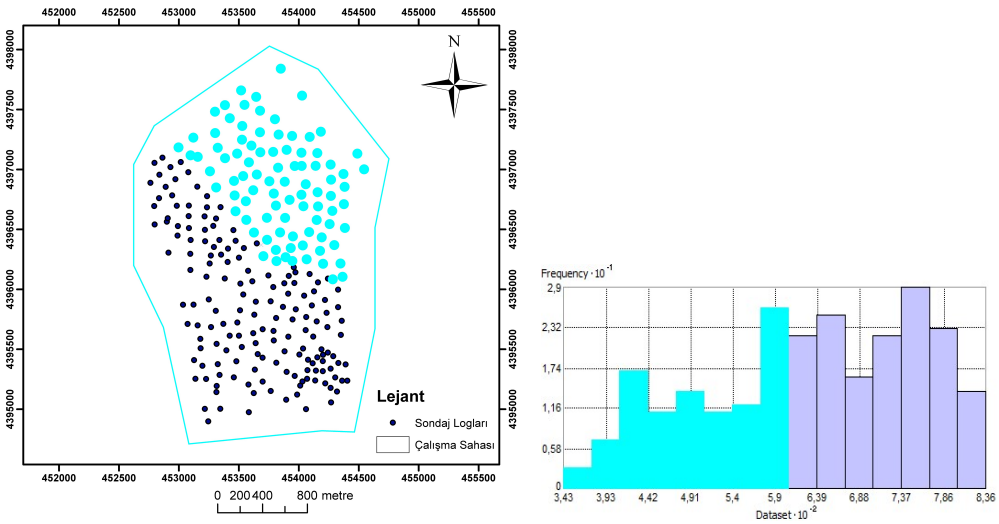


Şekil 5.7. Linyit Madeninin başladığı derinliğe ait (üst yüzey) logaritmik dönüşüm uygulanmış verilerin Q – Q plot grafiği

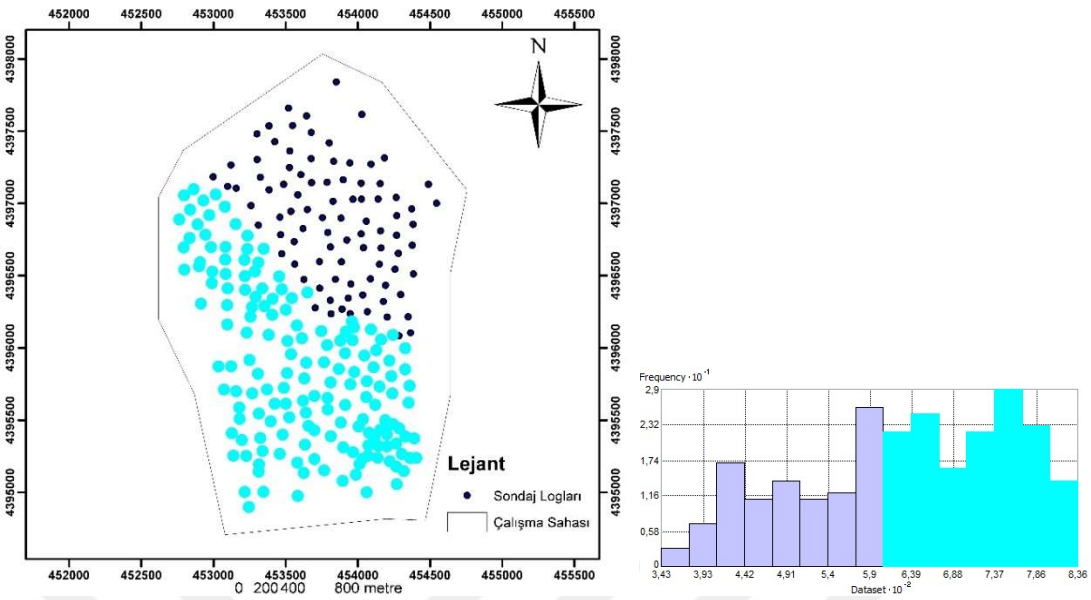


Şekil 5.8. Linyit Madeninin bittiği derinliğe ait (alt yüzey) logaritmik dönüşüm uygulanmış verilerin Q – Q plot grafiği

Histogram grafiğinde oluşturulan sınıf aralıklarının harita üzerinde hangi bölgelere karşılık geldiği ArcGIS uygulaması içerisinde bulunan geostatistical tool yardımıyla incelenmiş ve aşağıda verilen haritalar üzerinde gösterilmiştir.

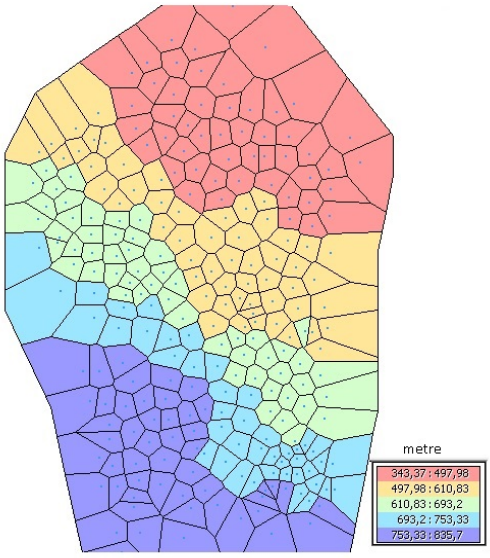


Şekil 5.9. Deniz seviyesine en yakın linyit maden noktalarının konumları

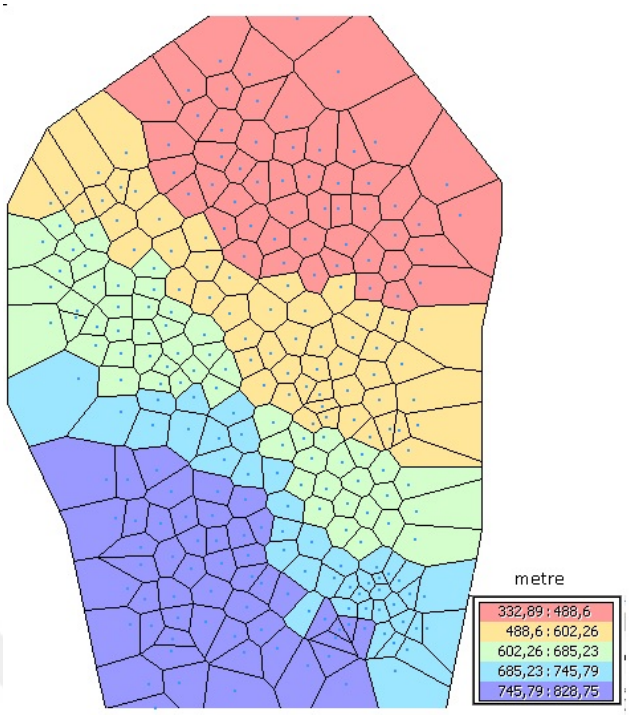


Şekil 5.10. Deniz seviyesine en uzak linyit maden noktalarının konumları

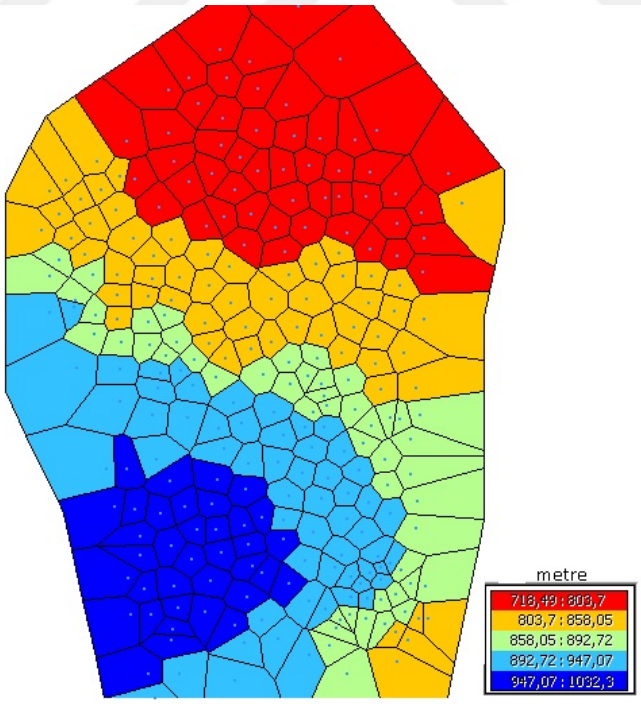
Linyit kömürünün bulunduğu derinlik değerlerinin üst ve alt yüzey için ayrı ayrı olarak çalışma alanı üzerinde nasıl bir dağılım gösterdiği Voronoi haritaları ile incelenmiştir. Voronoi haritaları ile veriler arasındaki ilişkilerin yönlere göre değişimi gözlemlenebilmektedir. Şekil 5.11 ve Şekil 5.12 ile verilerin ortalama yüksekliğe göre dağılımı, Şekil 5.13 ile ise verilerin standart sapma değerlerinin dağılımı verilmiştir.



Şekil 5.11. Üst yüzeye ait verilerin ortalama değerlerine göre Voronoi diyagramı



Şekil 5.12. Alt yüzeye ait verilerin ortalama değerlerine göre Voronoi diyagramı

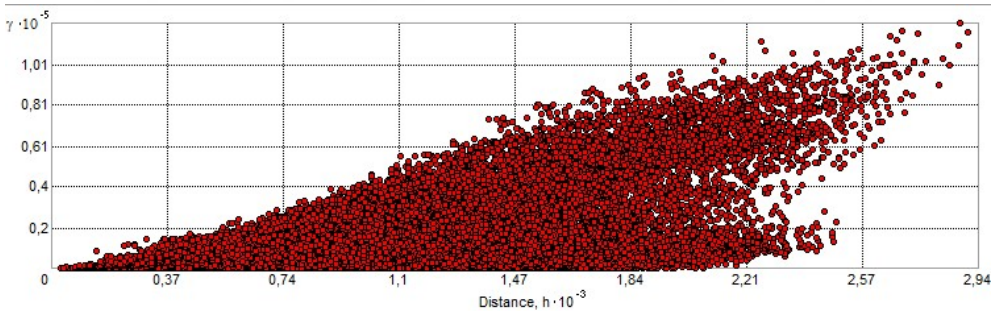


Şekil 5.13. Arazi yüzeyinin ortalama yüksekliğe göre Voronoi diyagramı

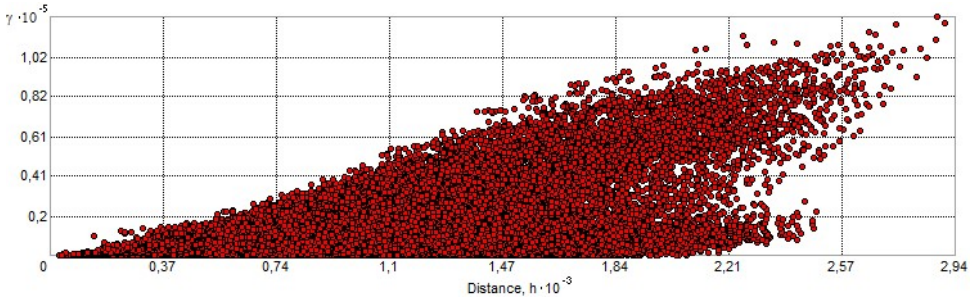
Voronoi grafiği incelendiği zaman çalışma alanının kuzey bölümünde linyit madeninin deniz seviyesinden yaklaşık 400 metre yükseklikte bulunduğu, güneye doğru gidildiğinde ise linyit madeninin deniz seviyesinden yüksekliğinin yaklaşık 800 metreye çıktığı görülmektedir. Kısacası Kuzeyden güneye doğru gidildiğinde madenin bulunduğu yüksekliğin arttığı gözlemlenmiştir. Buna rağmen arazi yüzeyine ait Voronoi diyagramı incelendiği zaman arazinin güney bölümünde homojen bir yükseklik dağılımı yoktur. Buradan çıkaracağımız sonuç haritanın güney – doğu bölümünde madene ulaşmanın daha hızlı olabileceğidir.

5.2. Mekansal Otokorelasyonun Araştırılması

Mekânsal bağımlılık şartı jeoistatistiksel analizin en önemli şartlarından birisidir. Verilerin incelenmesinde anlamlı sonuçlar elde edilebilmesi için verilerin konumsal otokorelasyona sahip olması gerekmektedir. Veriler arasındaki konumsal otokorelasyonun gösterildiği üst ve alt yüzeye ait variogram bulutu sırasıyla Şekil 5.14 ve Şekil 5.15'te gösterilmektedir.



Şekil 5.14. Üst yüzeye ait deneysel yarı variogram bulutu grafiği

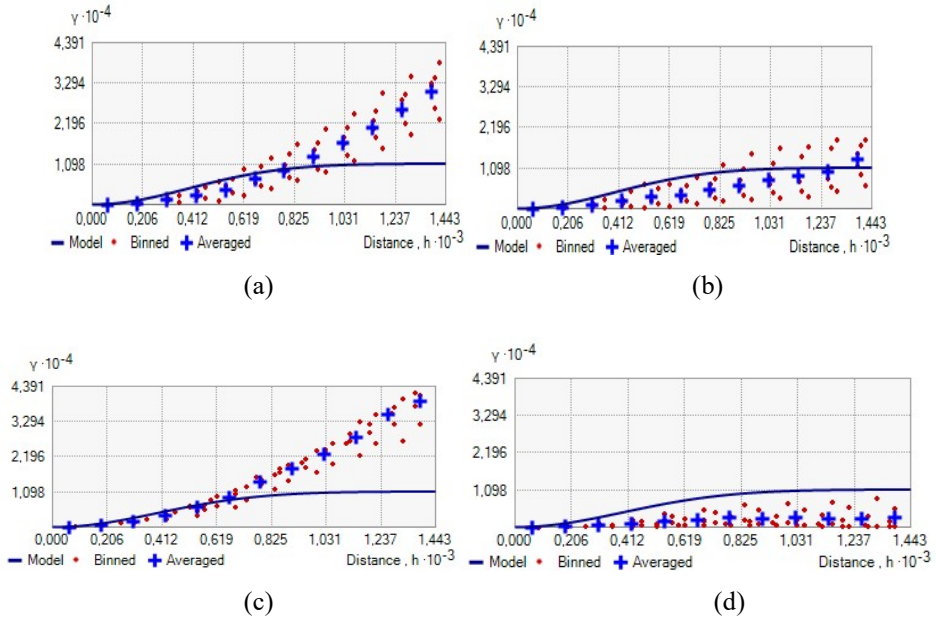


Şekil 5.15. Alt yüzeye ait deneysel yarı variogram bulutu grafiği

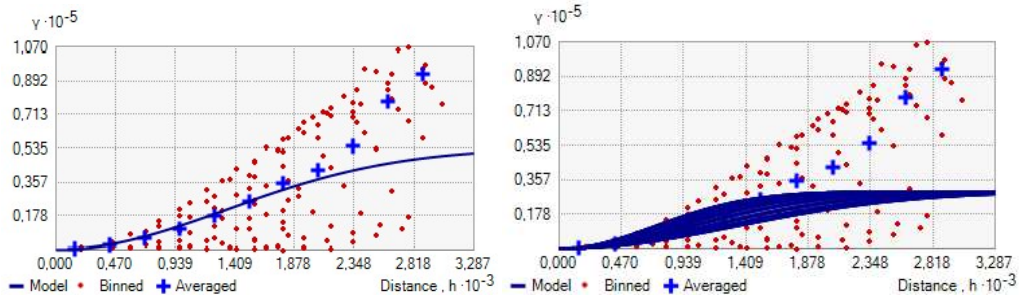
Yarı variogram bulutu grafiğinde yatay eksen mesafe, dikey eksen ise varyans değerini göstermektedir. Noktalar arasındaki mesafe azaldıkça veriler arasındaki mekânsal bağımlılığın artması beklenmektedir. Makamsal bağımlılığın yüksek olduğu noktalar için ise varyans değerinin düşük çıkması beklenir. Grafik incelendiğinde ise mesafe arttıkça varyans noktalarının yoğunlaştığı ve aynı zamanda arttığı gözlemlenmektedir.

5.3. Anizotropinin Araştırılması

Anizotropi, değişkenliğin yöne bağlı olması olarak tanımlanabilir. Deneysel bir yarı variogramda anizotropiyi kontrol etmek için, belirli yön bantları ve aynı zamanda öngörülen adım aralığı sınırları içinde kalan veri çiftleri için yarı varyans değerlerini hesaplamamız gerekir. Anizotropiyi kontrol etmek için çeşitli yönlerde üst ve alt yüzey modelleri için variogramlar karşılaştırıldı (0^0, 45^0, 90^0, 135^0 ve açı toleransı= ±22.50). Karşılaştırmalar sonucunda hesaplanan variogramların yapıları arasında önemli farklılıklar olmadığı görülmüştür. Bu nedenle, tez çalışmasında mekansal varyasyon izotropik olarak kabul edildi.



Şekil 5.16. Üst yüzey verileri kullanılarak dört farklı yön için hesaplanan yönelimsel yarı variogram modelleri (Şekil a: Güney-Kuzey / Şekil b: Doğu-Batı / Şekil c: Kuzeydoğu-Güneybatı / Şekil d: Kuzeybatı - Güneydoğu)

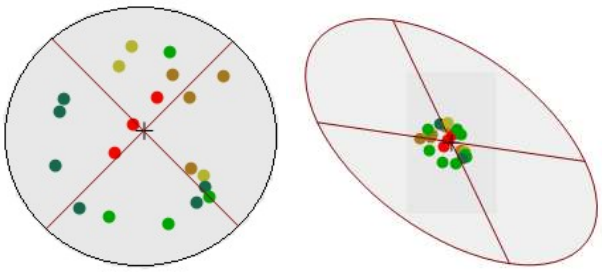


(a) (b)

Şekil 5.17. Üst yüzey verileri kullanılarak izotropik ve anizotropik yarı variogram modelleri, a) izotropik yarı variogram modeli, b) anizotropik yarı variogram modeli

5.4. Komşuluk Şartlarının Belirlenmesi

Webster ve Oliver (2007) yaptıkları araştırmalarda faydalanılacak komşu nokta sayısının en fazla 20, en az 8 komşu verisine sahip olması gerektiği sonucuna varmışlardır. Ayrıca komşuluk arama alanının, yarı çapları yatay düzleme göre 45 derece açı oluşturacak şekilde ve her bölümde en az 2 en fazla 5 komşu verisi bulunan 4 parçaya ayrılarak hesaplanması gerektiği sonucuna varmışlardır. Bu çalışmada komşuluk arama çalışmaları için Webster ve Oliver (2007)'in önerdiği değerler kullanılmıştır. Komşuluk arama alanları çapı variogram modellerinin etki mesafesi olarak belirlenen daireler ile belirlenmiştir.

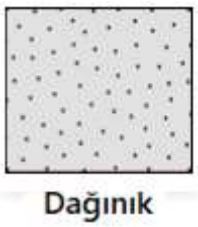


(a) (b)

Şekil 5.18. Komşuluk arama alanı (a: izotropik / b: anizotropik)

5.5. Uygun Adım Sayısı ve Adım Aralığının Belirlenmesi

Uygun adım aralığının doğru bir şekilde ayarlanabilmesi için veri dağılımın şeklinin bilinmesi gerekmektedir. MTA Genel Müdürlüğü'nden alınan sondaj verilerinin arazi üzerine dağını olarak yerleştirildiği belirlenmiştir.



Şekil 5.19. Dağınık Veri dağılım şekli

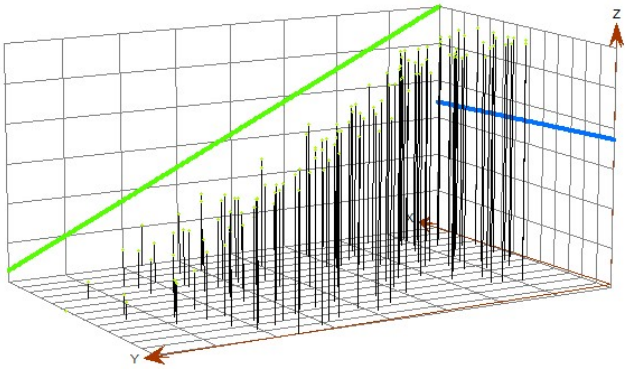
Genel olarak jeoistatistiksel analiz hesaplamalarında verilerin rastgele dağılmış olması istenmektedir. Johnston ve ark. (2001) rastgele ve dağınık dağılıma sahip veri kümelerinin adım aralığının örnekler arasındaki ortalama mesafe olarak belirlenmesiyle daha doğru sonuçlar elde edilebileceğini öne sürmüştür. Tez çalışmasında adım sayısı 12 olarak belirlenmiştir.

