

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

**YERBİLİMLERİNDE KARARA YÖNELİK HARİTALAMA İÇİN
JEOİSTATİSTİKSEL ÖĞRENME**



YÜKSEK LİSANS

İbrahim DUMAN

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Bülent TÜTMEZ

MART 2020

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

**YERBİLİMLERİNDE KARARA YÖNELİK HARİTALAMA İÇİN
JEOİSTATİSTİKSEL ÖĞRENME**

YÜKSEK LİSANS

**İbrahim DUMAN
(36173616015)**

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Bülent TÜTMEZ

MART 2020

**İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ**

**YERBİLİMLERİNDE KARARA YÖNELİK HARİTALAMA İÇİN
JEOİSTATİSTİKSEL ÖĞRENME**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**DANIŞMAN
BÜLENT TÜTMEZ**

**HAZIRLAYAN
İBRAHİM DUMAN**

Jürimiz tarafından 13/03/2020 tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda bu tez **oybirliği / oyçokluğu** ile başarılı bulunarak **Maden Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyelerinin Unvanı Adı Soyadı

İmza

1. Prof. Dr. Bülent TÜTMEZ

.....

2. Prof. Dr. Ahmet DAĞ

.....

3. Prof. Dr. Mustafa Kemal ÖZDEMİR

.....

O N A Y

Bu tez, İnönü Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri uyarınca yukarıdaki jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş ve Enstitü Yönetim Kurulu'nun .../.../20... tarih ve 20.../..... sayılı Kararıyla da uygun görülmüştür.

Prof. Dr. Kazım TÜRK

Enstitüsü Müdürü

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

Bilgi ve önerileriyle çalışmayı yönlendiren danışman hocam Prof. Dr. Bülent TÜTMEZ' e,

Uygulama bilgilerinin sağlanmasında izinleri ve destekleri dolayısıyla EÜAŞ Afşin Elbistan Linyitleri İşletme Müdürlüğüne ve çalışanlarına,

Her türlü özveri ve destekleri ile daima yanımda olan aileme,

teşekkür ederim.



ONUR SÖZÜ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “Yerbilimlerinde Karara Yönelik Haritalama İçin Belirlenimci ve Jeostatistiksel Öğrenme” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığına ve yararlandığım bütün kaynakların hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

İbrahim DUMAN



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ	i
ONUR SÖZÜ.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ÖZET.....	vii
ABSTRACT	viii
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	3
2.1 Uzaklığa ve Zamana Bağlı Jeostatistiksel Analiz	3
2.2 Uzaklığa ve Komşuluğa Bağlı Belirlenimci Öğrenme	4
3. MATEMATİKSEL – İSTATİSTİKSEL ALTYAPI.....	6
3.1 Uzaklığa Dayalı Belirlenimci (Deterministic) Veri Analizi	6
3.1.1 Üçgen ve poligon yöntemi	7
3.1.2 k – NN komşuluk yöntemi	8
3.1.3 Mesafenin tersine bağlı ağırlıklandırma (ISDW)	9
3.2 Jeostatistiksel Uzaklığa Bağlı İlişki	11
3.3 Çizge Teorisi (Graph Theory)	12
3.3.1 Çizge teorisinde topolojik gösterge	13
3.3.2 Kimyasal çizge yaklaşımı	13
4. UZAKLIĞA VE ZAMANA BAĞLI JEOİSTATİSTİKSEL ÖĞRENME	16
4.1 Bölgenin Jeolojisi ve Hidrojeolojisi	16
4.2 Veri Analizi	19
4.3 Etki Mesafelerinin Belirlenmesi.....	23
4.4 Bulgular ve Değerlendirme	25
5. UZAKLIĞA VE KOMŞULUĞA DAYALI BELİRLENİMCI ÖĞRENME	33
5.1 Topolojik Göstergeye Dayalı Uzaklık ve Komşuluk	33
5.2 Topolojik Göstergeye Dayalı Algoritma (TIBI)	35
5.3 Model Çalışmaları	38
5.4 Bulgular ve Değerlendirme	42
6. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME	51
6.1 Uzaklığa ve Zamana Dayalı Jeostatistiksel Öğrenme	51
6.2 Uzaklığa ve Komşuluğa Dayalı Belirlenimci Öğrenme	51
KAYNAKLAR	53
ÖZGEÇMİŞ	57

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1 : YASS değerleri için etki mesafeleri.....	25
Çizelge 5.1 : Standartlaştırılmış ölçümlerin uzaklık matrisi.....	43
Çizelge 5.2 : Etki zonu içinde yer alan elastisite modülü değerleri.	44
Çizelge 5.3 : Kestirim yöntemlerinden elde edilen değişkenlik düzeyleri.	47
Çizelge 5.4 : Kestirim yöntemlerinin göreceli hata düzeyleri.	50



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1 : Poligon yönteminin temsili.	8
Şekil 3.2 : Farklı bant genişliklerine göre etkinlik düzeyleri.	9
Şekil 3.3 : Ağırlıkların mesafeye bağlı değişimi.	10
Şekil 3.4 : Küresel variogram fonksiyonu.	12
Şekil 3.5 : Çizge gösterimi ve komşuluklar.	13
Şekil 3.6 : Moleküler yapıların çizgesel gösterimi.	14
Şekil 4.1 : Uygulama örnek sahası yerbulduru haritası.	17
Şekil 4.2 : Düzenlenmiş stratigrafik kesit.	18
Şekil 4.3 : İncelenen drenaj kuyuları uydu görüntüsü.	19
Şekil 4.4 : Dönüştürülmüş su seviyeleri.	20
Şekil 4.5 : YASS değerleri arasındaki uzaklığa bağlı ilişkinin zamanla değişimi. ...	23
Şekil 4.6 : Aylara göre etki uzaklığı – varyans ilişkisi.	26
Şekil 4.7 : Örnek kuyuların etki uzaklıklarındaki zamana bağlı değişim.	27
Şekil 4.8 : Etki mesafesinin mevsimlere göre değişimi.	31
Şekil 5.1 : Örnek topolojik çizge.	33
Şekil 5.2 : TIBI yordamı.	36
Şekil 5.3 : Andezit yatağı yerbulduru haritası.	38
Şekil 5.4 : Ölçüm değerlerinin koordinatla değişimi.	39
Şekil 5.5 : Benzetim veri setinin histogramları.	40
Şekil 5.6 : Örneklem değerlerinin dönüştürmeye bağlı konumları.	41
Şekil 5.7 : En uygun etki uzaklığı için variogram modeli.	42
Şekil 5.8 : EM için örnek etki zonu.	45
Şekil 5.9 : Kestirim değerlerinin karşılaştırmalı görünümü.	48
Şekil 5.10 : ISDW ve TIBI yöntemlerinin karşılaştırılması.	49
Şekil 5.11 : Hataya bağlı karşılaştırmalı değerlendirme.	50

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

A	: Adjacency Matrix (Komşuluk Matrisi)
B	: Bandwidth (Etki Mesafesi)
D	: Distance Matrix (Uzaklık matrisi)
EM	: Elastisite Modülü
EÜAŞ	: Elektrik Üretim Anonim Şirketi
ISDW	: Inverse Squared Distance Weighting (Mesafenin Tersine Bağlı Ağırlıklandırma)
k – NN	: k – Nearest Neighbor (k – En Yakın Komşuluk)
K	: Toplam Matrisinin Determinantı
ME	: Multiquadric Equations (Çoklu İkinci Dereceden Eşitlikler)
RE	: Relative Error (Göreceli Hata)
TIBI	: Topological Index–Based Interpolation (Topolojik Göstergeye Dayalı Enterpolasyon)
TIN	: Triangulated Irregular Network (Düzensiz Üçgen Ağı)
YASS	: Yeraltı Su Seviyesi

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YERBİLİMLERİNDE KARARA YÖNELİK HARİTALAMA İÇİN JEOİSTATİSTİKSEL ÖĞRENME