5.6. Trend Etkisi

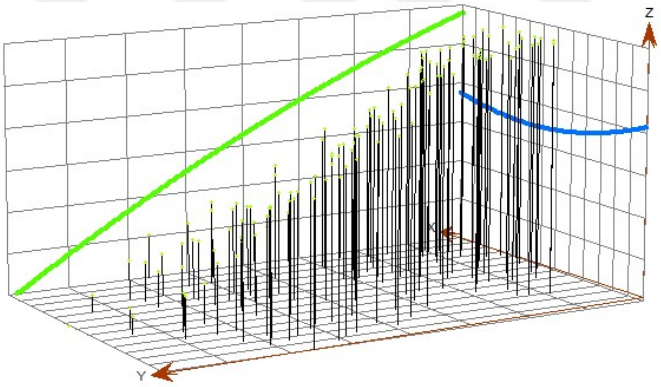
Deneysel variogramın güvenilirliğini etkileyen parametrelerden birisi ise durağanlık varsayımıdır. Durağanlık varsayımının sağlanması için veriler arasında trend etkisinin olmaması gerekmektedir. Teorik variogram hesabı için verilerin çalışma alanında rastgele veya dağınık bir şekilde dağılmış olması gerekmektedir ancak trend etkisi olan veriler bu şartı sağlamadığından dolayı elde edilen sonuçların güvenilirliği azalmaktadır. Örnek verilerde trend etkisinin olup olmadığı farklı dereceden polinom denklemleri yardımıyla trend yüzeyi oluşturularak incelenebilmektedir.

Örnek verilerdeki trend etkisinin varlığı ArcGIS yazılımı kullanılarak grafik üzerinde incelenebilmektedir. Trend analiz grafikleri üç boyutlu olup, yatay eksende kuzey- güney ve doğu- batı olarak şekilde örnek noktaların bulunduğu konumları ve yönlerini göstermektedir. Düşey eksende ise örnek noktalara ait yükseklik değerlerini göstermektedir. Trend analiz grafikleri birinci, ikinci ve üçüncü dereceden polinom denklemleri uygulanarak elde edilmektedir. Şekil 5.20, Şekil 5.21 ve Şekil 5.22 ile sırası

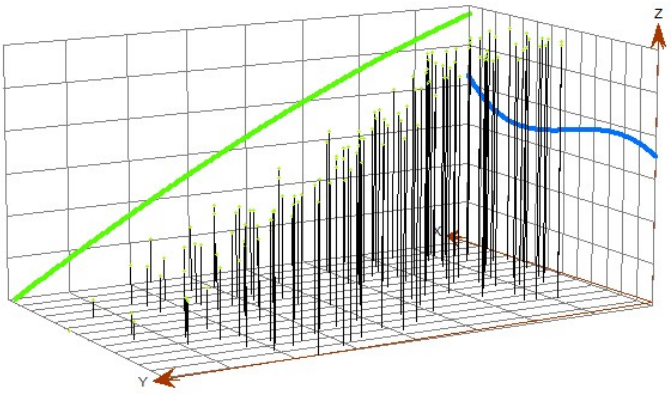
ile üst yüzeye ait trend analiz grafiğinin 1. 2. Ve 3. polinom denklemleri ile hesaplanmış görüntüsü verilmiştir. Trend analiz grafiklerinde trend eğrileri kuzey-güney yönünde mavi renkli eğri, doğu-batı yönünde ise yeşil renkli eğri ile gösterilmektedir. Ayrıcı grafikte görülen kırmızı noktalar verilerin çalışma alanındaki konumlarını gösteriyor iken, siyah renkli çubuklar verilerin yükseklik değerini temsil etmektedir.



Şekil 5.20. Birinci dereceden polinomlar ile elde edilen üst yüzey verilerinin trend analizi grafiği



Şekil 5.21. İkinci dereceden polinomlar ile elde edilen üst yüzey verilerinin trend analizi grafiği



Şekil 5.22. Üçüncü dereceden polinomlar ile elde edilen üst yüzey verilerinin trend analizi grafiği

Trend analiz grafikleri incelendiği zaman ikinci ve üçüncü polinom denklemleri uygulanan veriler incelendiğinde verilerde trend etkisinin bulunduğu tespit edilmiştir. Trend etkisi durağanlık şartını bozduğundan dolayı kriging hesabından önce kaldırılması gerekmektedir. Eğer istenirse elde edilen tahmin sonuçlarına bu etki eklenebilmektedir. Uygulamada hesaplanan tahmin değerleri hem trend etkisi kaldırılarak hem de kaldırılmayarak hesaplanmıştır. Trend etkisini kaldırmak için ikinci dereceden polinom denklemleri uygulanmıştır.

5.7. Kriging Yöntemleri Uygulanarak Tahmin Değerlerinin Elde Edilmesi

Uygulamada maden rezerv tahmini için Ordinary, Simple ve Universal Kriging olmak üzere 3 çeşit kriging yöntemi test edilmiştir. Ayrıca her kriging uygulaması için 11 adet yarı variogram modeli test edilmiştir. Elde edilen tahmin değerleri çapraz değerleme yöntemi ile karşılaştırılarak maden rezervi tahmini için en uygun yöntem belirlenmiştir. Uygulanan yöntemler Bölüm 3'te Çizelge 3.2, Çizelge 3.3, Çizelge 3.4, Çizelge 3.5 ile verilmiştir.

5.7.1. Ordinary Kriging yöntemi uygulanarak tahmin değerlerinin elde edilmesi

Çizelge 3.2 ve çizelge 3.5'te görülebileceği gibi uygulama 1'de Ordinary Kriging yöntemi ile yapılan tahmin hesaplarında trend etkisinin bulunduğu çarpık veriler kullanılmıştır. Aynı işlem hem üst yüzey hem de alt yüzey için ayrı ayrı uygulanmıştır. Aşağıda çapraz değerleme sonucunda elde edilen tahmin bulguları verilmiştir.

Çizelge 5.3. Üst yüzey için Uygulama 1- Ordinary Kriging yöntemi çapraz değerleme bulguları

Uygulama 1 (Üst Yüzey)						
Yöntem Adı	**Model**	**ME(m)**	**RMSE(m)**	**MSE**	**RMSSE**	**ASE(m)**
Ordinary Kriging-1	Circular	0.1343140	8.6921261	0.0018936	0.2424897	35.5959806
Ordinary Kriging-2	Spherical	0.1332678	8.6947540	0.0018120	0.2347427	36.7726843
Ordinary Kriging-3	Thetraspherical	0.1321786	8.6972599	0.0017382	0.2279311	37.8732218
Ordinary Kriging-4	Pentaspherical	0.1310629	8.6996696	0.0016708	0.2218885	38.9058909
Ordinary Kriging-5	Exponential	0.1367211	8.8014704	0.0014302	0.1763778	49.1000216
Ordinary Kriging-6	Gaussian	0.1777255	8.7887638	0.0013130	1.9516357	5.2523543
Ordinary Kriging-7	**Rational Quadratic**	**0.3761231**	**8.8437112**	**0.0143866**	**1.1672259**	**10.0147847**
Ordinary Kriging-8	Halo Effect	-0.0152995	9.0643571	-0.0051973	0.4281530	21.8486015
Ordinary Kriging-9	K-Bessel	0.2191232	9.8258243	0.0120400	0.6093157	19.9704302
Ordinary Kriging-10	J-Bessel	0.3407921	11.2668490	0.0174049	0.5628720	26.2213578
Ordinary Kriging-11	Stable	0.1777255	8.7887638	0.0013130	1.9516357	5.2523543

Üst yüzey için uygulama 1'den elde edilen çapraz değerleme sonuçları incelendiği zaman, en düşük RMSE değerinin Ordinary Kriging-1 yöntemi ile elde edildiği görülmesine rağmen, Ordinary Kriging-1 yönteminin RMSSE değerinin 1'den uzak olduğu görülmektedir. Bundan dolayı RMSSE değeri 1'e en yakın olmasının yanında ASE ve RMSE değeri birbirine en yakın olan Ordinary Kriging-7 yöntemi en doğru sonucu veren yöntem olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.4. Alt yüzey için Uygulama 1- Ordinary Kriging yöntemi çapraz değerleme bulguları

Uygulama 1 (Alt Yüzey)						
Yöntem Adı	**Model**	**ME(m)**	**RMSE(m)**	**MSE**	**RMSSE**	**ASE(m)**
Ordinary Kriging-1	Circular	0.0699198	9.7401528	0.0008700	0.2769830	35.8316954
Ordinary Kriging-2	Spherical	0.0688678	9.7434226	0.0008195	0.2681693	37.0146168
Ordinary Kriging-3	Thetraspherical	0.0677515	9.7465975	0.0007725	0.2604198	38.1211941
Ordinary Kriging-4	Pentaspherical	0.0665904	9.7496986	0.0007286	0.2535455	39.1596985
Ordinary Kriging-5	Exponential	0.0694930	9.8473694	0.0006387	0.2011912	49.4198961
Ordinary Kriging-6	Gaussian	0.0109468	9.7656093	-0.0177341	2.0216966	5.4199473
Ordinary Kriging-7	**Rational Quadratic**	**0.2816037**	**10.5770499**	**0.0151686**	**1.3833236**	**10.0800415**
Ordinary Kriging-8	Halo Effect	-0.0409171	9.9763250	-0.0057431	0.4511866	22.7297937
Ordinary Kriging-9	K-Bessel	0.0730516	11.4128794	0.0042105	0.6554661	20.2848966
Ordinary Kriging-10	J-Bessel	0.1279718	12.8597079	0.0081562	0.6022202	26.1606997
Ordinary Kriging-11	Stable	0.0109468	9.7656093	-0.0177341	2.0216966	5.4199473

Alt yüzey için uygulama 1'den elde edilen çapraz değerleme sonuçları incelendiği zaman, en düşük RMSE değerinin Ordinary Kriging-1 yöntemi ile elde edilmesine rağmen, Ordinary Kriging-1 yönteminin RMSSE değerinin 1'den uzak olduğu görülmektedir. RMSSE değerinin 1'e en yakın olduğu yöntemler sıralandığında ilk olarak Ordinary Kriging-9 yöntemi, ikinci olarak ise Ordinary Kriging-7 yöntemi olduğu görülmektedir. RMSSE ve ASE değerlerinin yakınlığı incelendiğinde ise Ordinary Kriging-9 yöntemi için bu iki değerin çok uzak olduğu, Ordinary Kriging-7 yöntemi için ise bu değerlerin tüm değerler arasında en yakın olduğu görülmektedir. Bundan dolayı Ordinary Kriging-7 yöntemi seçilmiştir.

Uygulama 2'de ise ordinary kriging yöntemi kullanılarak elde edilmiş tahmin bulgularının trend etkisi kaldırılmış ve çarpık dağılıma sahip veriler ile elde edilmektedir. Aynı işlem hem üst yüzey hem de alt yüzey için ayrı ayrı uygulanmıştır. Çapraz değerleme sonucunda elde edilen tahmin bulguları Çizelge 5.5 ve Çizelge 5.6 ile verilmiştir.

Çizelge 5.5. Üst yüzey için Uygulama 2- Ordinary Kriging yöntemi çapraz değerleme bulguları

Uygulama 2 (Üst Yüzey)						
Yöntem Adı	**Model**	**ME(m)**	**RMSE(m)**	**MSE**	**RMSSE**	**ASE(m)**
Ordinary Kriging-12	Circular	-0.0978668	8.3845012	-0.0124762	1.0792718	7.7255439
Ordinary Kriging-13	Spherical	-0.0931741	8.3916461	-0.0120971	1.0776040	7.7468197
Ordinary Kriging-14	Thetraspherical	-0.0900097	8.3908510	-0.0118303	1.0726596	7.7827037
Ordinary Kriging-15	Pentaspherical	-0.1133533	8.3914044	-0.0144939	1.0729225	7.7826008
Ordinary Kriging-16	Exponential	-0.1098172	8.5424926	-0.0139898	1.0754212	7.9072475
Ordinary Kriging-17	Gaussian	-0.0690984	8.4312145	-0.0093247	1.0800255	7.7561499
Ordinary Kriging-18	Rational Quadratic	-0.0781804	8.5934940	-0.0106353	1.0760762	7.9507267
Ordinary Kriging-19	**Halo Effect**	**-0.1317121**	**8.3230793**	**-0.0166090**	**1.0020823**	**8.2549344**
Ordinary Kriging-20	K-Bessel	-0.0952483	8.4459683	-0.0122890	1.0792803	7.7779394
Ordinary Kriging-21	J-Bessel	-0.0938688	8.3225198	-0.0120457	1.0738847	7.7092611
Ordinary Kriging-22	Stable	-0.0690984	8.4312145	-0.0093247	1.0800255	7.7561499

Üst yüzey için uygulama 2'den elde edilen çapraz değerleme sonuçları incelendiği zaman, en düşük RMSE değerine sahip olan, RMSSE değeri 1'e en yakın olan ve RMSE ve ASE değerleri birbirine en yakın olan Ordinary Kriging- 19 uygulama 2 için en uygun Ordinary Kriging yöntemi olarak seçilmiştir.

Çizelge 5.6. Alt yüzey için Uygulama 2- Ordinary Kriging yöntemi çapraz değerleme bulguları

Uygulama 2 (Alt Yüzey)						
Yöntem Adı	**Model**	**ME(m)**	**RMSE(m)**	**MSE**	**RMSSE**	**ASE(m)**
Ordinary Kriging-12	Circular	-0.0285288	9.3268440	-0.0037718	1.0948932	8.4985181
Ordinary Kriging-13	Spherical	-0.0711572	9.3455445	-0.0084475	1.0984299	8.4915925
Ordinary Kriging-14	Thetraspherical	-0.0676265	9.3252579	-0.0079863	1.0962373	8.4925983
Ordinary Kriging-15	Pentaspherical	-0.0634587	9.3305844	-0.0074710	1.0948677	8.5115824
Ordinary Kriging-16	Exponential	-0.0679878	9.4256406	-0.0080234	1.0718344	8.7820592
Ordinary Kriging-17	Gaussian	-0.0429309	9.3624964	-0.0053777	1.0899828	8.5732509
Ordinary Kriging-18	Rational Quadratic	-0.0845284	9.4893872	-0.0093879	1.0651898	8.9011244
Ordinary Kriging-19	**Halo Effect**	**-0.0727104**	**9.2845741**	**-0.0083972**	**1.0566833**	**8.7648372**
Ordinary Kriging-20	K-Bessel	-0.0677795	9.3717696	-0.0079845	1.1001789	8.4996832
Ordinary Kriging-21	J-Bessel	-0.0586271	9.2961955	-0.0067229	1.1002973	8.4328659
Ordinary Kriging-22	Stable	-0.0429309	9.3624964	-0.0053777	1.0899828	8.5732509

Alt yüzey için uygulama 2'den elde edilen çapraz değerleme sonuçları incelendiği zaman, en düşük RMSE değerine sahip olan, RMSSE değeri 1'e en yakın olan ve RMSE ve ASE değerleri birbirine en yakın olan Ordinary Kriging- 19 uygulama 2 için en uygun Ordinary Kriging yöntemi olarak seçilmiştir.

Uygulama 3 ise trend etkisi kaldırılmamış logaritmik dağılıma sahip veriler ile Ordinary Kriging yönteminin hesaplanmasını içermektedir. Aynı işlem hem üst yüzey hem de alt yüzey için ayrı ayrı uygulanmıştır. Çapraz değerleme sonucunda elde edilen tahmin bulguları Çizelge 5.7 ve Çizelge 5.8 ile verilmiştir.

Çizelge 5.7. Üst yüzey için Uygulama 3- Ordinary Kriging yöntemi çapraz değerleme bulguları

Uygulama 3 (Üst Yüzey)						
Yöntem Adı	**Model**	**ME(m)**	**RMSE(m)**	**MSE**	**RMSSE**	**ASE(m)**
Ordinary Kriging-23	Circular	1.1343366	8.7547539	0.0323571	0.2371750	38.3605777
Ordinary Kriging-24	Spherical	0.5635404	8.7124259	0.0196328	0.2896581	31.3457243
Ordinary Kriging-25	Thetraspherical	0.6205672	8.7349373	0.0221789	0.2752887	32.9775794
Ordinary Kriging-26	Pentaspherical	1.3564130	8.7924019	0.0349457	0.2175831	41.9895374
Ordinary Kriging-27	Exponential	2.1041109	9.0242046	0.0425654	0.1762922	53.1580075
Ordinary Kriging-28	Gaussian	0.2272488	8.7815487	0.0002267	1.9546764	5.3154584
Ordinary Kriging-29	**Rational Quadratic**	**0.4032257**	**8.8128794**	**0.0108122**	**1.1312246**	**9.9319446**
Ordinary Kriging-30	Halo Effect	0.4053941	9.1005726	0.0119171	0.4420555	22.3550816
Ordinary Kriging-31	K-Bessel	0.1813514	9.7980971	0.0229779	0.5870869	20.5077512
Ordinary Kriging-32	J-Bessel	0.3681145	11.1701090	0.0314387	0.5291018	27.2387661
Ordinary Kriging-33	Stable	0.2272488	8.7815487	0.0002267	1.9546764	5.3154584

Üst yüzey için uygulama 3'ten elde edilen çapraz değerleme sonuçları incelendiği zaman, en düşük RMSE değerinin Ordinary Kriging-24 yöntemi ile elde edildiği görülmesine rağmen, Ordinary Kriging-24 yönteminin RMSSE değerinin 1'den uzak olduğu görülmektedir. Bundan dolayı RMSSE değeri 1'e en yakın olmasının yanında ASE ve RMSE değeri birbirine en yakın olan Ordinary Kriging-29 yöntemi uygulama 3 için en doğru sonucu veren yöntem olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.8. Alt yüzey için Uygulama 3- Ordinary Kriging yöntemi çapraz değerleme bulguları

Uygulama 3 (Alt Yüzey)						
Yöntem Adı	**Model**	**ME(m)**	**RMSE(m)**	**MSE**	**RMSSE**	**ASE(m)**
Ordinary Kriging-23	Circular	1.0986339	9.7966211	0.0319829	0.2572575	38.7580884
Ordinary Kriging-24	Spherical	1.1784910	9.8083147	0.0329727	0.2491963	40.0617858
Ordinary Kriging-25	Thetraspherical	1.2547738	9.8202120	0.0338836	0.2421469	41.2800118
Ordinary Kriging-26	Pentaspherical	1.3277315	9.8322652	0.0347255	0.2359244	42.4225090
Ordinary Kriging-27	Exponential	2.0969381	10.0442778	0.0427122	0.1904993	53.7105916
Ordinary Kriging-28	Gaussian	0.0115277	9.7725883	-0.0188854	1.9608317	5.5469825
Ordinary Kriging-29	**Rational Quadratic**	**0.3150664**	**10.5881000**	**0.0106271**	**1.2416185**	**9.9904706**
Ordinary Kriging-30	Halo Effect	0.4174954	10.0170190	0.0126819	0.4510469	23.4149832
Ordinary Kriging-31	K-Bessel	-0.0334695	11.3666669	0.0161649	0.6116339	21.1709517
Ordinary Kriging-32	J-Bessel	0.1158420	12.7704186	0.0234864	0.5652695	27.2122871
Ordinary Kriging-33	Stable	0.0115277	9.7725883	-0.0188854	1.9608317	5.5469825

Alt yüzey için uygulama 3'ten elde edilen çapraz değerleme sonuçları incelendiği zaman, en düşük RMSE değerinin tamamen aynı bulguları üreten Ordinary Kriging-28 ve Ordinary Kriging-33 yöntemleri ile elde edildiği görülmesine rağmen, Ordinary Kriging-28 ve Ordinary Kriging-33 yöntemlerinin RMSSE değerinin 1'den uzak olduğu görülmektedir. Bundan dolayı RMSSE değeri 1'e en yakın olmasının yanında ASE ve RMSE değeri birbirine en yakın olan Ordinary Kriging-29 yöntemi uygulama 3 için en doğru sonucu veren yöntem olarak belirlenmiştir.

Uygulama 4 trend etkisi kaldırılmış ve logaritmik dönüşüm uygulanmış verilerin kullanılmasıyla Ordinary Kriging yönteminin hesaplanması ile elde edilen tahmin için oluşturulan değerleri vermektedir. Aynı işlem hem üst yüzey hem de alt yüzey için ayrı ayrı uygulanmıştır. Çapraz değerleme sonucunda elde edilen tahmin değerleri Çizelge 5.9 ve Çizelge 5.10 ile verilmiştir.

Çizelge 5.9. Üst yüzey için Uygulama 4- Ordinary Kriging yöntemi çapraz değerleme bulguları

Uygulama 4 (Üst Yüzey)						
Yöntem Adı	**Model**	**ME(m)**	**RMSE(m)**	**MSE**	**RMSSE**	**ASE(m)**
Ordinary Kriging-34	Circular	-0.1018257	8.3589240	-0.0169651	1.1281469	7.7521832
Ordinary Kriging-35	Spherical	-0.0978363	8.3631685	-0.0162846	1.1274360	7.7514247
Ordinary Kriging-36	Thetraspherical	-0.0908950	8.3572103	-0.0157009	1.1229135	7.7529519
Ordinary Kriging-37	Pentaspherical	-0.1165735	8.3565438	-0.0187494	1.1222071	7.7775091
Ordinary Kriging-38	Exponential	-0.1129237	8.5068011	-0.0176663	1.1199175	7.9321156
Ordinary Kriging-39	Gaussian	-0.0701705	8.4034238	-0.0139851	1.1312451	7.7298457
Ordinary Kriging-40	Rational Quadratic	-0.0914361	8.5569210	-0.0161043	1.1233998	7.9426045
Ordinary Kriging-41	**Halo Effect**	**-0.1394601**	**8.2875579**	**-0.0212175**	**1.0419423**	**8.3381272**
Ordinary Kriging-42	K-Bessel	-0.0652524	8.4206654	-0.0135484	1.1277230	7.7654782
Ordinary Kriging-43	J-Bessel	-0.0931975	8.3083352	-0.0161518	1.1245253	7.6710338
Ordinary Kriging-44	Stable	-0.0708596	8.4056042	-0.0140462	1.1296529	7.7439448

Üst yüzey için uygulama 4'ten elde edilen çapraz değerleme sonuçları incelendiği zaman, en düşük RMSE değerine sahip olan, RMSSE değeri 1'e en yakın olan ve RMSE ve ASE değerleri birbirine en yakın olan Ordinary Kriging- 41 uygulama 4 için en uygun Ordinary Kriging yöntemi olarak seçilmiştir.