İBRAHİM DUMAN

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

57+VIII sayfa

2020

Danışman: Prof. Dr. Bülent TÜTMEZ

Bu çalışmada, jeoistatistiksel ve belirlenimci öğrenme yaklaşımları yerbilimi problemlerine uygulanmıştır. Tez çalışması istatistiksel öğrenme ve mekânsal veri analizinin bileşimi bir yöntem üzerinden gerçekleştirilmiştir. Tez, iki ana başlık altında oluşturulmuştur. İlk başlık altında, zamana ve uzaklığa dayalı jeoistatistiksel öğrenme perspektifinden hareketle yer altı su seviyeleri (YASS) değerlendirilmiştir. İncelenen bir maden sahası ve çevresinde yer alan kuyulara ait YASS değerlerinin uzaklığa bağlı ilişkisi ölçülmüş ve etki alanlarının zamana ve konuma bağlı değişimi analiz edilmiştir. İkinci başlıkta, mesafenin tersi ile ağırlıklandırma (IDW) ve en yakın komşuluk (k-NN) yaklaşımlarına alternatif yeni bir belirlenimci kestirici önerilmiştir. Bütünsel ve bölgesel ölçekte sonuç üreten yeni enterpolasyon yordamı moleküler çizge teorisi yaklaşımından hareketle geliştirilmiştir. İki başlık altındaki deneysel çalışmalar, karar vericiler ve haritalama için uygun çıktılar sunmaktadır. Tez bulguları, başta yer ve çevrebilim olmak üzere farklı disiplinlerde mekânsal ilişkileri kullanarak karar vermeye yardımcı olabilecektir.

Anahtar Kelimeler: Jeoistatistiksel Öğrenme, Çizge Teorisi, Ağırlıklandırma, Topolojik Gösterge, Belirlenimci Kestirim.

ABSTRACT

Master Thesis

GEOSTATISTICAL LEARNING FOR DECISION-ORIENTED MAPPING IN EARTH SCIENCES

İBRAHİM DUMAN

Inonu University
Graduate School of Nature and Applied Sciences
Department of Mining Engineering

57+VIII pages

2020

Supervisor: Prof. Dr. Bülent TÜTMEZ

In this study, geostatistical and deterministic learning approaches have been applied to earth science problems. The thesis work has been conducted based on a methodological synthesis of statistical learning and spatial data analysis. The thesis was composed of under the two sections. Under the first heading, ground water levels have been appraised from a time and distance-based geo-statistical learning perspective. The spatial relationships among the ground water levels (GWL) of the water-wells placed in the mine site and its around have been measured and it is analyzed to change of search domains in connection with spatio-temporal variability. In the second heading, a new smoother, which is an alternative to inverse distance weighting (IDW) and k-nearest neighbour (k-NN) approaches, have been suggested. The new interpolation algorithm producing global and local solution has been developed based on the molecular graph theory. The thesis findings would serve decision making in different disciplines being the first place in earth and environmental science by using spatial relationships.

Keywords: Geostatistical Learning, Graph Theory, Weighting, Topological Index, Deterministic Interpolation.

1. GİRİŞ

Madencilik, çevre, iklim bilim ve hidrojeoloji gibi disiplinler doğal değişkenlik (natural variability) ve ölçümlerden kaynaklı belirsizlik içerir. Dolayısıyla bu belirsizliklerin değerlendirilmesi gerek risk analizi ve gerekse de karar verme süreçleri için belirleyici olmaktadır. Saha ölçeğinde elde edilen ölçüm verilerindeki belirsizlikler matematiksel ve istatistiksel yöntemlerle değerlendirilebilmektedir (Şen, 2009).

İstatistiksel veri analizi, birçok disiplinde olduğu gibi yerbilimlerinde de ölçüm değerlerindeki ve parametrelerdeki değişimi analiz ederek değerlendirme yapmaya olanak tanımaktadır. Hesaplamalardaki temel farklılık ve önem kazanan nokta, mekânsal (spatial) bilginin çalışmalara dahil olmasıdır (Schanbenberger ve Gotway, 2005).