Çizelge 5.10. Alt yüzey için Uygulama 4- Ordinary Kriging yöntemi çapraz değerleme bulguları

Uygulama 4 (Alt Yüzey)						
Yöntem Adı	**Model**	**ME(m)**	**RMSE(m)**	**MSE**	**RMSSE**	**ASE(m)**
Ordinary Kriging-34	Circular	-0.0456265	9.3096092	-0.0116309	1.1349486	8.3401151
Ordinary Kriging-35	Spherical	-0.0427096	9.3059920	-0.0112254	1.1323513	8.3480444
Ordinary Kriging-36	Thetraspherical	-0.0752994	9.2939179	-0.0140559	1.1307381	8.3701709
Ordinary Kriging-37	Pentaspherical	-0.0707778	9.3018594	-0.0134642	1.1303030	8.3650773
Ordinary Kriging-38	Exponential	-0.0707697	9.4094658	-0.0131776	1.1338061	8.4657552
Ordinary Kriging-39	Gaussian	-0.0439390	9.3337837	-0.0112392	1.1357089	8.3614401
Ordinary Kriging-40	Rational Quadratic	-0.0559273	9.4675889	-0.0111755	1.1374757	8.5084481
Ordinary Kriging-41	**Halo Effect**	**-0.0537975**	**9.2395180**	**-0.0128591**	**1.0796791**	**8.7299082**
Ordinary Kriging-42	K-Bessel	-0.0710869	9.3551965	-0.0134313	1.1331235	8.4172058
Ordinary Kriging-43	J-Bessel	-0.0459951	9.3093905	-0.0104747	1.1361652	8.2904428
Ordinary Kriging-44	Stable	-0.0290900	9.3540276	-0.0101930	1.1371148	8.3449382

Alt yüzey için uygulama 4'ten elde edilen çapraz değerleme sonuçları incelendiği zaman, en düşük RMSE değerine sahip olan, RMSSE değeri 1'e en yakın olan ve RMSE ve ASE değerleri birbirine en yakın olan Ordinary Kriging- 41 uygulama 4 için en uygun Ordinary Kriging yöntemi olarak seçilmiştir.

Çizelge 5.11 ve Çizelge 5.12 ile sırasıyla alt yüzey ve üst yüzey için en uygun tahmin metotları listelenmiştir.

Çizelge 5.11. Üst yüzey için belirlenen en uygun Ordinary Kriging tahmin değerleri

Uygu-lama	**Yöntem Adı**	**Model**	**ME(m)**	**RMSE(m)**	**MSE**	**RMSSE**	**ASE(m)**
1	Ordinary Kriging-7	Rational Quadratic	0.3761231	8.8437112	0.0143866	1.1672259	10.0147847
2	**Ordinary Kriging-19**	**Halo Effect**	**-0.1317121**	**8.3230793**	**-0.016609**	**1.0020823**	**8.2549344**
3	Ordinary Kriging-29	Rational Quadratic	0.4032257	8.8128794	0.0108122	1.1312246	9.9319446
4	Ordinary Kriging-41	Halo Effect	-0.1394601	8.2875579	-0.0212175	1.0419423	8.3381272

Ordinary Kriging yöntemi için uygulanan yöntemler arasında maden rezervinin üst yüzey modeli için en iyi sonuç veren yöntemler Çizelge 5.11 ile gösterilmiştir. En iyi sonuçları veren uygulamalar incelendiğinde Rational Quadratic ve Halo Effect variogram modellerinin en iyi sonuçları verdiği görülmüştür. Uygulama 2 ve uygulama 4, uygulama 1 ve uygulama 3'e göre daha iyi sonuçlar vermektedir. Uygulama 2 ve 4'ün ortak özelliği iki yöntemde de trend etkisi giderilmiş verilerin kullanılmasıdır. Uygulama 2 ve uygulama 4 kendi arasında incelendiğinde ise değerlerin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. RMSE değerleri incelendiğinde 4. Uygulamanın daha iyi sonuç verdiği fakat uygulama 2'nin RMSSE değerinin 1'e çok yakın olduğu görülmektedir. ME ve MSE değerleri incelendiğinde ise uygulama 2'de ME ve MSE değerlerinin 0'a daha yakın değerler aldığı görülmektedir. Bunun sonucunda Ordinary Kriging yöntemleri içerisinde maden rezervi üst yüzey model tahmini için Ordinary Kriging-19 yönteminin kullanılmasının diğer yöntemlere göre daha uygun olacağı belirlenmiştir.

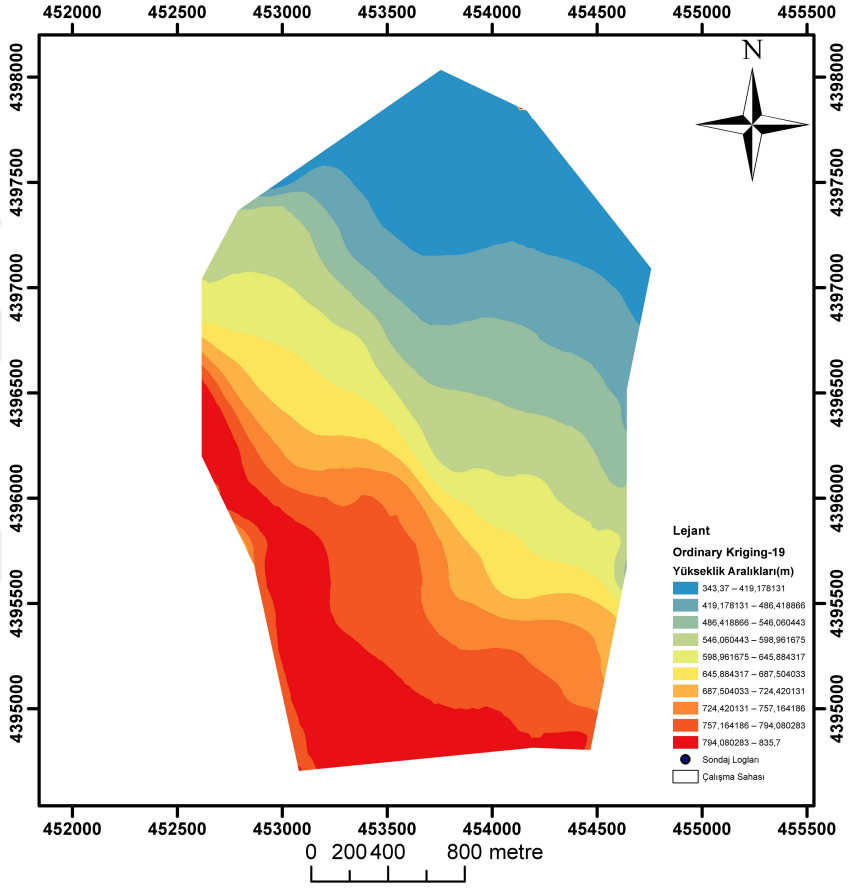
Çizelge 5.12. Alt yüzey için belirlenen en uygun Ordinary Kriging tahmin değerleri

Uygu-lama	Yöntem Adı	Model	ME(m)	RMSE(m)	MSE	RMSSE	ASE(m)
1	Ordinary Kriging-7	Rational Quadratic	0.2816037	10.5770499	0.0151686	1.3833236	10.0800415
2	**Ordinary Kriging-19**	**Halo Effect**	**-0.0727104**	**9.2845741**	**-0.0083972**	**1.0566833**	**8.7648372**
3	Ordinary Kriging-29	Rational Quadratic	0.3150664	10.588100	0.0106271	1.2416185	9.9904706
4	Ordinary Kriging-41	Halo Effect	-0.0537975	9.239518	-0.0128591	1.0796791	8.7299082

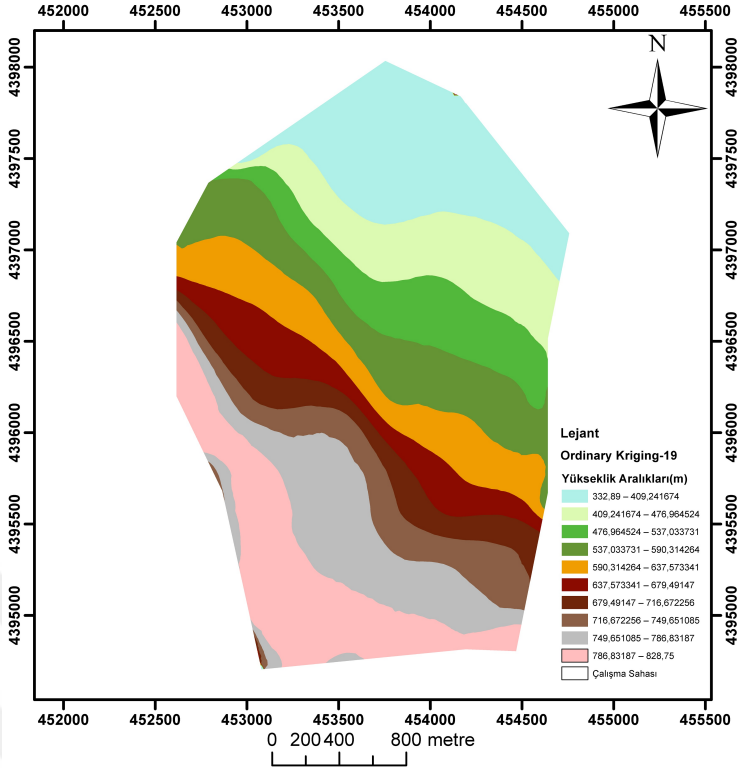
Ordinary Kriging yöntemi için uygulanan yöntemler arasında maden rezervinin üst yüzey modeli için en iyi sonuç veren yöntemler Çizelge 5.12 ile gösterilmiştir. En iyi sonuçları veren uygulamalar incelendiğinde Rational Quadratic ve Halo Effect variogram modellerinin en iyi sonuçları verdiği görülmüştür. Uygulama 2 ve uygulama 4, uygulama 1 ve uygulama 3'e göre daha iyi sonuçlar vermektedir. Uygulama 2 ve 4'ün ortak özelliği iki yöntemde de trend etkisi giderilmiş verilerin kullanılmasıdır. Uygulama 2 ve uygulama 4 kendi arasında incelendiğinde ise değerlerin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. RMSE değerleri incelendiğinde 4. Uygulamanın daha iyi sonuç verdiği fakat uygulama 2'nin RMSSE değerinin 1'e çok yakın olduğu görülmektedir. ME ve MSE değerleri incelendiğinde ise uygulama 2'de MSE değerlerinin 0'a daha yakın değerler aldığı görülmektedir. Bunun sonucunda Ordinary Kriging yöntemleri içerisinde

maden rezervi alt yüzey model tahmini için Ordinary Kriging-19 yönteminin kullanılmasının diğer yöntemlere göre daha uygun olacağı belirlenmiştir.

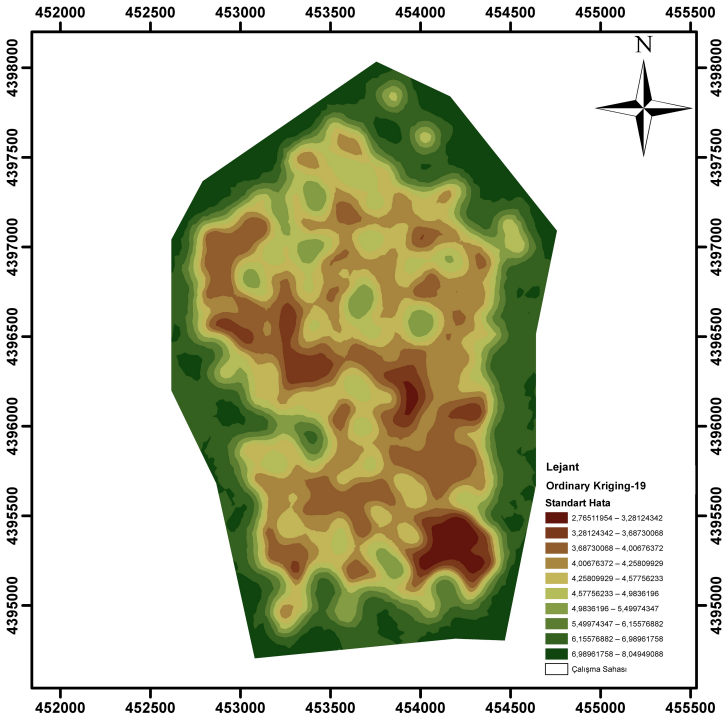
Ordinary Kriging 19 yöntemi ile oluşturulan en uygun yüzey ve yüzey tahmin hataları haritaları alt ve üst yüzey için ayrı ayrı Şekil 5.23, Şekil 5.24, Şekil 5.25, Şekil 5.26 ile verilmiştir.



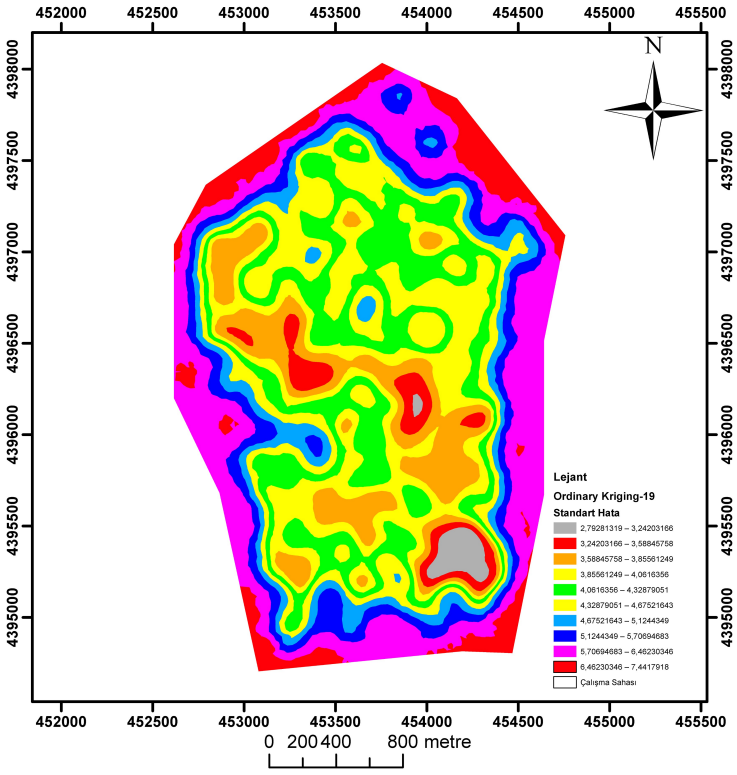
Şekil 5.23. Ordinary Kriging -19 yöntemi ile oluşturulan üst yüzey için en uygun yüzey modeli haritası



Şekil 5.24. Ordinary Kriging -19 yöntemi ile oluşturulan alt yüzey için en uygun yüzey modeli haritası



Şekil 5.25. Ordinary Kriging -19 yöntemi ile oluşturulan üst yüzey için en uygun yüzey modeline ait tahmin hataları (m)



Şekil 5.26. Ordinary Kriging -19 yöntemi ile oluşturulan alt yüzey için en uygun yüzey modeline ait tahmin hataları (m)

Jeoistatistik hesaplamalarında genel olarak logaritmik dönüşüm uygulanmış verilerin daha doğru sonuçlar vereceği kanısı olsa da yapılan Ordinary Kriging yöntemi ile yapılan hesaplamalarda çarpık verilerin daha doğru sonuçlar verdiği görülmüştür. Çalışma da trend etkisinin giderilmesi sonuçlara olumlu yönde etki etmiştir.

5.7.2. Simple Kriging yöntemi uygulanarak tahmin değerlerinin elde edilmesi

Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.5'te görülebileceği gibi uygulama 1'de Simple Kriging yöntemi ile yapılan tahmin hesaplarında trend etkisinin kaldırılmadığı çarpık veriler kullanılmıştır. Aynı işlem hem üst yüzey hem de alt yüzey için ayrı ayrı uygulanmıştır. Aşağıda çapraz değerleme sonucunda elde edilen tahmin bulguları verilmiştir.

Çizelge 5.13. Üst yüzey için Uygulama 1- Simple Kriging yöntemi çapraz değerleme bulguları

Uygulama 1 (Üst Yüzey)						
Yöntem Adı	**Model**	**ME(m)**	**RMSE(m)**	**MSE**	**RMSSE**	**ASE(m)**
Simple Kriging-1	Circular	0.1852870	9.0725431	0.0026437	0.2461709	35.5832912
Simple Kriging-2	Spherical	0.1994341	9.1924531	0.0027693	0.2395006	36.7568788
Simple Kriging-3	Thetraspherical	0.2135053	9.3125669	0.0028962	0.2337345	37.8544560
Simple Kriging-4	Pentaspherical	0.2275758	9.4333960	0.0030248	0.2287150	38.8842720
Simple Kriging-5	Exponential	0.2857571	9.9607611	0.0031595	0.1857572	49.0723073
Simple Kriging-6	Gaussian	0.1527555	8.9293672	0.0018826	1.8496758	5.3597080
Simple Kriging-7	**Rational Quadratic**	**0.4691962**	**9.4312025**	**0.0149150**	**1.1730685**	**9.9758868**
Simple Kriging-8	Halo Effect	1.0841142	11.9111173	0.0860300	2.2218149	5.6851153
Simple Kriging-9	K-Bessel	-0.1444964	15.7276261	0.6616611	37.6272387	4.6857038
Simple Kriging-10	J-Bessel	0.3504907	20.8422760	0.6123006	62.9279407	6.2039910
Simple Kriging-11	Stable	0.1527555	8.9293672	0.0018826	1.8496758	5.3597080

Üst yüzey için uygulama 1'den elde edilen çapraz değerleme sonuçları incelendiği zaman, en düşük RMSE değerinin Simple Kriging-6 ve Simple Kriging-11 yöntemleri ile elde edildiği görülmesine rağmen, Simple Kriging-6 ve Simple Kriging-11 yöntemlerinin RMSSE değerlerinin 1'den uzak olduğu görülmektedir. Bundan dolayı RMSSE değeri 1'e en yakın olmasının yanında ASE ve RMSE değeri birbirine en yakın olan Simple Kriging-7 yöntemi uygulama 1 için en doğru sonucu veren yöntem olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.14. Alt yüzey için Uygulama 1- Simple Kriging yöntemi çapraz değerleme bulguları

Uygulama 1 (Alt Yüzey)						
Yöntem Adı	**Model**	**ME(m)**	**RMSE(m)**	**MSE**	**RMSSE**	**ASE(m)**
Simple Kriging-1	Circular	0.1218267	10.0787146	0.0016407	0.2800688	35.8189219
Simple Kriging-2	Spherical	0.1362577	10.1876362	0.0018022	0.2721815	36.9987073
Simple Kriging-3	Thetraspherical	0.1505885	10.2971140	0.0019603	0.2653362	38.1023053
Simple Kriging-4	Pentaspherical	0.1648975	10.4075726	0.0021163	0.2593504	39.1379385
Simple Kriging-5	Exponential	0.2212535	10.9048827	0.0024022	0.2094309	49.3920012
Simple Kriging-6	Gaussian	0.0353423	9.8387147	-0.0124790	1.8985568	5.5468247
Simple Kriging-7	**Rational Quadratic**	**0.3774464**	**11.2051858**	**0.0155364**	**1.3908216**	**10.0408901**
Simple Kriging-8	Halo Effect	0.8392604	12.7679454	0.0653228	2.4406998	5.7211603
Simple Kriging-9	K-Bessel	1.8804536	26.8698464	0.1362443	6.3794791	9.1021273
Simple Kriging-10	J-Bessel	3.5976051	38.8011063	0.3604944	17.5335540	9.0231855
Simple Kriging-11	Stable	0.0353423	9.8387147	-0.0124790	1.8985568	5.5468247

Alt yüzey için uygulama 1'den elde edilen çapraz değerleme sonuçları incelendiği zaman, en düşük RMSE değerinin Simple Kriging-6 ve Simple Kriging-11 yöntemleri ile elde edildiği görülmesine rağmen, Simple Kriging-6 ve Simple Kriging-11 yöntemlerinin RMSSE değerlerinin 1'den uzak olduğu görülmektedir. Bundan dolayı RMSSE değeri 1'e en yakın olmasının yanında ASE ve RMSE değeri birbirine en yakın olan Simple Kriging-7 yöntemi uygulama 1 için en doğru sonucu veren yöntem olarak belirlenmiştir.

Uygulama 2'de ise Simple Kriging yöntemi kullanılarak elde edilmiş tahmin bulgularının trend etkisi kaldırılmış ve çarpık dağılıma sahip veriler ile elde edilmektedir. Aynı işlem hem üst yüzey hem de alt yüzey için ayrı ayrı uygulanmıştır. Çapraz değerleme sonucunda elde edilen tahmin bulguları Çizelge 5.15 ve Çizelge 5.16 ile verilmiştir.

Çizelge 5.15. Üst yüzey için Uygulama 2- Simple Kriging yöntemi çapraz değerleme bulguları

Uygulama 2 (Üst Yüzey)						
Yöntem Adı	**Model**	**ME(m)**	**RMSE(m)**	**MSE**	**RMSSE**	**ASE(m)**
Simple Kriging-12	**Circular**	**-0.1127588**	**8.3338808**	**-0.0147470**	**1.0875001**	**7.6148473**
Simple Kriging-13	Spherical	-0.0821842	8.3833256	-0.0108466	1.0914107	7.6282319
Simple Kriging-14	Thetraspherical	-0.0810293	8.4215442	-0.0109017	1.0907430	7.6694914
Simple Kriging-15	Pentaspherical	-0.0785978	8.4653605	-0.0106764	1.0934984	7.6897123
Simple Kriging-16	Exponential	-0.0929476	8.5665228	-0.0127247	1.0854096	7.8514504
Simple Kriging-17	Gaussian	-0.1041355	8.4066755	-0.0137215	1.0908020	7.6487539
Simple Kriging-18	Rational Quadratic	-0.0957448	8.6118860	-0.0132038	1.0869341	7.8738453
Simple Kriging-19	Halo Effect	-0.1195215	8.5394558	-0.0149524	1.0948738	7.7597612
Simple Kriging-20	K-Bessel	-0.0884306	8.4231468	-0.0117427	1.0907911	7.6617888
Simple Kriging-21	J-Bessel	-0.0793800	8.4053545	-0.0104449	1.1040676	7.5515998
Simple Kriging-22	Stable	-0.1042903	8.4077101	-0.0137394	1.0904906	7.6519093

Üst yüzey için uygulama 2'den elde edilen çapraz değerleme sonuçları incelendiği zaman, en düşük RMSE değerinin Simple Kriging-12 yöntemine ait olduğu görülmektedir. RMSSE değeri incelendiğinde ise tüm yöntemlerin birbirine ve 1 değerine çok yakın sonuçlar ürettiği gözlenmiştir. Bundan dolayı Simple Kriging-12 yöntemi uygulama 2 için en doğru sonucu veren yöntem olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.16. Alt yüzey için Uygulama 2- Simple Kriging yöntemi çapraz değerleme bulguları

Uygulama 2 (Alt Yüzey)						
Yöntem Adı	**Model**	**ME(m)**	**RMSE(m)**	**MSE**	**RMSSE**	**ASE(m)**
Simple Kriging-12	**Circular**	**-0.0456389**	**9.2924458**	**-0.0054949**	**1.1115686**	**8.3358930**
Simple Kriging-13	Spherical	-0.0487923	9.3370381	-0.0059351	1.1146428	8.3560948
Simple Kriging-14	Thetraspherical	-0.0502031	9.3926152	-0.0061275	1.1190491	8.3719206
Simple Kriging-15	Pentaspherical	-0.0495068	9.4064566	-0.0060507	1.1194207	8.3817450
Simple Kriging-16	Exponential	-0.0574551	9.4877715	-0.0070310	1.1160456	8.4836662
Simple Kriging-17	Gaussian	-0.0450750	9.3497801	-0.0054798	1.1159904	8.3505839
Simple Kriging-18	Rational Quadratic	-0.0569089	9.5251370	-0.0069655	1.1153479	8.5198170
Simple Kriging-19	Halo Effect	-0.0714491	9.4093235	-0.0084801	1.1169103	8.4010435
Simple Kriging-20	K-Bessel	-0.0520710	9.3700381	-0.0063671	1.1167127	8.3646191
Simple Kriging-21	J-Bessel	-0.0400524	9.3540725	-0.0048500	1.1224110	8.3068888
Simple Kriging-22	Stable	-0.0450750	9.3497801	-0.0054798	1.1159904	8.3505839

Alt yüzey için uygulama 2'den elde edilen çapraz değerleme sonuçları incelendiği zaman, en düşük RMSE değerine sahip olan, RMSSE değeri 1'e en yakın olan ve RMSE ve ASE değerleri birbirine en yakın olan Simple Kriging- 12 uygulama 2 için en uygun Ordinary Kriging yöntemi olarak seçilmiştir.

Uygulama 3 ise trend etkisi kaldırılmamış logaritmik dağılıma sahip veriler ile Simple Kriging yönteminin hesaplanmasını içermektedir. Aynı işlem hem üst yüzey hem de alt yüzey için ayrı ayrı uygulanmıştır. Çapraz değerleme sonucunda elde edilen tahmin bulguları Çizelge 5.17 ve Çizelge 5.18 ile verilmiştir.

Çizelge 5.17. Üst yüzey için Uygulama 3- Simple Kriging yöntemi çapraz değerleme bulguları

Uygulama 3 (Üst Yüzey)						
Yöntem Adı	**Model**	**ME(m)**	**RMSE(m)**	**MSE**	**RMSSE**	**ASE(m)**
Simple Kriging-23	Circular	1.1450180	9.0654614	0.0311875	0.2429255	38.3572341
Simple Kriging-24	Spherical	1.2393273	9.1701075	0.0323840	0.2369055	39.6476716
Simple Kriging-25	Thetraspherical	1.3291652	9.2755631	0.0335093	0.2317326	40.8531888
Simple Kriging-26	Pentaspherical	1.4150591	9.3821022	0.0345723	0.2272590	41.9834815
Simple Kriging-27	Exponential	2.2010677	9.9522687	0.0438700	0.1885999	53.1420678
Simple Kriging-28	Gaussian	2.2010677	9.9522687	0.0438700	0.1885999	53.1420678
Simple Kriging-29	**Rational Quadratic**	**0.4387552**	**9.2706952**	**0.0155029**	**1.1402544**	**9.9236050**
Simple Kriging-30	Halo Effect	0.7121221	11.4740682	0.0815190	2.0779862	5.9107172
Simple Kriging-31	K-Bessel	-0.0753565	15.3751724	0.2497422	28.0492441	4.2049811
Simple Kriging-32	J-Bessel	0.3826547	20.0632322	0.0788233	29.6574465	6.6149765
Simple Kriging-33	Stable	0.1212055	8.8956224	0.0057561	1.8562274	5.4720029

Üst yüzey için uygulama 3'ten elde edilen çapraz değerleme sonuçları incelendiği zaman, en düşük RMSE değerinin Simple Kriging -33 yöntemi ile elde edildiği görülmesine rağmen, Ordinary Kriging-33 yönteminin RMSSE değerinin 1'den uzak olduğu görülmektedir. Bundan dolayı RMSSE değeri 1'e en yakın olmasının yanında ASE ve RMSE değeri birbirine en yakın olan Simple Kriging -29 yöntemi uygulama 3 için en doğru sonucu veren yöntem olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.18. Alt yüzey için Uygulama 3- Simple Kriging yöntemi çapraz değerleme bulguları

Uygulama 3 (Alt Yüzey)						
Yöntem Adı	**Model**	**ME(m)**	**RMSE(m)**	**MSE**	**RMSSE**	**ASE(m)**
Simple Kriging-23	Circular	1.1082765	10.0702078	0.0307836	0.2625555	38.7546743
Simple Kriging-24	Spherical	1.2052672	10.1638915	0.0320421	0.2557776	40.0574770
Simple Kriging-25	Thetraspherical	1.2976489	10.2586307	0.0332232	0.2499353	41.2747705
Simple Kriging-26	Pentaspherical	1.3859603	10.3546395	0.0343366	0.2448642	42.4162765
Simple Kriging-27	Exponential	2.1940356	10.8827838	0.0440298	0.2020501	53.6939174
Simple Kriging-28	Gaussian	-0.0226754	9.8233862	-0.0135019	1.8332792	5.7654473
Simple Kriging-29	**Rational Quadratic**	**0.3535414**	**11.1160289**	**0.0152510**	**1.2515280**	**9.9829753**
Simple Kriging-30	Halo Effect	0.4353732	12.4134146	0.0599198	1.9352964	6.5818336
Simple Kriging-31	K-Bessel	1.8160055	26.5702129	0.0661257	3.4813545	11.1088334
Simple Kriging-32	J-Bessel	3.1194442	38.5659771	0.1016674	3.9104724	15.0833466
Simple Kriging-33	Stable	-0.0226754	9.8233862	-0.0135019	1.8332792	5.7654473

Alt yüzey için uygulama 3'ten elde edilen çapraz değerleme sonuçları incelendiği zaman, en düşük RMSE değerinin Simple Kriging-28 ve Simple Kriging-33 yöntemleri ile elde edildiği görülmesine rağmen, Simple Kriging-28 ve Simple Kriging-33 yöntemlerinin RMSSE değerlerinin 1'den uzak olduğu görülmektedir. Bundan dolayı RMSSE değeri 1'e en yakın olmasının yanında ASE ve RMSE değeri birbirine en yakın olan Simple Kriging -29 yöntemi uygulama 1 için en doğru sonucu veren yöntem olarak belirlenmiştir.

Uygulama 4 trend etkisi kaldırılmış ve logaritmik dönüşüm uygulanmış verilerin kullanılmasıyla Simple Kriging yönteminin hesaplanması ile elde edilen tahmin için oluşturulan değerleri vermektedir. Aynı işlem hem üst yüzey hem de alt yüzey için ayrı ayrı uygulanmıştır. Çapraz değerleme sonucunda elde edilen tahmin değerleri Çizelge 5.19 ve Çizelge 5.20 ile verilmiştir.

Çizelge 5.19. Üst yüzey için Uygulama 4- Simple Kriging yöntemi çapraz değerleme bulguları

Uygulama 4 (Üst Yüzey)						
Yöntem Adı	**Model**	**ME(m)**	**RMSE(m)**	**MSE**	**RMSSE**	**ASE(m)**
Simple Kriging-34	**Circular**	**-0.1176709**	**8.3025131**	**-0.0201199**	**1.1389004**	**7.6477458**
Simple Kriging-35	Spherical	-0.0870494	8.3518224	-0.0167414	1.1465546	7.6261988
Simple Kriging-36	Thetraspherical	-0.0839607	8.3827118	-0.0161982	1.1456599	7.6377588
Simple Kriging-37	Pentaspherical	-0.0815226	8.4239215	-0.0162549	1.1477189	7.6598520
Simple Kriging-38	Exponential	-0.0917139	8.5285990	-0.0170714	1.1350337	7.8493605
Simple Kriging-39	Gaussian	-0.1077012	8.3740603	-0.0189868	1.1398074	7.6722157
Simple Kriging-40	Rational Quadratic	-0.1043415	8.5673267	-0.0179811	1.1308774	7.9101550
Simple Kriging-41	Halo Effect	-0.0748695	8.5173200	-0.0147220	1.1432025	7.8723736
Simple Kriging-42	K-Bessel	-0.0940023	8.4129999	-0.0175288	1.1398730	7.6859741
Simple Kriging-43	J-Bessel	-0.0871167	8.4011042	-0.0170183	1.1553195	7.5769553
Simple Kriging-44	Stable	-0.1008771	8.4021468	-0.0182563	1.1383068	7.6978405

Üst yüzey için uygulama 4'ten elde edilen çapraz değerleme sonuçları incelendiği zaman, en düşük RMSE değerinin Simple Kriging-34 yöntemine ait olduğu görülmektedir. RMSSE değeri incelendiğinde ise tüm yöntemlerin birbirine ve 1 değerine çok yakın sonuçlar ürettiği gözlenmiştir. Bundan dolayı Simple Kriging-34 yöntemi uygulama 2 için en doğru sonucu veren yöntem olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.20. Alt yüzey için Uygulama 4- Simple Kriging yöntemi çapraz değerleme bulguları

Uygulama 4 (Alt Yüzey)						
Yöntem Adı	**Model**	**ME(m)**	**RMSE(m)**	**MSE**	**RMSSE**	**ASE(m)**
Simple Kriging-34	**Circular**	**-0.0537116**	**9.2449326**	**-0.0133093**	**1.1484572**	**8.2260602**
Simple Kriging-35	Spherical	-0.0597592	9.2936484	-0.0139218	1.1525592	8.2236619
Simple Kriging-36	Thetraspherical	-0.0614719	9.3539535	-0.0141174	1.1554522	8.2515554
Simple Kriging-37	Pentaspherical	-0.0612086	9.3707778	-0.0140248	1.1555204	8.2657030
Simple Kriging-38	Exponential	-0.0648098	9.4546514	-0.0138149	1.1482476	8.4152551
Simple Kriging-39	Gaussian	-0.0639264	9.3123559	-0.0144869	1.1504732	8.2617706
Simple Kriging-40	Rational Quadratic	-0.0633465	9.4748450	-0.0134547	1.1460199	8.4581464
Simple Kriging-41	Halo Effect	-0.0686337	9.3839907	-0.0156330	1.1484199	8.3938236
Simple Kriging-42	K-Bessel	-0.0472427	9.3459686	-0.0124579	1.1529053	8.2449936
Simple Kriging-43	J-Bessel	-0.0611271	9.3495347	-0.0142976	1.1564433	8.2475264
Simple Kriging-44	Stable	-0.0485382	9.3178435	-0.0126709	1.1510363	8.2444226

Alt yüzey için uygulama 4'ten elde edilen çapraz değerleme sonuçları incelendiği zaman, en düşük RMSE değerinin Simple Kriging-34 yöntemine ait olduğu görülmektedir. RMSSE değeri incelendiğinde ise tüm yöntemlerin birbirine ve 1 değerine çok yakın sonuçlar ürettiği gözlenmiştir. Bundan dolayı Simple Kriging-34 yöntemi uygulama 4 için en doğru sonucu veren yöntem olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.21 ve Çizelge 5.22 ile sırasıyla alt yüzey ve üst yüzey için en uygun tahmin metotları listelenmiştir.

Çizelge 5.21. Üst yüzey için belirlenen en uygun Simple Kriging tahmin değerleri

Uygu-lama	**Yöntem Adı**	**Model**	**ME(m)**	**RMSE(m)**	**MSE**	**RMSSE**	**ASE(m)**
1	Simple Kriging-7	Rational Quadratic	0.4691962	9.4312025	0.014915	1.1730685	9.9758868
2	Simple Kriging-12	Circular	-0.1127588	8.3338808	-0.014747	1.0875001	7.6148473
3	Simple Kriging-29	Rational Quadratic	0.4387552	9.2706952	0.0155029	1.1402544	9.923605
4	**Simple Kriging-34**	**Circular**	**-0.1176709**	**8.3025131**	**-0.0201199**	**1.1389004**	**7.6477458**

Simpe Kriging yöntemi için uygulanan yöntemler arasında maden rezervinin üst yüzey modeli için en iyi sonuç veren yöntemler Çizelge 5.21 ile gösterilmiştir. En iyi sonuçları veren uygulamalar incelendiğinde en iyi sonuç veren variogram modellerinin Rational Quadratic ve Circular olduğu görülmüştür. Uygulama 2 ve uygulama 4, uygulama 1 ve uygulama 3'e göre daha iyi sonuçlar vermektedir. Uygulama 2 ve 4'ün ortak özelliği iki yöntemde de trend etkisi giderilmiş verilerin kullanılmasıdır. Uygulama 2 ve uygulama 4 kendi arasında incelendiğinde ise değerlerin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. RMSE değerleri incelendiğinde 4. Uygulamanın daha iyi sonuç verdiği fakat uygulama 2'nin RMSSE değerinin 1'e daha yakın olduğu görülmektedir. RMSE ve ASE değerleri arasındaki farka bakıldığında ise uygulama 4'te RMSE ve ASE değerleri arasındaki farkın daha küçük olduğu görülmektedir. Bunun sonucunda Simple Kriging yöntemleri içerisinde maden rezervi üst yüzey model tahmini için Simple Kriging-34 yönteminin kullanılmasının diğer yöntemlere göre daha uygun olacağı belirlenmiştir.

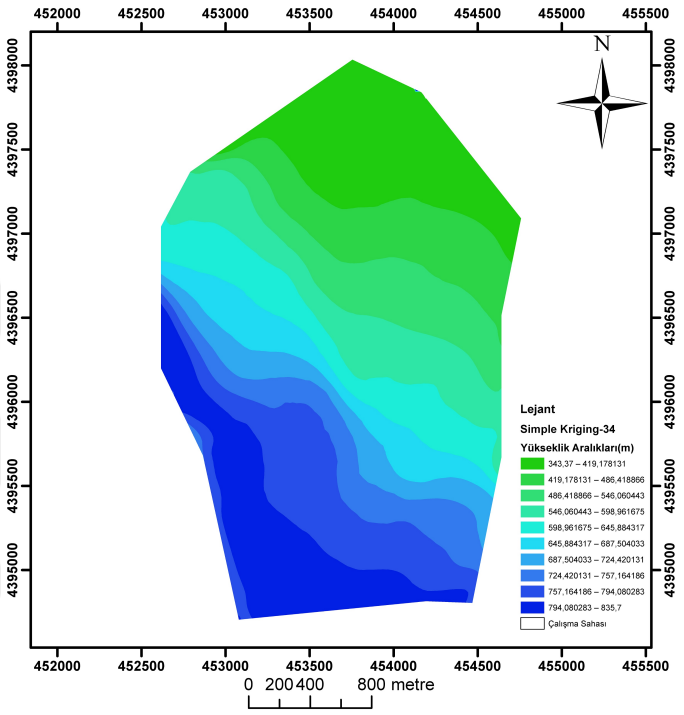
Çizelge 5.22. Alt yüzey için belirlenen en uygun Simple Kriging tahmin değerleri

Uygu-lama	Yöntem Adı	Model	ME(m)	RMSE(m)	MSE	RMSSE	ASE(m)
1	Simple Kriging-7	Rational Quadratic	0.3774464	11.2051858	0.0155364	1.3908216	10.0408901
2	**Simple Kriging-12**	**Circular**	**-0.0456389**	**9.2924458**	**-0.0054949**	**1.1115686**	**8.33589300**
3	Simple Kriging-29	Rational Quadratic	0.3535414	11.1160289	0.015251	1.251528	9.9829753
4	Simple Kriging-34	Circular	-0.0537116	9.2449326	-0.0133093	1.1484572	8.2260602

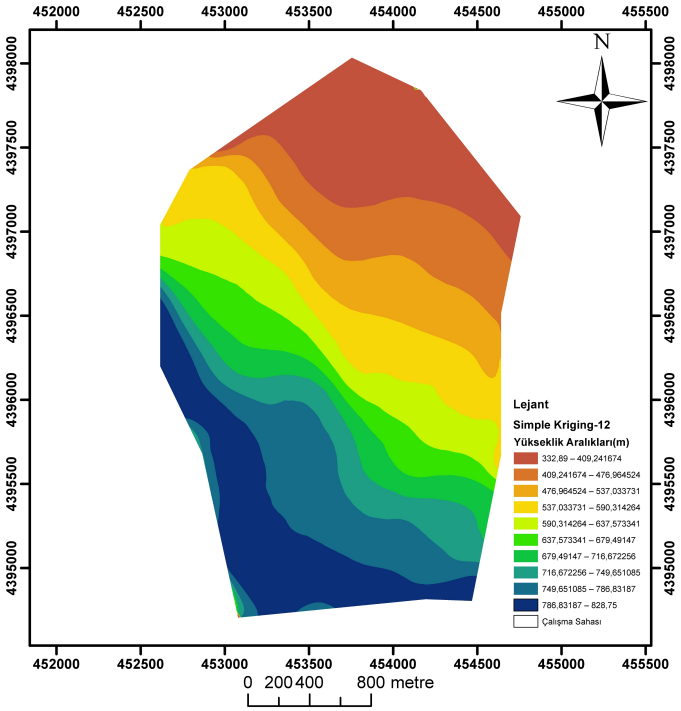
Simpe Kriging yöntemi için uygulanan yöntemler arasında maden rezervinin alt yüzey modeli için en iyi sonuç veren yöntemler Çizelge 5.22 ile gösterilmiştir. En iyi sonuçları veren uygulamalar incelendiğinde en iyi sonuç veren variogram modellerinin Rational Quadratic ve Circular olduğu görülmüştür. Uygulama 2 ve uygulama 4, uygulama 1 ve uygulama 3'e göre daha iyi sonuçlar vermektedir. Uygulama 2 ve 4'ün ortak özelliği iki yöntemde de trend etkisi giderilmiş verilerin kullanılmasıdır. Uygulama 2 ve uygulama 4 kendi arasında incelendiğinde ise değerlerin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. En düşük RMSE değerinin uygulama 4 ile elde edildiği görülmesine rağmen uygulama 2'nin RMSSE değerinin 1'e daha yakın olmasının yanında ASE ve RMSE değerlerinin de birbirine daha yakın olması uygulama 2'yi daha ön plana çıkarmaktadır. Sonuç olarak Simple Kriging yöntemleri içerisinde maden rezervi üst

yüzey model tahmini için Simple Kriging-12 yönteminin kullanılmasının diğer yöntemlere göre daha uygun olacağı belirlenmiştir.