Mekânsal belirsizlikler, ölçümler arasındaki mesafe ve mesafeye bağlı ilişkilerle değerlendirilir. Nitekim doğadaki değişimler, zaman (temporal) ve mekân (spatial) parametreleri ekseninde incelenir. Doğa problemlerine analitik yaklaşım, laboratuvar ölçümlerinin teorik varsayımlarla elde edilen bilgiyi desteklemesiyle anlam kazanmaktadır. Analitik çıktı, genellikle matematiksel analitik fonksiyonların kullanıldığı kapalı formdaki çözümlerdir. Belirlenimci (deterministic) yaklaşımlar ise (Sanderson ve Gruen, 2006), analitik yaklaşımlardan farklı olarak neden sonuç ilişkisini doğrudan ve yalın biçimde kuran, karmaşık formüller kullanılmadan beklenen değeri hedefleyen yöntemlerdir.

Gerek belirlenimci ve gerekse de coğrafi ilişkileri dikkate alan jeoistatistiksel yöntemler, uzaklığı merkeze alarak hesaplama yapar. Komşuluk ve zamana bağlı değişim ikincil düzeyde ele alınmaktadır. Nitekim *IDW* (Mesafenin Tersine ile Ağırlıklandırma) ve *k-NN* (En Yakın Komşuluk) doğrudan uzaklıkları basit ağırlıklandırmayla hesaplamaya dahil ederken, kriging ise doğrudan uzaklıkları kullanarak fonksiyonel olarak değerlendirme yapmaktadır.

Bu tez çalışmasında, yerbilimleri problemlerinin çözümünde ve üretim planlamada gerekli olan kararların oluşturulması için istatistiksel öğrenme yoluyla değerlendirmeler yapılmıştır. Zaman ve komşuluk parametrelerini dikkate alan hesaplamalar iki ana başlıkta ele alınmıştır.

Uzaklığa ve zamana dayalı jeostatistiksel öğrenme başlığı altında yapılan çalışmalarda, karar süreçlerinde önem kazanan değişkenlik zamana bağlı olarak incelenmiştir. Değişen bant genişliğinin (bandwidth) etkinliğinin araştırılması önemini koruyan bir bilimsel çalışma konusudur (Chun ve Griffith, 2013). Maden sahasındaki yeraltı su seviyesi (YASS) değişimi jeostatistiksel öğrenme yaklaşımıyla ele alınmış ve su seviyesi ölçümü yapılan kuyuların etki zonlarındaki farklılaşma dönemsel ilişkilerle açıklanmaya çalışılarak değerlendirilmiştir. Etki uzaklığındaki değişim, sahadaki heterojenlik ve oluşan risk zonları hakkında bilgi vermektedir. Zamana ve konuma bağlı bölge (zon) analizi özgünlük taşımaktadır.

Uzaklığa ve komşuluğa dayalı belirlenimci öğrenme başlığı altında yapılan çalışmalarda, matematiksel bir yaklaşım olan ve bilgisayar bilimlerinde yaygın olarak kullanılan çizge (graph) teorisi yardımıyla yeni bir kestirici (smoother) önerilmiştir. Kesikli matematiğin bir kolu olan çizge teori, bağlantı noktalarının ve yörüngeleri kullanarak ağ yapısı içerisindeki ilişkileri ve ağlar arasındaki etkileşimi ortaya koyabilmektedir (Diestel, 2000). Bu zeminden hareketle sondaj ve kuyu gibi ölçüm noktaları ve aralarındaki uzaklıklar ağ yapısı içerisinde sistemsal olarak değerlendirilmiştir.

Geleneksel belirlenimci enterpolasyon yöntemleri olan *IDW*, Voronoi Poligonu ve *k-NN* yaklaşımlarında matematiksel ve topolojik ilişkilerin yanı sıra saha içerisindeki değişkenlik de dikkate alınmaz (Sinclair ve Blackwell, 2002). Bu eksikliklerin giderilmesi amacıyla moleküler çizge teorisinden hareketle önerilen topolojik gösterge yaklaşımı kullanılmıştır (Gutman, 2013). Çizge kapsamında oluşturulan uzaklık ve komşuluk matrisleri yardımıyla ağırlıklı çözüm üretilmiştir. Böylece incelenen sahanın bir ağ yapısı temelinde bütünsel ve bölgesel değerlendirilmesi yapılmıştır. Örneklemeye yüzeyinin (cevherin) bir matematiksel ağ yapısı içerisinde ele alınması ve ilişkilerin veriden öğrenme yoluyla ortaya çıkarılması özgünlük taşımaktadır (Duman ve Tutmez, 2020).