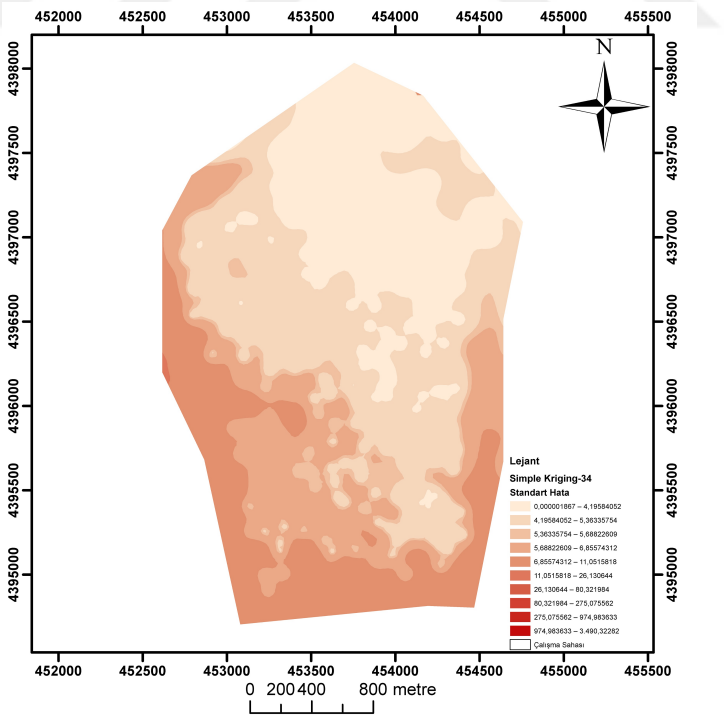
Simple Kriging-12 yöntemi ile oluşturulan en uygun yüzey ve yüzey tahmin hataları haritaları alt ve üst yüzey için ayrı ayrı Şekil 5.27, Şekil 5.28, Şekil 5.29, Şekil 5.30'te verilmiştir.



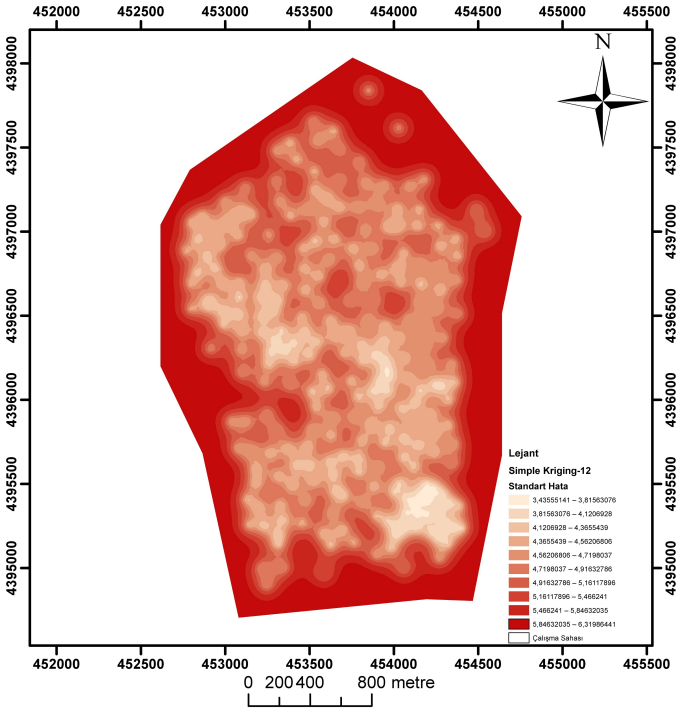
Şekil 5.27. Simple Kriging-34 yöntemi ile oluşturulan üst yüzey için en uygun yüzey modeli haritası



Şekil 5.28. Simple Kriging-12 yöntemi ile oluşturulan alt yüzey için en uygun yüzey modeli haritası



Şekil 5.29. Simple Kriging-34 yöntemi ile oluşturulan üst yüzey için en uygun yüzey modeline ait tahmin hataları(m)



Şekil 5.30. Simple Kriging-12 yöntemi ile oluşturulan alt yüzey için en uygun yüzey modeline ait tahmin hataları(m)

Jeoistatistik hesaplamalarında genel olarak logaritmik dönüşüm uygulanmış verilerin daha doğru sonuçlar vereceği kanısı olsa da yapılan Ordinary Kriging yöntemi ile yapılan hesaplamalarda çarpık verilerin daha doğru sonuçlar verdiği görülmüştür. Çalışma da trend etkisinin giderilmesi sonuçlara olumlu yönde etki etmiştir.

5.7.3. Universal kriging yöntemi uygulanarak tahmin değerlerinin elde edilmesi

Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.5'te görülebileceği gibi uygulama 2'de universal kriging yöntemi ile yapılan tahmin hesaplarında trend etkisinin kaldırıldığı çarpık veriler kullanılmıştır. Aynı işlem hem üst yüzey hem de alt yüzey için ayrı ayrı uygulanmıştır. Aşağıda çapraz değerleme sonucunda elde edilen tahmin bulguları verilmiştir.

Çizelge 5.23. Üst yüzey için Uygulama 2- Universal Kriging yöntemi çapraz değerleme bulguları

Uygulama 2 (Üst Yüzey)						
Yöntem Adı	**Model**	**ME(m)**	**RMSE(m)**	**MSE**	**RMSSE**	**ASE(m)**
Universal Kriging-1	Circular	-0.1945368	9.5617745	-0.0284274	0.8922822	36.4013349
Universal Kriging-2	Spherical	-0.0990858	9.6616531	-0.0140242	1.0049757	10.0425604
Universal Kriging-3	Thetraspherical	-0.1771941	9.6194536	-0.0202059	1.0244792	9.7807204
Universal Kriging-4	Pentaspherical	-0.1745286	9.5703255	-0.0202695	1.0314915	9.6745721
Universal Kriging-5	Exponential	-0.1636662	9.5519324	-0.0190803	1.0211726	9.7456166
Universal Kriging-6	Gaussian	-0.1006049	9.7000415	-0.0138830	0.9942047	10.1874030
Universal Kriging-7	**Rational Quadratic**	**-0.1352410**	**9.3512296**	**-0.0170882**	**1.0351063**	**9.4372932**
Universal Kriging-8	Halo Effect	-0.2228520	9.4835791	-0.0257100	1.0645102	9.3641460
Universal Kriging-9	K-Bessel	-0.1620599	9.5489176	-0.0189357	1.0207894	9.7454759
Universal Kriging-10	J-Bessel	-0.2226076	9.4830514	-0.0257196	1.0657629	9.3524158
Universal Kriging-11	Stable	-0.1476008	9.4997097	-0.0177728	1.0219577	9.6841986

Üst yüzey için uygulama 2'den elde edilen çapraz değerleme sonuçları incelendiği zaman, en düşük RMSE değerin Universal Kriging-7 yöntemi ile elde edildiği görülmektedir. Ek olarak ASE ve RMSE değerleri birbirine en yakın olan yöntemin Universal Kriging-7 olması, Universal Kriging-7 yönteminin uygulama 2 için en doğru sonucu veren yöntem olduğunu göstermektedir.

Çizelge 5.24. Alt yüzey için Uygulama 2- Universal Kriging yöntemi çapraz değerleme bulguları

Uygulama 2 (Alt Yüzey)						
Yöntem Adı	**Model**	**ME(m)**	**RMSE(m)**	**MSE**	**RMSSE**	**ASE(m)**
Universal Kriging-1	Circular	-0.1282186	10.2213881	-0.0185293	1.0609332	10.1057688
Universal Kriging-2	Spherical	-0.0722275	10.2150328	-0.0129557	1.0357714	10.3821591
Universal Kriging-3	Thetraspherical	-0.0733836	10.1888443	-0.0132208	1.0429423	10,2920379
Universal Kriging-4	Pentaspherical	-0.0741505	10.1611168	-0.0134352	1.0490516	10.2125507
Universal Kriging-5	Exponential	-0.0684845	10.1485953	-0.0127563	1.0425311	10.2618631
Universal Kriging-6	Gaussian	-0.1282186	10.2213881	-0.0185293	1.0609332	10.1057688
Universal Kriging-7	**Rational Quadratic**	**-0.0607269**	**10.0397013**	**-0.0122093**	**1.0563018**	**10.0442937**
Universal Kriging-8	Halo Effect	-0.0921845	10.1330891	-0.0156574	1.0656308	10.0555562
Universal Kriging-9	K-Bessel	-0.0680543	10.1477846	-0.0127080	1.0424042	10.2623789
Universal Kriging-10	J-Bessel	-0.0691661	10.1021668	-0.0134370	1.0616539	10.0542559
Universal Kriging-11	Stable	-0.0634179	10.1253131	-0.0122420	1.0442432	10.2271488

Alt yüzey için uygulama 2'den elde edilen çapraz değerleme sonuçları incelendiği zaman, en düşük RMSE değerin Universal Kriging-7 yöntemi ile elde edildiği görülmektedir. Ek olarak ASE ve RMSE değerleri birbirine en yakın olan yöntemin Universal Kriging-7 olması, Universal Kriging-7 yönteminin uygulama 2 için en doğru sonucu veren yöntem olduğunu göstermektedir.

Uygulama 4 ise trend etkisi kaldırılmış logaritmik dağılıma sahip veriler ile Universal Kriging yönteminin hesaplanmasını içermektedir. Aynı işlem hem üst yüzey hem de alt yüzey için ayrı ayrı uygulanmıştır. Çapraz değerleme sonucunda elde edilen tahmin bulguları Çizelge 5.25 ve Çizelge 5.26 ile verilmiştir.

Çizelge 5.25. Üst yüzey için Uygulama 4- Universal Kriging yöntemi çapraz değerleme bulguları

Uygulama 4 (Üst Yüzey)						
Yöntem Adı	**Model**	**ME(m)**	**RMSE(m)**	**MSE**	**RMSSE**	**ASE(m)**
Universal Kriging-12	Circular	-0.1198601	9.5756771	-0.0066524	1.0380938	10.044538
Universal Kriging-13	Spherical	-0.1914016	9.542906	-0.0150835	1.0603344	9.7393730
Universal Kriging-14	Thetrasphericaal	-0.1910198	9.4971768	-0.0157557	1.0690095	9.6106791
Universal Kriging-15	Pentaspherical	-0.1892749	9.4485552	-0.0163021	1.0761908	9.4953731
Universal Kriging-16	Exponential	-0.1892749	9.4485552	-0.0163021	1.0761908	9.4953731
Universal Kriging-17	Gaussian	-0.1229307	9.5929385	-0.0067921	1.0362955	10.08203
Universal Kriging-18	**Rational Quadratic**	**-0.1473525**	**9.2158708**	**-0.0142482**	**1.0801774**	**9.2092120**
Universal Kriging-19	Halo Effect	-0.2392983	9.4000354	-0.0226919	1.1033808	9.2405761
Universal Kriging-20	K-Bessel	-0.1731463	9.4153031	-0.0147307	1.0649718	9.5539665
Universal Kriging-21	J-Bessel	-0.2383905	9.3971546	-0.0227527	1.1087347	9.192655
Universal Kriging-22	Stable	-0.1565034	9.360689	-0.0137067	1.0665480	9.4735824

Üst yüzey için uygulama 4'ten elde edilen çapraz değerleme sonuçları incelendiği zaman, en düşük RMSE değerin Universal Kriging-18 yöntemi ile elde edildiği görülmektedir. Ek olarak ASE ve RMSE değerleri birbirine en yakın olan yöntemin Universal Kriging-18 olması, Universal Kriging-18 yönteminin uygulama 4 için en doğru sonucu veren yöntem olduğunu göstermektedir.

Çizelge 5.26. Alt yüzey için Uygulama 4- Universal Kriging yöntemi çapraz değerleme bulguları

Uygulama 4 (Alt Yüzey)						
Yöntem Adı	**Model**	**ME(m)**	**RMSE(m)**	**MSE**	**RMSSE**	**ASE(m)**
Universal Kriging-12	Circular	-0.5650880	13.089220	-0.04059487	1.0403140	56.916777
Universal Kriging-13	Spherical	-0.0986001	10.124942	-0.0098493	1.0703129	10.112277
Universal Kriging-14	Thetraspherical	-0.1012700	10.097300	-0.0105743	1.0781958	10.003194
Universal Kriging-15	Pentaspherical	-0.1032362	10.06808	-0.0112219	1.0848146	9.9061787
Universal Kriging-16	Exponential	-0.0956809	10.047355	-0.0103428	1.0772456	9.9473328
Universal Kriging-17	**Gaussian**	**-0.0129794**	**10.1622980**	**-0.0012703**	**1.0499949**	**10.3928406**
Universal Kriging-18	Rational Quadratic	-0.0886520	9.9274108	-0.0107388	1.091954	9.664293
Universal Kriging-19	Halo Effect	-0.1254062	10.062540	-0.0144371	1.0979040	9.7908418
Universal Kriging-20	K-Bessel	-0.0945943	10.045132	-0.0102199	1.0769527	9.9462616
Universal Kriging-21	J-Bessel	-0.1152843	9.9790703	-0.01408353	1.1035811	9.6444943
Universal Kriging-22	Stable	-0.0890953	10.017813	-0.0097964	1.0792578	9.8853700

Alt yüzey için RMSSE değerleri incelendiği zaman 1 değerine en yakın sonuç veren yöntemin Universal Kriging 17 yöntemi olduğu görülmektedir. Ayrıca ME ve MSE değerleri incelendiğinde ise Universal Kriging 17 uygulamasında MSE ve ME değerlerinin 0'a daha yakın değerler aldığı görülmektedir. Bundan dolayı Universal Kriging 17 yöntemi uygulama 4 için en doğru sonucu veren yöntem olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.27 ve Çizelge 5.28 ile sırasıyla alt yüzey ve üst yüzey için en uygun tahmin metotları listelenmiştir.

Çizelge 5.27. Üst yüzey için belirlenen en uygun Universal Kriging tahmin değerleri

Uygu-lama	**Yöntem Adı**	**Model**	**ME(m)**	**RMSE(m)**	**MSE**	**RMSSE**	**ASE(m)**
2	Universal Kriging-7	Rational Quadratic	-0.1352410	9.3512296	-0.0170882	1.0351063	9.4372932
4	**Universal Kriging-18**	**Rational Quadratic**	**-0.14735257**	**9.2158708**	**-0.01424826**	**1.0801774**	**9.2092120**

Universal Kriging yöntemi için uygulanan yöntemler arasında maden rezervinin üst yüzey modeli için en iyi sonuç veren yöntemler Çizelge 5.27 ile gösterilmiştir. En iyi

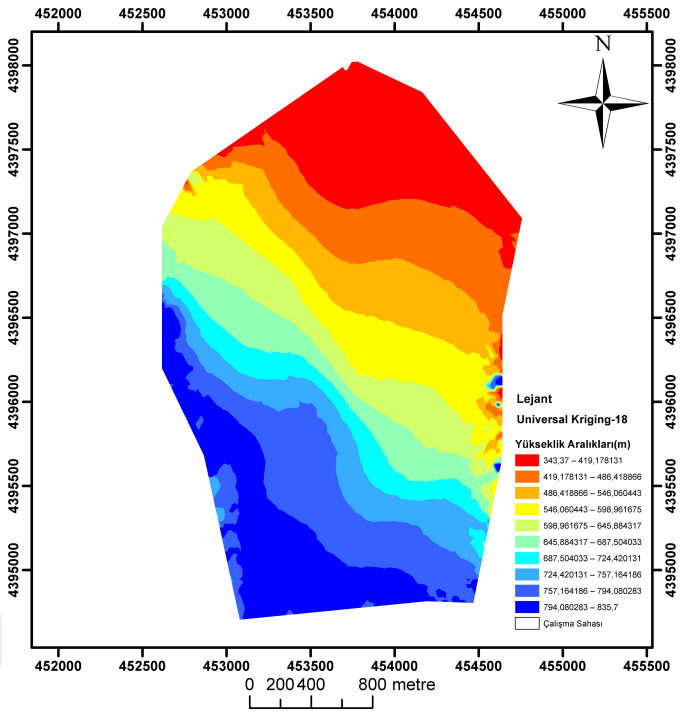
sonuçları veren uygulamalar incelendiğinde en iyi sonuç veren variogram modellerinin Rational Quadratic olduğu görülmüştür. Uygulama 2 ve 4'ün ortak özelliği iki yöntemde de trend etkisi giderilmiş verilerin kullanılmasıdır. Uygulama 2 ve uygulama 4 kendi arasında incelendiğinde ise değerlerin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Bir rakamına en yakın RMSSE değerinin uygulama 2 ile elde edilmesine rağmen uygulama 4'ün en düşük RMSE değerine sahip olması ve uygulama 4 ile elde edilen ASE ile RMSE değerlerinin birbirine daha yakın olması uygulama 4'yi daha ön plana çıkarmaktadır. Sonuç olarak Universal Kriging yöntemleri içerisinde maden rezervi üst yüzey model tahmini için Universal Kriging-18 yönteminin kullanılmasının diğer yöntemlere göre daha uygun olacağı belirlenmiştir.

Çizelge 5.28. Alt yüzey için belirlenen en uygun Universal Kriging tahmin değerleri

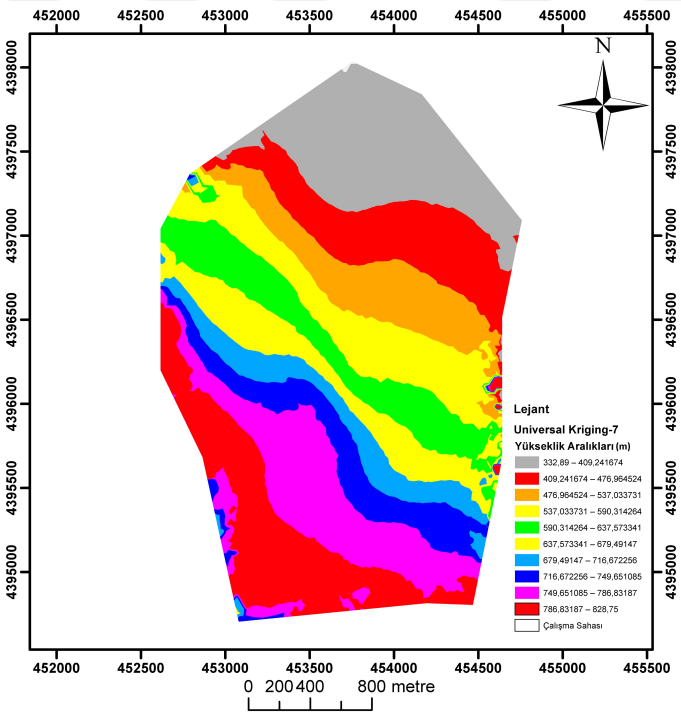
Uygu-lama	Yöntem Adı	Model	ME(m)	RMSE(m)	MSE	RMSSE	ASE(m)
2	**Universal Kriging-7**	**Rational Quadratic**	**-0.0607269**	**10.0397013**	**-0.0122093**	**1.0563018**	**10.0442937**
4	Universal Kriging-17	Gaussian	-0.0129794	10.1622980	-0.00127039	1.0499949	10.3928406

Universal Kriging yöntemi için uygulanan yöntemler arasında maden rezervinin alt yüzey modeli için en iyi sonuç veren yöntemler Çizelge 5.28 ile gösterilmiştir. En iyi sonuçları veren uygulamalar incelendiğinde en iyi sonuç veren variogram modellerinin Rational Quadratic olduğu görülmüştür. Uygulama 2 ve 4'ün ortak özelliği iki yöntemde de trend etkisi giderilmiş verilerin kullanılmasıdır. Uygulama 2 ve uygulama 4 kendi arasında incelendiğinde ise değerlerin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Bir rakamına en yakın RMSSE değerinin uygulama 4 ile elde edilmesine rağmen uygulama 2'nin en düşük RMSE değerine sahip olması ve uygulama 2 ile elde edilen ASE ile RMSE değerlerinin birbirine daha yakın olması uygulama 2'yi daha ön plana çıkarmaktadır. Sonuç olarak Universal Kriging yöntemleri içerisinde maden rezervi alt yüzey model tahmini için Universal Kriging-7 yönteminin kullanılmasının diğer yöntemlere göre daha uygun olacağı belirlenmiştir.

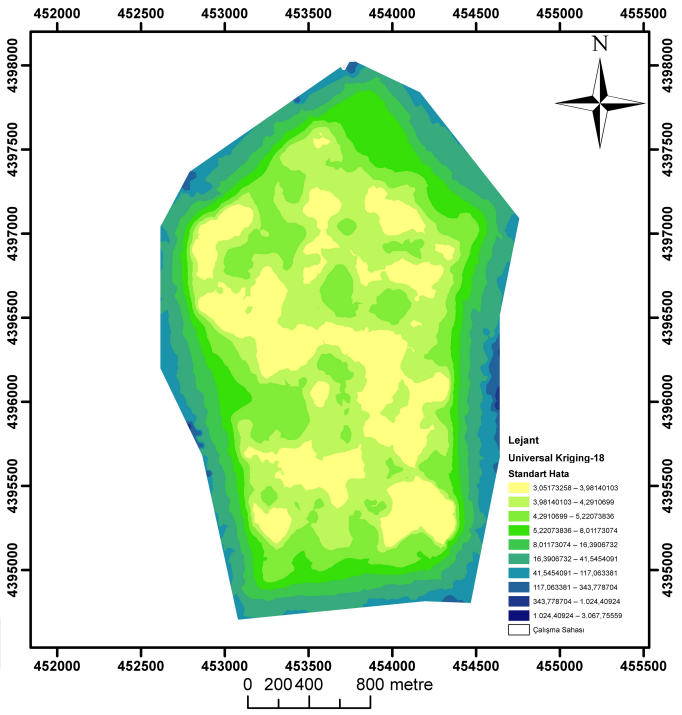
Universal Kriging-7 yöntemi ile oluşturulan en uygun yüzey ve yüzey tahmin hataları haritaları alt ve üst yüzey için ayrı ayrı Şekil 5.31, Şekil 5.32, Şekil 5.33, Şekil 5.34'te verilmiştir.