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Madencilik, çevre ve hidrojeoloji gibi yerbilimlerine dayalı saha araştırmalarında veriler sondaj, jeofizik ve uzaktan algılama gibi araçlarla sağlanır (Moon vd. 2006; Chuvieco, 2016). Sahaya ilişkin ölçülen parametrelerin (tenör, cevher kalınlığı, yeraltı su seviyesi gibi) yanı sıra mekânsal konumu ortaya koyan koordinat da önemli bir parametredir (Gupta, 2003). Yerbilimlerine dayalı alanlarda gerçekleştirilen hesaplamaya dayalı çalışmalarda konumsal ağırlığın (spatial weight) süreçlere belirleyici bir parametre olarak dâhil edilmesi son yılların önemli çalışma başlıklarından biridir (Lam ve Souza, 2019; Kelejian ve Piras, 2017). Bu tez çalışmasının içeriğine uygun olarak geçmiş çalışmalar iki ana başlık altında incelenmiştir.

2.1. Uzaklığa ve Zamana Bağlı Jeoistatistiksel Analiz

Saha çalışmaları ve elde edilen ölçümler ölçüm lokasyonundan bağımsız olarak değerlendirilemez. Jeoistatistik en genel olarak ölçülen değişkenin yer aldığı nokta ile değişken değeri arasında korelasyon bulunduğunu ifade etmektedir (Schabenberger ve Gotway, 2005). Buradan hareketle uzaklığa bağlı ilişkiyi esas alan birçok çalışma literatürde yer almaktadır.

Çalışmaların öncülü konumundaki eserlerin birinde (Journel ve Huijbregts, 1997), bölgeselleşmiş değişken ve yapısal analiz yanında kriging gibi kestirim yöntemleri ve benzetim modelleri de ortaya konulmuştur. Bu çalışmayı takiben; demirce zengin maden yataklarındaki asit drenajını değerlendirmek (Courtin – Nomade vd. 2005), kömür madenlerinin reklamasyonu (Begbie, 2007), sağlık coğrafyası (medical geography) araştırmasında (Goovaerts, 2010), topraktaki ağır metal seviyesinin belirlenmesinde (Zhao vd. 2013) uzaklığa bağlı ilişki temel parametre olarak kullanılmıştır. Yakın dönemde, deprem ve sismik risk değerlendirmesi (Frigerio vd. 2016), tarımsal üretimde coğrafi bilgi sistemleri (Denton vd. 2017) ve açık ocak madenciliğinin çevresel etkileri (Wang vd. 2019) başlıkları altında uzaklığa ve zamana bağlı ağırlıklandırmayı esas alan çalışmalar yapılmıştır.

Öte yandan, yeraltı su seviyesinin (YASS) değerlendirilmesinde istatistiksel modelleme yöntemlerini kullanan birçok çalışma literatürde yer almaktadır. Nourani vd. (2008), YASS tahmininde yapay sinir ağlarını kullanmıştır. Çalışmada hidrolojik süreçler zamana ve mekana bağlı olarak değerlendirilmiştir. Jeostatistiksel açıdan YASS değerlendirilmesinde birçok yöneme yer verilmektedir. Li ve Huang (2016), çoklu jeostatistiksel analizden yararlanarak YASS haritalamasını önermiştir. Yakın dönemde YASS' in uzaklığa bağlı değişimi karar verme amacıyla jeostatistiksel araçlar kullanarak değerlendirilmiştir (Varouchakis, 2020).