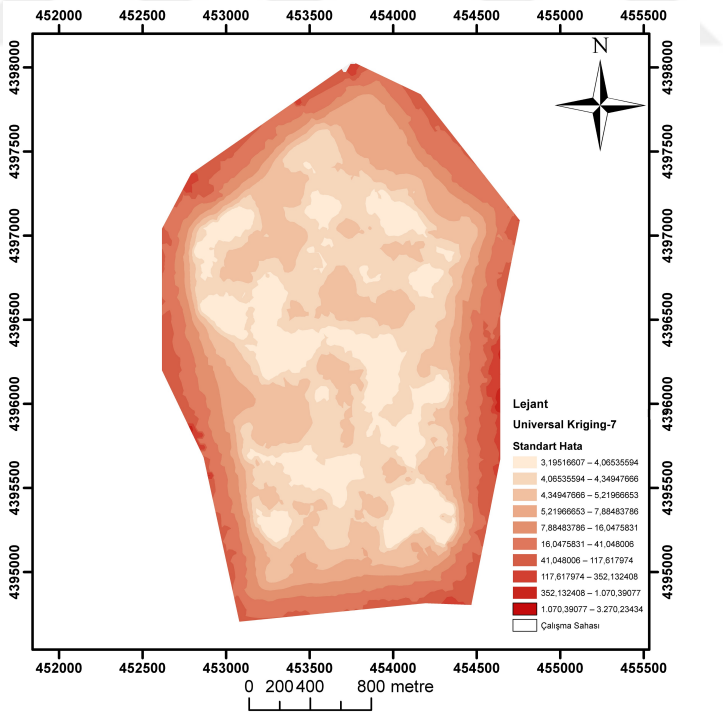
Şekil 5.31. Universal Kriging-18 yöntemi ile oluşturulan üst yüzey için en uygun yüzey modeli haritası



Şekil 5.32. Universal Kriging -7 yöntemi ile oluşturulan alt yüzey için en uygun yüzey modeli haritası



Şekil 5.33 Universal Kriging-18 yöntemi ile oluşturulan üst yüzey için en uygun yüzey modeline ait tahmin hataları (m)



Şekil 5.34 Universal Kriging-7 yöntemi ile oluşturulan alt yüzey için en uygun yüzey modeline ait tahmin hataları (m)

Şimdiye kadar tez çalışması içerisinde seçilen yöntemlerin hepsi çarpık veri kümesine sahip iken Universal Kriging yöntemi ile alt yüzey tahmini için belirlenen yöntem logaritmik veri dağılımına sahiptir. Çalışma da Universal Kriging kullanıldığı için trend etkisi tüm uygulamalarda kaldırılmıştır.

5.8 Kriging Metotlarının Tahmin Bulgularının Karşılaştırılması

Üst yüzey için 3 farklı kriging yöntemi ile yapılan çalışmada (Ordinary Kriging, Simple Kriging, Universal Kriging); Ordinary Kriging yöntemleri arasında Ordinary Kriging-19 yönteminin üst yüzey modeli için en uygun sonuçlar verdiği, Simple Kriging yöntemleri arasında Simple Kriging-34 yönteminin üst yüzey modeli için en uygun sonuçlar verdiği, Universal Kriging yöntemleri arasında Universal Kriging-18 yönteminin üst yüzey modeli için en uygun sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu yöntemlerde uygulanan özellikler Çizelge 5.29'de, çapraz değerleme için kullanılacak sonuçlar ise Çizelge 5.30'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.29. Üst yüzey model için en iyi sonuçları veren Kriging yöntemlerine uygulanan özellikler.

Yöntem Adı	Veri Dağılımı	Trend	Model	İzotropik /Anizotropik Uygulama
Ordinary Kriging-19	Çarpık	Kaldırıldı	Halo Effect	İzotropik
Simple Kriging-34	Logaritmik Dağılım	Kaldırıldı	Circular	İzotropik
Universal Kriging-18	Logaritmik Dağılım	Kaldırıldı	Rational Quadratic	İzotropik

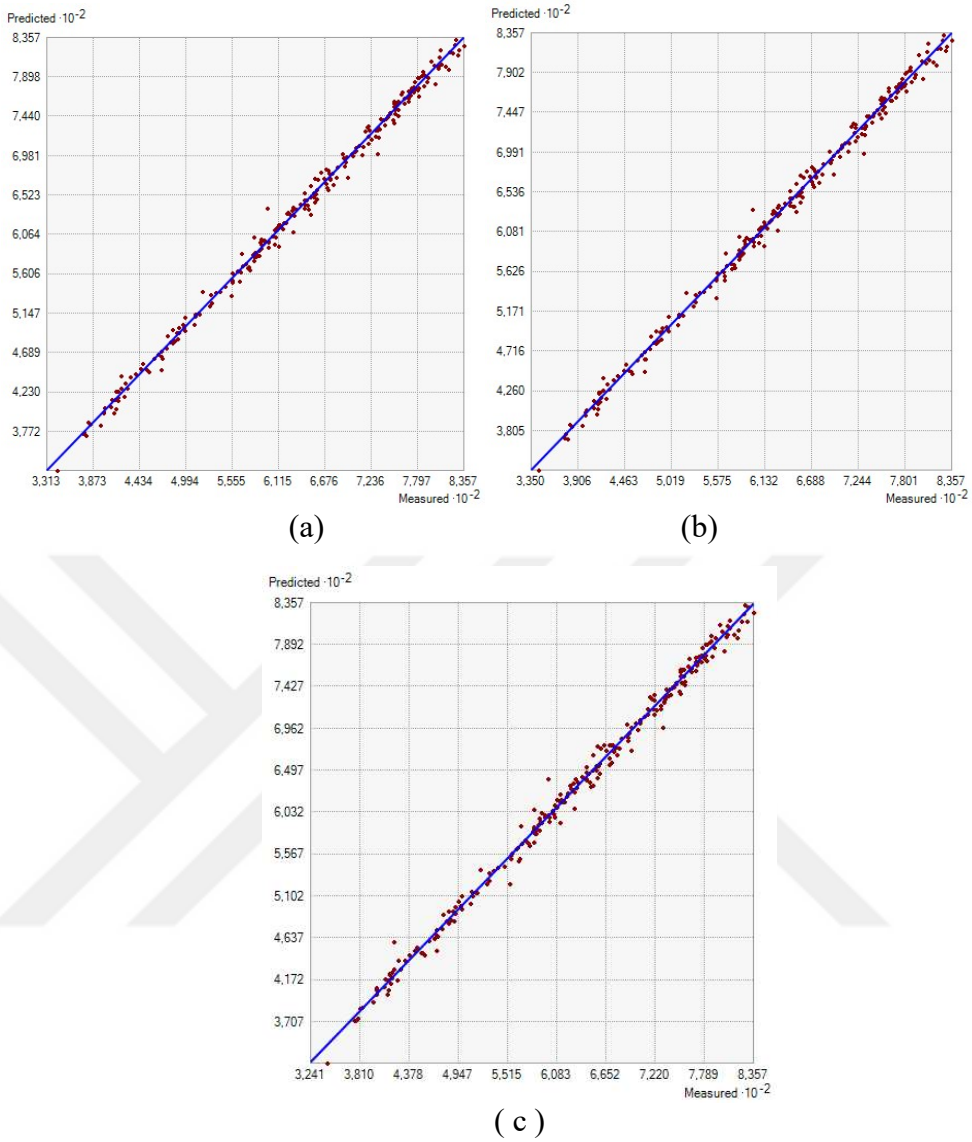
Çizelge 5.30. Üst yüzey model için Uygun kriging yöntemlerinin çapraz değerleme bulguları

Yöntem Adı	Model	ME(m)	RMSE(m)	MSE	RMSSE	ASE(m)
Ordinary Kriging-19	**Halo Effect**	**-0.1317121**	**8.3230793**	**-0.016609**	**1.0020823**	**8.2549344**
Simple Kriging-34	Circular	-0.1176709	8.3025131	-0.0201199	1.1389004	7.6477458
Universal Kriging-18	Rational Quadratic	-0.1473526	9.2158709	-0.0142483	1.08017744	9.20921201

Çizelge 5.29 incelendiği zaman üst yüzey için en iyi yöntemlerin hepsinde trend etkisinin kaldırıldığı gözlemlenmektedir. Diğer yöntemlerin aksine ordinary kriging

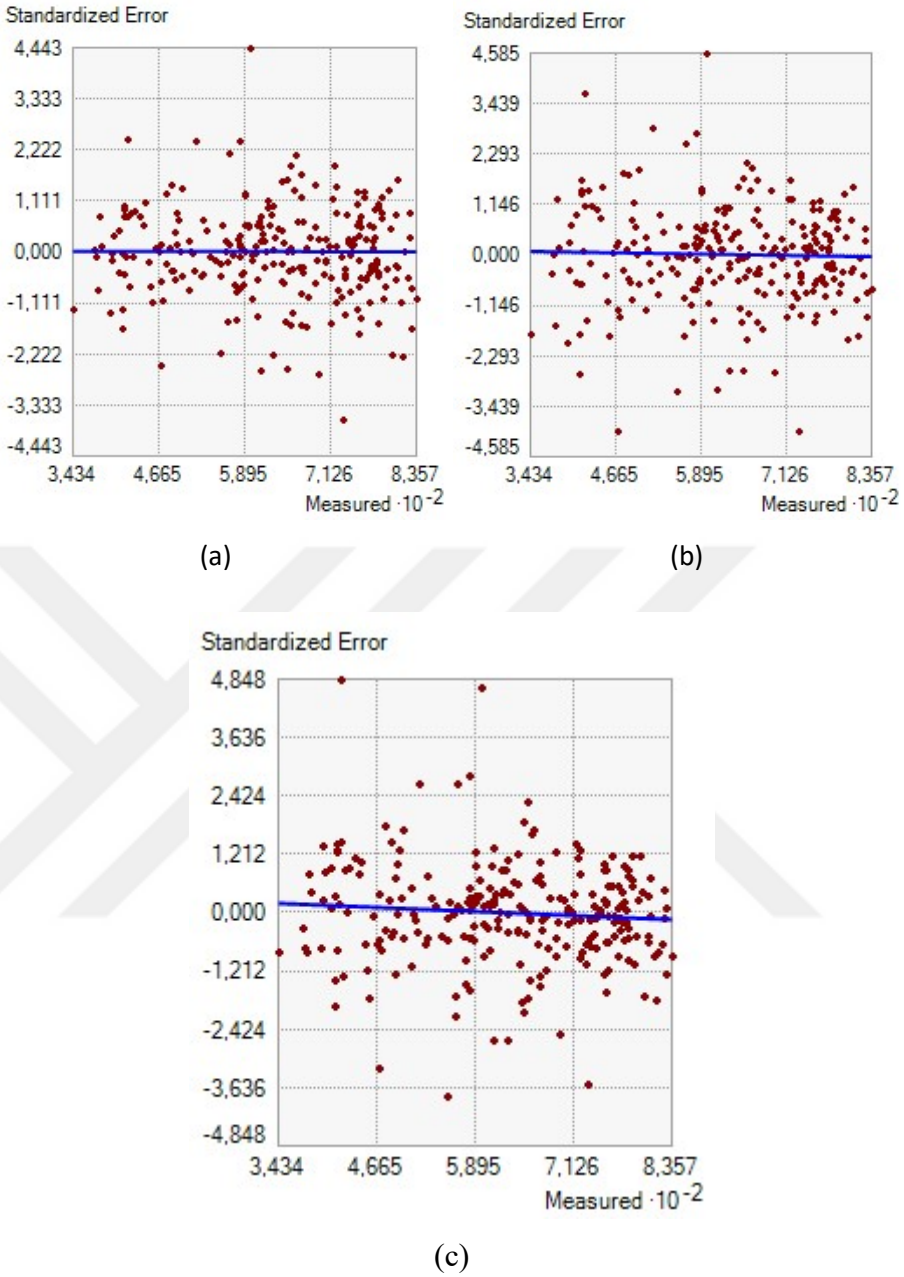
yöntemi ile yapılan uygulamada en iyi yöntemin çarpık veriler ile elde edildiği görülmektedir. Variogram modelleri ise Ordinary Kriging için Halo Effect, Simple Kriging için Circular, Universal Kriging için ise Rational Quadratic olarak bulunmuştur.

RMSE değerleri incelendiği zaman Simple Kriging-34 yöntemi 8,3025131 değeri ile en düşük RMSE değerine sahiptir. Ordinary kriging–19 yönteminin sahip olduğu RMSE değeri ise 8,3230793 ile en düşük değere çok yakındır. Universal Kriging yöntemi ise 9,2158709 ile en yüksek RMSE değerine sahiptir. RMSE ve ASE değerleri arasındaki en düşük fark ise Universal Kriging–18 yönteminde elde edilmiştir fakat Universal Kriging-18 yöntemi diğer yöntemlere göre daha yüksek RMSE değerine sahip olduğundan dolayı bu yöntem en iyi yöntem olarak seçilmemiştir. RMSE değeri en küçük yöntem olan Simple Kriging–34 yöntemi incelendiğinde ise RMSE ve ASE değerleri arasındaki farkın diğer yöntemlere göre daha yüksek çıktığı belirlenmiştir. Bundan dolayı her ne kadar en düşük RMSE değerine sahip olsa da verilerin güvenilirliği düşük olduğu için Simple Kriging–34 yöntemi de elenmiştir. Son olarak Ordinary Kriging – 19 yöntemi için ise RMSE ve ASE değerleri arasındaki fark 0,0681449 elde edilmiştir. RMSSE değeri karşılaştırıldığında ise en düşük RMSSE değerine sahip olan yöntemin Ordinary Kriging- 19 olduğu görülmektedir. Yukarıda verilen veriler incelendiğinde zaman üst yüzey için en iyi sonuç veren yöntemin Ordinary Kriging-19 olduğuna karar verilmiştir. Şekil 5.35 ile üst yüzey için uygun kriging yöntemlerinin gerçek değere olan yakınlıkları karşılaştırılmıştır. Grafikte mavi çizgi gerçek değeri kırmızı noktalar ise tahmin değerlerini göstermektedir.



Şekil 5.35. Uygun kriging yöntemlerinin gerçek ve tahmin değerlerinin gösterimi (a: Ordinary Kriging-19 / b: Simple Kriging-34 / c: Universal Kriging-18)

Şekil 5.36 ile ise üst yüzey için uygun kriging yöntemlerinin standart hatalarının gerçek değere olan yakınlıkları karşılaştırılmıştır.



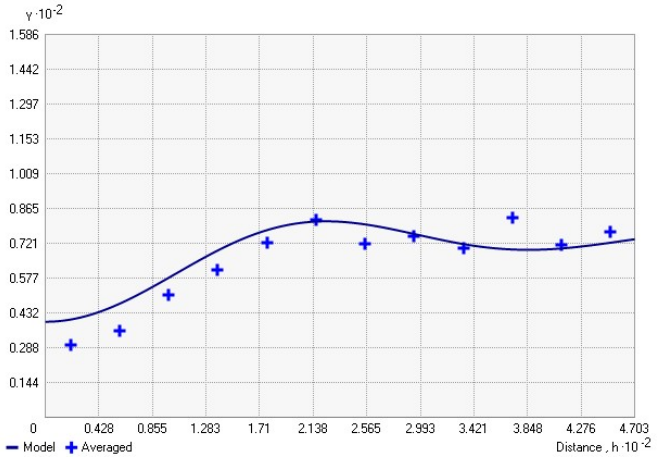
Şekil 5.36. Uygun kriging yöntemlerinin gerçek ve tahmin değerlerinin standart hatalarının gösterimi (a: Ordinary Kriging-19 / b: Simple Kriging-34 / c: Universal Kriging-18)

Üst yüzey modeli için en uygun görülen Ordinary Kriging-19, Simple Kriging-12, Universal Kriging-7 yöntemlerine ait yarı variogram modellerine ait parametreler Çizelge 5.31. ile, bu model değerlerine ait model gösterimi ise sırasıyla, Şekil 5.37., Şekil 5.38., Şekil 5.39. ile verilmiştir.

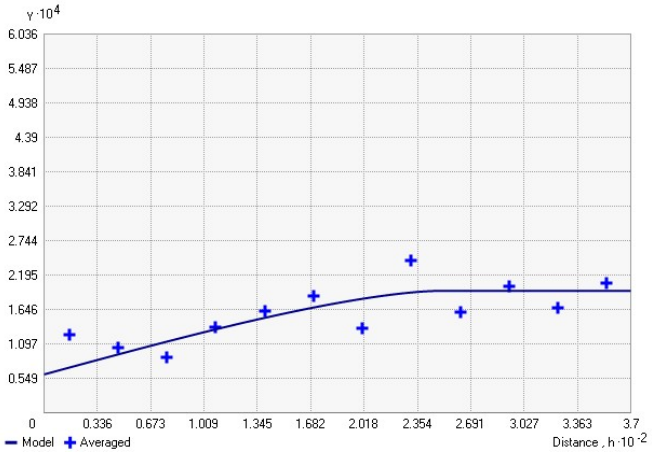
Çizelge 5.31. Üst yüzey için En uygun olarak belirlenen yarı variogram modellerinin parametreleri

Yöntem Adı	Model	Nugget (Külçe Etkisi)	Sill (Eşik Değeri) ($C + C_0$)	Eti Mesafesi (Range) (m)	Nugget/Sill
Ordinary Kriging-19	Halo Effect	39.627	-	34.17m	-
Simple Kriging-34	Circular	0.0001329	0.0001942	190.37m	0.31
Universal Kriging-18	Rational Quadratic	0.0001235	0.0001942	616.33m	0.64

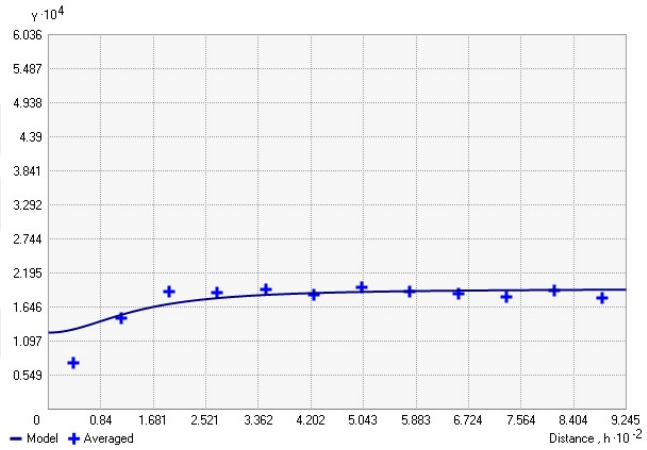
Külçe (nugget) eşik (sill) oranı, uzamsal bağımlılığı belirlemek için kullanılır. Oran eğer %25'in altında, mekansal bağımlılık yüksek; oran %26 ile %75 arasındaysa, mekansal bağımlılık düzeyi orta düzeydedir ve oran %76'dan yüksekse bağımlılık düzeyi düşüktür (Ramírez-Davila ve ark., 2012). Ordinary Kriging-19 yönteminde kullanılan Halo Effect variogram modeli eşiksiz yarı variogram modelleri arasında yer aldığı için külçe (nugget) eşik (sill) oranı hesaplanamamıştır. Simple Kriging-34 ve Universal Kriging-18 yöntemleri için külçe (nugget) eşik (sill) oranı sırasıyla 0.31 ve 0.64 bulunmuştur. Bu değerler Simple Kriging-34 yöntemi ve Universal Kriging-18 yöntemi için orta seviye mekânsal bağımlılık oranı olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.37. Ordinary kriging-19 modeline ait yarı variogram modeli gösterimi



Şekil 5.38. Simple kriging -12 modeline ait yarı variogram modeli gösterimi



Şekil 5.39. Universal Kriging-7 modeline ait yarı variogram modeli gösterimi

Alt yüzey için 3 farklı kriging yöntemi ile yapılan çalışmada (Ordinary Kriging, Simple Kriging, Universal Kriging); Ordinary Kriging yöntemleri arasında Ordinary Kriging-19 yönteminin alt yüzey modeli için en uygun sonuçlar verdiği, Simple Kriging yöntemleri arasında Simple Kriging-12 yönteminin alt yüzey modeli için en uygun sonuçlar verdiği, Universal Kriging yöntemleri arasında Universal Kriging-7 yönteminin alt yüzey modeli için en uygun sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu yöntemlerde uygulanan özellikler Çizelge 5.32'de, çapraz değerleme için kullanılacak sonuçlar ise Çizelge 5.33'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.32. Alt yüzey model için en iyi sonuçları veren Kriging yöntemlerine uygulanan özellikler.

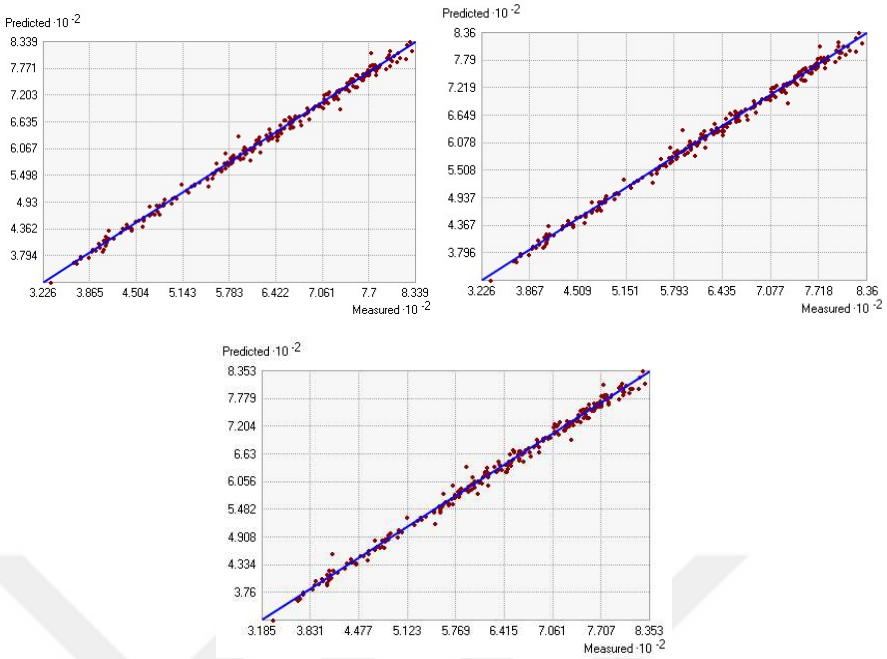
Yöntem Adı	Veri Dağılımı	Trend	Model	İzotropik /Anizotropik Uygulama
Ordinary Kriging-19	Çarpık	Kaldırıldı	Halo Effect	İzotropik
Simple Kriging-12	Çarpık	Kaldırıldı	Circular	İzotropik
Universal Kriging-7	Çarpık	Kaldırıldı	Rational Quadratic	İzotropik

Çizelge 5.33. Alt yüzey model için Uygun kriging yöntemlerinin çapraz değerleme bulguları

Yöntem Adı	Model	ME(m)	RMSE(m)	MSE	RMSSE	ASE(m)
Ordinary Kriging-19	**Halo Effect**	**-0.0727104**	**9.2845741**	**-0.0083972**	**1.0566833**	**8.7648372**
Simple Kriging-12	Circular	-0.0456389	9.2924458	-0.0054949	1.1115686	8.335893
Universal Kriging-7	Rational Quadratic	-0.0607269	10.0397013	-0.0122093	1.0563018	10.0442937

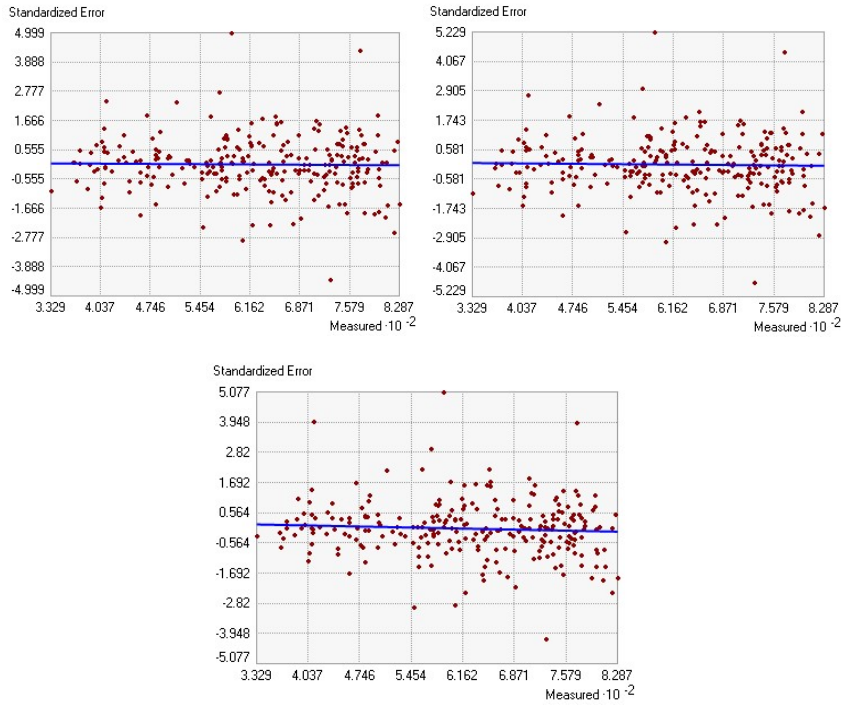
Çizelge 5.32 incelendiği zaman alt yüzey için en iyi yöntemlerin hepsinde trend etkisinin kaldırıldığı gözlemlenmektedir. Üst yüzey yöntemlerinin aksine, alt yüzey model tahmini için en iyi yöntemlerin çarpık veriler ile elde edildiği görülmektedir. Seçilen variogram modellerinin ise üst yüzeyde seçilen variogram modelleri ile aynı olduğu görülmektedir.

RMSE değerleri incelendiği zaman Ordinary Kriging-19 yöntemi 9,2845741 değeri ile en düşük RMSE değerine sahiptir. Universal Kriging–7 yönteminin sahip olduğu RMSE değeri ise 10,0397013 ile diğer yöntemlere göre daha yüksektir bundan dolayı Universal Kriging–7 yöntemi elenmiştir. RMSSE değeri incelendiğinde ise Simple Kriging–12 yönteminin sahip olduğu RMSSE değeri diğer yöntemlere göre bir değerinden daha yüksekti. Bundan dolayı Simple Kriging -12 yöntemi elenmiştir. Ordinary Kriging-19 ve Universal Kriging-7 yöntemlerinin RMSSE değeri karşılaştırıldığında ise iki yöntemin neredeyse aynı RMSSE değerinin aldığı görülmektedir. Yukarıda verilen veriler incelendiğinde zaman alt yüzey için en iyi sonuç veren yöntemin Ordinary Kriging-19 olduğuna karar verilmiştir. Şekil 5.40 ile alt yüzey için uygun kriging yöntemlerinin gerçek değere olan yakınlıkları karşılaştırılmıştır. Grafikte mavi çizgi gerçek değeri kırmızı noktalar ise tahmin değerlerini göstermektedir.



Şekil 5.40. Uygun kriging yöntemlerinin gerçek ve tahmin değerlerinin gösterimi

Şekil 5.41 ile ise alt yüzey için uygun kriging yöntemlerinin standart hatalarının gerçek değere olan yakınlıkları karşılaştırılmıştır.



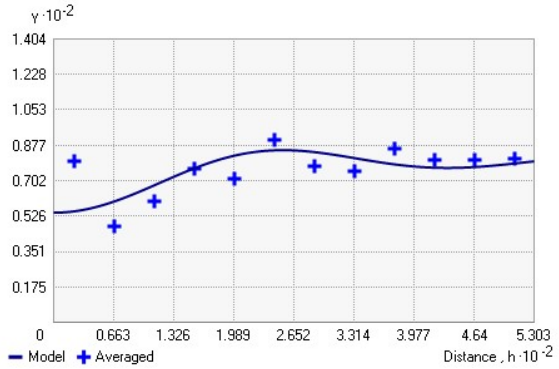
Şekil 5.41. Uygun kriging yöntemlerinin gerçek ve tahmin değerlerinin standart hatalarının gösterimi

Alt yüzey modeli için en uygun görülen Ordinary Kriging-19, Simple Kriging-12, Universal Kriging-7 yöntemlerine ait yarı variogram modellerine ait parametreler Çizelge 5.34. ile, bu model değerlerine ait model gösterimi ise sırasıyla, Şekil 5.42., Şekil 5.43., Şekil 5.44. ile verilmiştir.

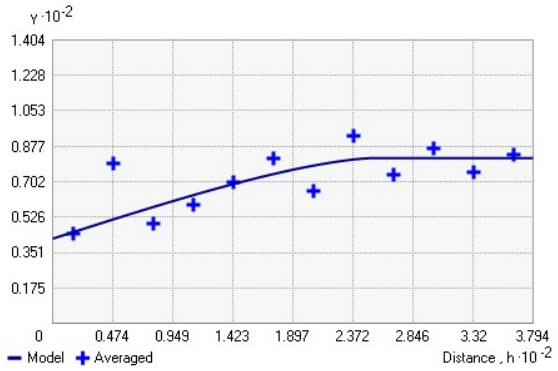
Çizelge 5.34 Üst yüzey için En uygun olarak belirlenen yarı variogram modellerinin parametreleri

Yöntem Adı	Model	Nugget (Külçe Etkisi)	Sill (Eşik Değeri) (C + C_0)	Eti Mesafesi (Range) (m)	Nugget/Sill
Ordinary Kriging-19	Halo Effect	54.3737	-	353.53m	-
Simple Kriging-12	Circular	41.9930	81.9337	252.96m	0.51
Universal Kriging-7	Rational Quadratic	60.3180	81.1016	616.32m	0.74

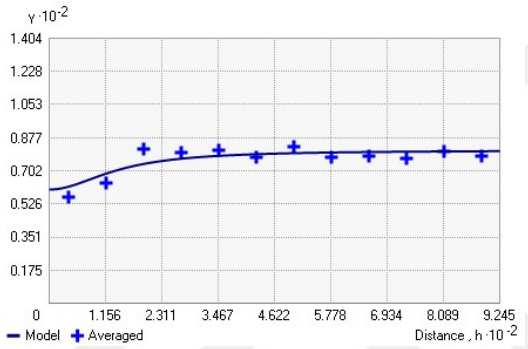
Külçe (nugget) eşik (sill) oranı, uzamsal bağımlılığı belirlemek için kullanılır. Oran eğer %25'in altında, mekansal bağımlılık yüksek; oran %26 ile %75 arasındaysa, mekansal bağımlılık düzeyi orta düzeydedir ve oran %76'dan yüksekse bağımlılık düzeyi düşüktür (Ramírez-Davila ve ark., 2012). Ordinary Kriging-19 yönteminde kullanılan Halo Effect variogram modeli eşiksiz yarı variogram modelleri arasında yer aldığı için külçe (nugget) eşik (sill) oranı hesaplanamamıştır. Simple Kriging-12 ve Universal Kriging-7 yöntemleri için külçe (nugget) eşik (sill) oranı sırasıyla 0.51 ve 0.74 bulunmuştur. Bu değerler Simple Kriging-12 ve Universal Kriging-7 yöntemlerinin orta seviye mekânsal bağımlılık oranına olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.42. Ordinary Kriging-19 modeline ait yarı variogram modeli gösterimi



Şekil 5.43. Simple Kriging-12 modeline ait yarı variogram modeli gösterimi



Şekil 5.44. Universal Kriging-7 modeline ait yarı variogram modeli gösterimi

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Türkiye'de enerji talebi hem ekonomik büyüme hem de nüfus artışı ile her geçen yıl artmakta ve artan yerli kaynak talebinin karşılanması ekonomik açıdan büyük önem taşımaktadır. Artan enerji talebinin karşılanması için yerli kömür kullanımının hem elektrik üretimi hem de ısınma ve endüstriyel kullanım için arttırılması, ekonomiye ve enerji güvenliğine katkı açısından önemlidir. Jeoistatistik analizin klasik istatistikten temel farkı, incelenen örnek veriler arasında mekânsal bir oto korelasyon (sıralı uzamsal bağımlılık ve veriler arasında ilişki) olduğu ve incelenen değişkenlerin bulundukları yere göre farklı istatistiksel özelliklere sahip olduğu varsayımıdır. Kriging, yüksek doğrulukta bir enterpolasyon yöntemidir.

Kriging yöntemi, sistematik sapmalar olmaksızın doğrusal, en iyi tahminci olarak bilinir. Günümüzde kriging enterpolasyon yöntemi mekânsal analiz çalışmalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Madencilik çalışmalarında rezervin en doğru şekilde tahmin edilebilmesi için modellenmesi gereken maden yüzey değerleri kriging yöntemleri ile yüksek doğrulukta tahmin edilebilmektedir.

Bu tez çalışmasında Maden Teknik Arama Genel Müdürlüğünün 1967 – 2012 yılları arasında Kütahya ili Tavşanlı ilçesi Tunçbilek beldesi Ömerler mevkiinde açtığı 252 adet sondaj noktasına ait yaklaşık 544.5 ha. alana dağılmış veriler kullanılarak, bölgede bulunan madenin rezerv tahmini için en uygun jeoistatistiksel yöntemin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, Ordinary, Simple ve Universal Kriging yöntemleri kullanılmıştır. Kriging yöntemleri için elde edilen teorik variogram modelleri 11 adet variogram dönüşüm modeli kullanılarak elde edilmiştir. Veriler izotropik kabul edilmiştir ve trend düzeltmesi uygulanarak ve uygulanmayarak sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen sonuç istatistiksel değerler çapraz değerleme yöntemi kullanılarak karşılaştırılmış ve maden rezervinin üst ve alt yüzeyleri tahmini için ayrı ayrı en uygun jeoistatistiksel yöntem elde edilmiştir.

Hem üst hem de alt yüzey için güneyden kuzeye gidildikçe deniz seviyesinden yüksekliğin artması, çalışma alanında trend etkisinin var olduğunu göstermektedir. Uygulanan tüm kriging yöntem modelleri içerisinde en iyi sonuç veren modellerin trend etkisi kaldırılmış modeller olduğu görülmektedir. Çalışma da trend etkisinin giderilmesi sonuçlara olumlu yönde etki etmiştir.

Üst ve alt yüzey için gerçekleştirilen uygulamalarda en iyi sonuç veren modellerin altı tanesinden 4 ‘ünün çarpık veri yapısına sahip olduğu görülmektedir. En son olarak seçilen üst ve alt yüzeyler için en iyi uygulamaların ikisinde de veri dağılımı çarpık olan modeller tercih edilmiştir. Buradan logaritmik dönüşüm uygulanmamış verilerin daha doğru sonuç verdiği kanısına varılmıştır.

Uygulama 1, 2 ve 3 incelendiği zaman Universal Kriging ile yapılan uygulamaların Ordinary Kriging ve Simple Kriging metotlarına göre daha zayıf verdiği görülmektedir. Ordinary kriging yöntemi maden rezerv anailizi için hem alt hem de üst yüzey verilerinde en iyi tahmin yöntemi olarak belirlenmiştir. Simple kriging yöntemi ile elde edilen çapraz değerlendirme bulguları Ordinary Kriging ile elde edilene yakın olduğundan dolayı Simple Kriging yöntemi ile elde edilecek sonuçlarında tarafsız ve doğru olabileceği düşünülebilir.

Maden rezervi üst yüzey kotu tahmini için gerçekleştirilen Ordinary Kriging uygulamaları arasında en iyi yöntemin Ordinary Kriging –19 olduğu, Simple Kriging yöntemleri arasında en uygun yöntemin Simple Kriging-34 olduğu, Universal Kriging yöntemleri arasında ise en uygun yöntemin Universal Kriging-18 olduğu belirlenmiştir. İncelenen çapraz değerleme bulguları sonucunda yukarıda sayılan kriging modelleri arasından üst yüzey için en doğru sonucu veren en iyi yöntemin Ordinary Kriging –19 olduğu belirlenmiştir.

Aynı şekilde maden rezervi alt yüzey kotu tahmini için gerçekleştirilen Ordinary Kriging uygulamaları arasında en iyi yöntemin Ordinary Kriging –19 olduğu, Simple Kriging yöntemleri arasında en uygun yöntemin Simple Kriging -12 olduğu, Universal Kriging yöntemleri arasında ise en uygun yöntemin Universal Kriging-7 olduğu belirlenmiştir. İncelenen çapraz değerleme bulguları sonucunda yukarıda sayılan kriging modelleri arasından üst yüzey için en doğru sonucu veren en iyi yöntemin Ordinary Kriging – 19 olduğu belirlenmiştir.

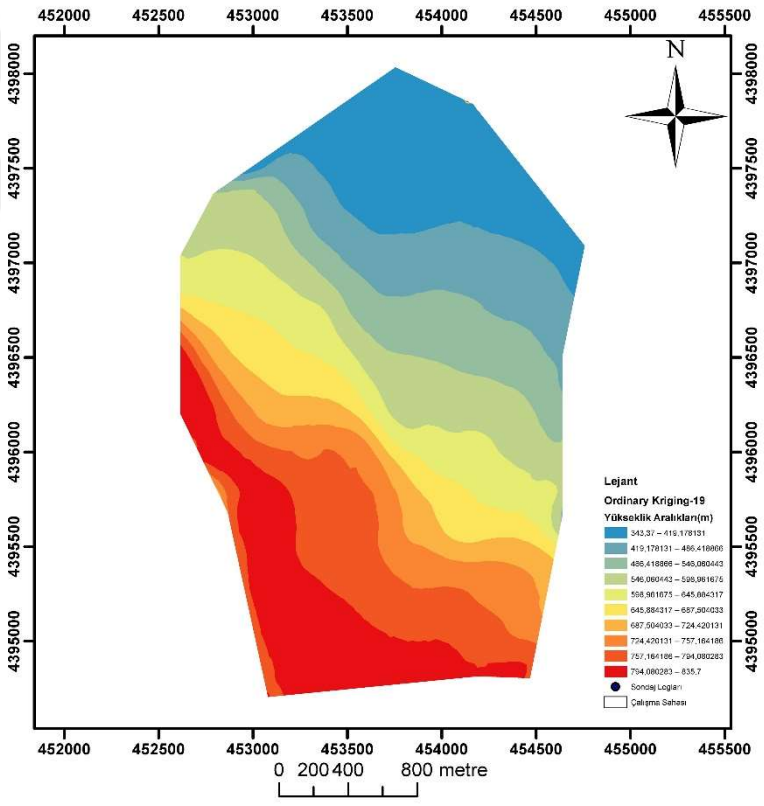
Bu uygulama için Ordinary Kriging için Halo Effect variogram modeli, Simple Kriging için Circular variogram modeli, Universal Kriging için ise Rational Quadratic variogram modelinin daha doğru sonuç verdiği sonucuna ulaşılmıştır.

Yüzey değerlerini tahmin etmek ve seçilen variogramın doğruluk değerini değerlendirmek için belirlenen kriging modelleri ve çapraz değerleme metodu birlikte kullanıldı. Ölçülen ve tahmin edilen kömür derinlik değerleri ile 1:1 çizgisi arasında en uygun regresyon çizgisi belirlendi. Ordinary Kriging-19 yöntemine göre belirlenen

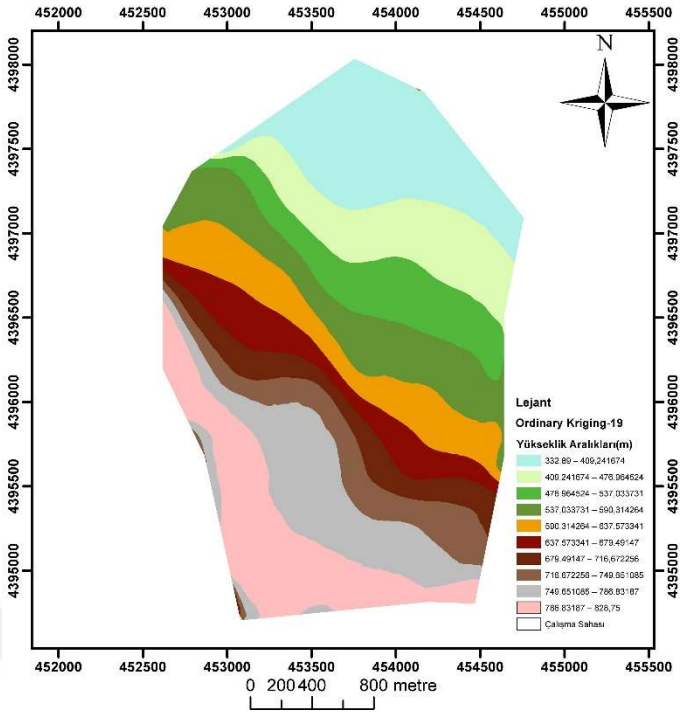
regresyon çizgileri; üst ve alt yüzeyler için sırasıyla y =0.998x + 0.92 ve y = 0.994x + 3.45 olarak uygulanabilir ve alandaki güvenilir değer yatmaktadır. ArcGIS 10 yazılımı ile yapılan rezerv hesabı sonucunda 44,097,723 m^3 kömür rezervi olduğu tahmin edilmiştir.

Bu tez ile maden rezerv tahmini için kullanılabilecek en iyi sonuç veren jeoistatistik yönteminin belirlenmesi amaçlanmıştır. En doğru jeoistatistik model ile elde edilen sonuç ürünler bölgede yapılacak kazı çalışmalarının hızlanmasına ve yapılacak harcamaların azalmasına katkıda bulunacaktır.

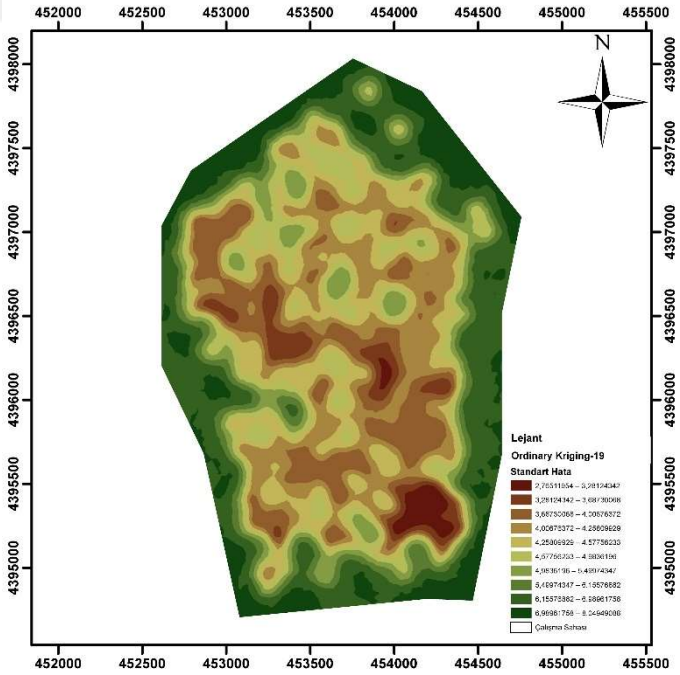
Ordinary kriging- 19 yöntemi ile oluşturulan en uygun yüzey ve yüzey tahmin hataları haritaları alt ve üst yüzey için ayrı ayrı Şekil 6.1, Şekil 6.2, Şekil 6.3, Şekil 6.4'te verilmiştir.



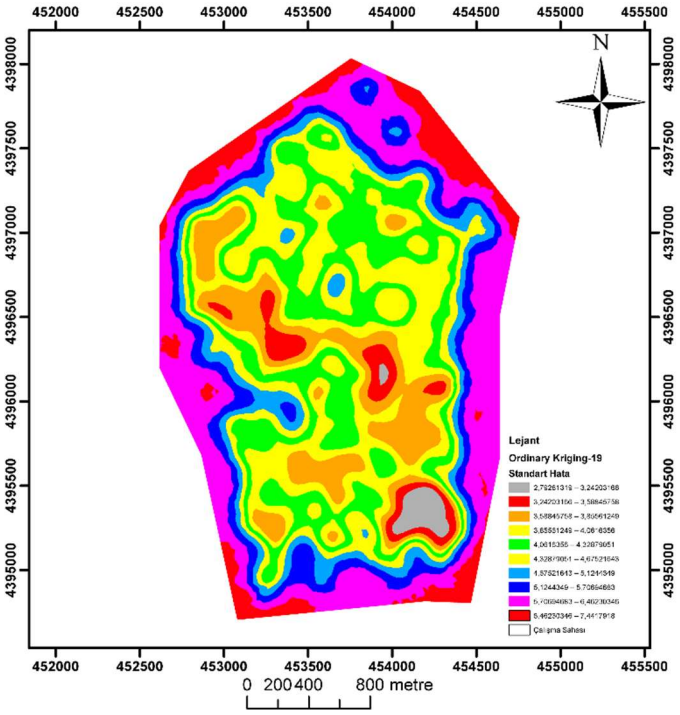
Şekil 6.1. Ordinary Kriging-19 yöntemi ile oluşturulan üst yüzey için en uygun yüzey modeli haritası



Şekil 6.2. Ordinary Kriging -19 yöntemi ile oluşturulan alt yüzey için en uygun yüzey modeli haritası

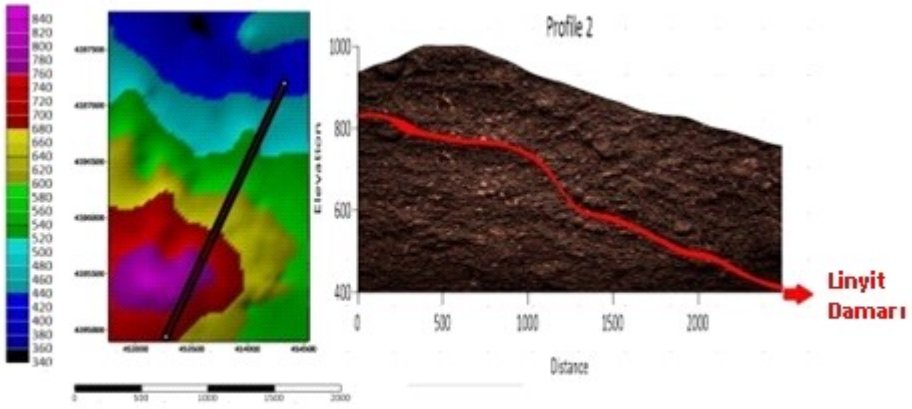


Şekil 6.3. Ordinary Kriging -19 yöntemi ile oluşturulan üst yüzey için en uygun yüzey modeline ait tahmin hataları(m)

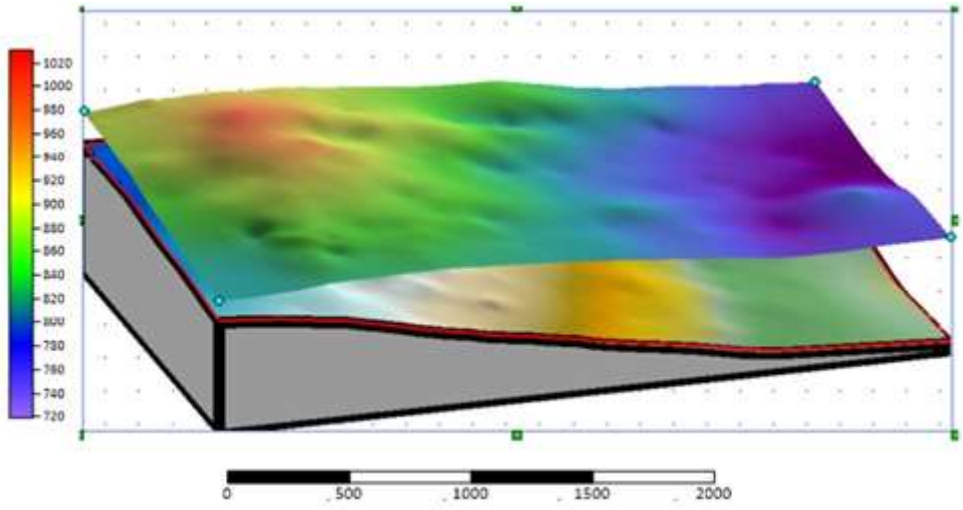


Şekil 6.4. Ordinary Kriging -19 yöntemi ile oluşturulan alt yüzey için en uygun yüzey modeline ait tahmin hataları(m)

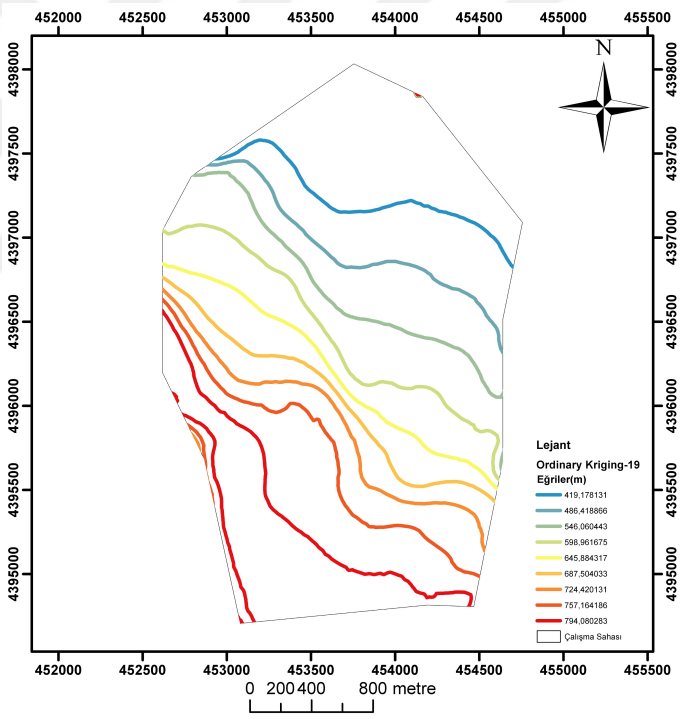
Surfer programı ile elde edilen arazi yüzeyine ait enkesit profili, arazi yüzey modeli, maden rezervinin görünümü ve maden yüzeyine ait eğri modelleri sırasıyla Şekil 6.5, Şekil 6.6, Şekil 6.7 ve Şekil 6.8 ile gösterilmektedir. Maden rezervi kalınlığı ortalama 8.15 m olduğu için Şekil 6.6'da kırmızı çizgi ile belirtilmiştir.



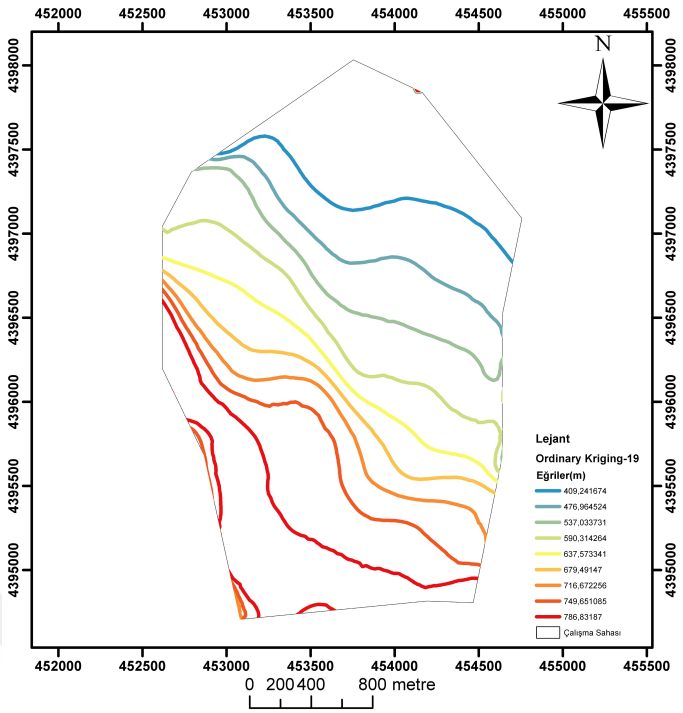
Şekil 6.5. Surfer programı ile arazi yüzeyinden alınan enkesit profili



Şekil 6.6. Surfer programı ile oluşturulan arazi yüzey modeli ve maden rezervinin görünümü



Şekil 6.7. Ordinary Kriging-19 yöntemi ile oluşturulan üst maden yüzeyinin eğri modeli



Şekil 6.8. Ordinary Kriging-19 yöntemi ile oluşturulan alt maden yüzeyinin eğri modeli

KAYNAKLAR

A. Oliver, M., & Webster, R. (2014). A tutorial guide to geostatistics: Computing and modelling variograms. *Catena*, 56–69.

Aksoy, E. (2011). Toprak Haritalamada Pedolojik ve Coğrafi Değişkenler Arasındaki İlişkinin Sayısal Ortamda Belirlenmesi. Doktora Tezi.

Amini, M., Torkan, G., Eslamian, S., Zareian, M., & Adamowski, J. (2019). Analysis of deterministic and geostatistical interpolation techniques for mapping meteorological variables at large watershed scales. *Acta Geophysica*, Acta Geophysica.

Anselin, L. (1996). Interactive techniques and exploratory spatial data analysis.

Apaydin, H., Kemal, F., & Re, E. (2004). Spatial interpolation techniques for climate data in the GAP region in Turkey. *Climate Research*, 28(1), 31-40.

Armstrong, M. (1998). *Basic linear geostatistics.* Springer Science & Business Media.

Arslan, H. (2014). Estimation of spatial distrubition of groundwater level and risky areas of seawater intrusion on the coastal region in Çarşamba Plain, Turkey, using different interpolation methods. *Environmental monitoring and assessment*, 186(8), 5123-5134.

Asa, E., Saafi, M., Membah, J., & Billa, A. (2012). Comparison of Linear and Nonlinear Kriging Methods for Characterization and Interpolation of Soil Data. *Comparison of Linear and Nonlinear Kriging Methods for Characterization and Interpolation of Soil Data*, 26(1), 11-18.

Avsaroglu, N. (2020). *Turkey Mining Sector.*

Aydın, O. (2014). Türkiye'de Yıllık Ortalama Toplam Yağışın Krıgıng Yöntemiyle Belirlenmesi. Ankara: Doktora Tezi.

Aydın, O., & Raja, N. (2016). Yağışın mekansal dağılışında deterministik ve stokastik yöntemler: Mauritius örneği, Doğu Afrika. *Coğrafi Bilimler Dergis*, 14(1), 1-14.

Aydın, O., Türkoğlu, N., & Çiçek, İ. (2015). The importance of geostatistics in pyschical geography Fiziki coğrafyada jeoistatistiğin önemi. *Journal of Human Sciences*, 1397-1415.

Bailey, T. C., & Gatrell, A. C. (1995). Interactive spatial data analysis . *Essex: Longman Scientific & Technical*, (Vol. 413, No. 8).

Basarir, H., & Karpuz, C. E. L. A. L. (2004). A rippability classification system for marls in lignite mines. *Engineering geology*, *74*(3-4), 303-318.

Başbozkurt, H. (2015, Şubat). Mekânsal Regresyon Metotları Kullanımı ile Toprağın Bazı Fiziksel Ve Kimyasal Özelliklerinin Analizi. Konya: Doktora Tezi.

Bohling, G. (2005). Introduction to geostatistics and variogram analysis. *Kansas geological survey*, 1-20.

Borges, P., Franke, J., Anunciação, Y. Y., Weiss, H., & Bernhofer , C. (2016). Comparison of spatial interpolation methods for the estimation of precipitation distribution in Distrito Federal, Brazil. *Theoretical and applied climatology*, 123(1), 335-348.

Bostan, P. A. (2013). Analysis and modeling of spatially and temporally varying meteorological parameter: precipitation over Turkey. PHD Thesis.

Burrough, P. A., McDonnell, R., & Lloyd, C. (2015). *Principles of Geographical Information Systems.* Oxford university press.

Clark, I. (1986). 9th Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry, RV Ramani, Editor. Sponsored by The Pennsylvania State University, April 14-16.

Cressie, N. (1990). The origins of kriging. *Mathematical geology*, 22(3), 239-252.

Diggle, P., Tawn, J., & Moyeed, R. (1998). Model-based geostatistics. *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)*, 299-350.

Flipo, N., Jeanne, N., Poulin, M., Even, S., & Ledoux, E. (2007). Assessment of nitrate pollution in the Grand Morin aquifers (France): combined use of geostatistics and physically based modeling. *Environmental Pollution*, 146(1), 241-256.

Haining, R. (2014). Spatial data and statistical methods: A chronological overview. *Handbook of Regional Science. Springer*, 1277-1294.

Hüsrevoğlu, M. (2018). Jeoistatistik analiz ile yağış haritalarının görselleştirilmesi. (Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü).

International Energy Agency. (2021). *Turkey 2021 Energy Policy Review.*

Isaaks, E. H., & Srivastava, R. (1989). *An introduction to applied geostatistics.* Oxford University Press.

Johnston, K., Krivoruchko, K., Lucas, N., Jay M., & Hoef, V. (2001). *Using ArcGIS geostatistical analyst (Vol. 380).* Redlands: Esri.

Ken, R. F., Hubson, M. P., & Bence, S. J. (2006). Mathematical methods for physics and engineering third edition paperback set. Mathematical Methods for Physics and Engineering-3rd Edition,.

Krivoruchko, K. (2004). Introduction to modeling spatial processes using geostatistical analyst. Redland: ESRI Educational and Research Papers.

Lianhenga, Z., Shuaihaoa, Z., Donglianga, H., Shia, Z., & Dejiana, L. (2018). Quantitative characterization of joint roughness based on semivariogram parameters. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 1-8.

Lichtenstern, A. (2013). Kriging methods in spatial statistics. Yüksek Lisans Tezi.

Lilly, J. O. (2016). A GIS Approach to Modeling Groundwater Levels in the Mississippi River Valley. Yüksek Lisans Tezi.

Matheron, G. (1967). Kriging or polynomial interpolation procedures. *CIMM Transactions*, 240-244.

MTA Genel Müdürlüğü. (2020). *Kömür arama araştırmaları*. https://www.mta.gov.tr/v3.0/arastirmalar/komur-arama-arastirmalari adresinden alındı

Myers, J. C. (1997). *Geostatistical Error Management: Quantifying Uncertainty for Environmental Sampling and Mapping.* John Wiley & Sons.

Olea, R. A. (2018). *A Practical Primer on Geostatistics.* US Geological Survey.

Oliver, M. A., & Webster, R. (2007). *Geostatistics for Environmental Scientists.*

Oliver, M. A., & Webster, R. (2015). *Basic Steps in Geostatistics: The Variogram and Kriging.* Springer.

Oliver, M., & Webster, R. (1990). Kriging: a method of interpolation for geographical information systems. *International Journal of Geographical Information System*, 4(3), 313-332.

Pereira, W. (2009). *A Practical Guide to Geostatistical Mapping, 2nd Edition.*

Ramadhan, M., Marwanza, I., Nas, C., Azizi, M., Dahani, W., & Kurniawati, R. (2021). Drill Holes Spacing Analysis for Estimation and Classification of Coal Resources Based on Variogram and Kriging. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (s. Vol. 819, No. 1, p. 012026). IOP Publishing.

Ramadhan,, M., Marwanza,, I., Nas, C., Azizi, M., Dahani, W., & Kurniawati, R. (2021, Temmuz). Drill Holes Spacing Analysis for Estimation and Classification of Coal Resources Based on Variogram and Kriging. In IOP Conference Series: Earth and

Environmental Science (Vol. 819, No. 1, p. 012026). In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 819, No. 1, p. 012026).

Ramírez-Davila, J. F., Porcayo-Camargo, E., Sánchez-Pale, J. R., & Vázquez-García, L. M. (2012). Spatial behavior comparison of Bactericera cockerelli Sulc. (Hemiptera: Triozidae) in Mexico. *Neotropical entomology*, *41*(1), 9-16.

Sadia, A., Sofia, A., & Samia, N. (2017). Renewable and Non-Renewable Energy and its Impact on Environmental Quality in South Asian Countries. *Forman Journal of Economic Studies,*, 13.

Sarann , L., Charles, C., & Degré, A. (2013). Different methods for spatial interpolation of rainfall data for operational hydrology and hydrological modeling at watershed scale: A review. *Biotechnologie, agronomie, société et environnement*, 17(2), 392-406.

Sarma, . D. (2010). *Geostatistics with applications in earth sciences.* Geostatistics with applications in earth sciences.

Srivastava, R. M. (2013). Geostatistics: A toolkit for data analysis, spatial prediction and risk management in. *International Journal of Coal Geology*, 2-13.

Srivastava, R. M. (2013). Geostatistics: a toolkit for data analysis, spatial prediction and risk management in the coal industry. *International Journal of Coal Geology*, 112, 2-13.

Şen, Z. (2002). *İstatistik Veri İşleme Yöntemleri (Hidroloji ve Meteoroloji).* Su Vakfı Yayınları.

Şen, Z. (2016). *Spatial Modeling Principles in Earth Sciences.* Springer International Publishing.

Topal, B. (2007). Jeoistatistiksel Variogram ve Modelleme Yazılımı: Sayaca (Ulubey, Ordu) Altın Cevherlesmesi'nde Uygulanması. Yüksek Lisans Tezi.

Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu (TKİ). (2018). 2017 Kömür Sektör Raporu (Linyit)

Uyan, M. (2016). Determination of agricultural soil index using geostatistical analysis and GIS on land consolidation projects: A case study in Konya/Turkey. *Computers and Electronics in Agriculture*, 123, 402-409.

Uyan, M. (2019). Comparison Of Different Interpolation Techniques in Determining of Agricultural Soil Index on Land Consolidation Projects. *International Journal of Engineering and Geosciences,* 4(1), 28-35.

Uyan, M., & Dursun, A. (2021). Determination and Modelling of Lignite Reserve using Geostatistical Analysis and GIS. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(4), 1-15.

Uyguçgil, H. (2007). Çok Değişkenli Maden Yataklarında Rezerv Tenör Tahmininde. Doktora Tezi.

Wackernagel, H. (2003). *Multivariate geostatistics: an introduction with applications.* Springer Science & Business Media.

Yaprak, S. (2007). Kriging Yönteminin Geoit Yüzeyi Modellemesinde Kullanılabilirliğinin Araştırılması Ve Varolan Yöntemlerle Karşılaştırılması. Doktora Tezi.

Yeşilkanat, C. M., Kobya, Y., Taşkın, H., & Çevik, U. (2014). Jeoistatistik Tahmin ve Simulasyon Yöntemleri ile Artvin İlindeki Doğal Kaynak Suları için Toplam Alfa ve Toplam Betanın Ara Değer Modellemesi ve Haritalanması. *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi*, 35(4), 11-35.