2.2. Uzaklığa ve Komşuluğa Bağlı Belirlenimci Öğrenme

Uzaklık ve komşuluk; belirlenimci (deterministic), jeostatistiksel ve makine öğrenmesine dayalı yordamlar (algoritma) geliştirilirken belirleyici parametreler olarak dikkate alınır (Rogerson, 2020). Bu değişkenleri esas alan birçok yöntem literatürde yer almaktadır. Bu yöntemler arasında; çoklu ikinci dereceden eşitlikler (*Multiquadric Equations–ME*) (Borga ve Vizzaccaro, 1997), mesafenin tersi ile ağırlıklandırma (*Inverse Square Distance Weighting–ISDW*) (Abzalov, 2016), en yakın komşuluk yöntemi (*k Nearest Neighbour – k–NN*) (Kanevski vd. 2004) ve basit kestiriciler (üçgen ve poligon yöntemi gibi) belirtilebilir.

Belirlenimci analiz, gerek basitliği ve gerekse de saha ölçeğindeki jeolojik – çevresel problemlere uygulama kolaylığı nedeniyle önemini korumaktadır (Lloyd, 2010). Bu yaklaşımı kullanan model yapıları genellikle metrik uzaklıklar ve kullanıcı tarafından belirlenen komşu sayıları kapsamında oldukça düzgün (smooth) sonuçlar üretmektedir. Öte yandan veriden öğrenme yoluyla istatistiksel analize dayalı deterministik yaklaşımlara gereklilik duyulmaktadır (Tutmez, 2020).

Bu tez çalışmasında gelişmiş matematiksel altyapıya sahip çizge teorisinin belirlenimci öğrenme amacıyla kullanımı amaçlanmaktadır. Bu aşamaya zemin oluşturan çalışmalar çoğunlukla matematik ve bilgisayar bilimleri alanlarında kaydedilmektedir. Çizge teorisi ve uygulaması, bağlantı noktaları (köşe) ve kenarlardan oluşan sistemlerin ayrık matematiksel analizine dayanmaktadır (Gross vd. 2018). Çizge teorisinin mühendislik uygulamaları; sistem mühendisliği (Harrison, 2016), drenaj ve sulama (Alexiou ve Tsouros, 2017), madencilğe bağlı hava kirliliği (Gautam vd. 2018), tünel ve yeraltı uygulamaları (Zhou vd. 2019) gibi pek çok alanda yapılmıştır. Çizge teorisinin

üstünlüğü komşuluğa dayalı ağırlıklandırmayı basit ve etkili değişkenliklerle ortaya koyabilmesidir (Büyükköse ve Kaya Gök, 2018).

Çizge teorisi ile organik kimyanın bileşimi ile oluşturulmuş kimyasal çizge teorisi (Chemical Graph Theory) farklılaşmış ve güçlü matematiksel temellere oturmuş bir melez (hybrid) analiz yöntemi olarak önerilmiştir (Konstantinova, 2011). Bu yöntem, farklı tip çizge ve ağaç yapılarından hareketle geliştirilmiş göstergeler (index) yardımıyla hesaplama yapmaya olanak tanımaktadır (Wagner ve Wang, 2019). Önemli moleküler çizge yaklaşımı araçlarından biri olan topolojik göstergeye bağlı ilişkiler (matrisler ve indisler) mekânsal hesaplamalara zemin oluşturabilecektir (Kaya Gök, 2019). Bu altyapıdan hareketle saha ölçeğinde kestirimlere olanak verecek bir tahmin edici (smoother) topolojik göstergeye dayalı olarak, tez çalışmasıyla bağlantılı olarak önerilmiştir (Duman ve Tutmez, 2020).



3. MATEMATİKSEL – İSTATİSTİKSEL ALTYAPI

Veri analizi çalışmalarında ilk aşamayı veri toplama işlemi oluşturur. Özellikle ilgilenilen sistemin tanınması ve fiziksel yapısının ortaya konulması, nitelikli veri sağlanmasıyla mümkün olabilmektedir. Veriler birçok bilimsel disiplinde laboratuvar ölçeğinde elde edilirken, madencilik gibi disiplinlerde sahadan elde edilen ölçüm ve bilgiler de önemli veri kaynaklarıdır. Veri sayısına ve uygulama yapısına bağlı olarak üretilmiş (benzetim) verileri de modelleme amaçlı çalışmalarda kullanılmaktadır.

Örnekleme, veri analizi çalışmaları öncesinde yararlanılan temel istatistiksel araçlardan biridir. Veri değişkenliği, histogramı ve koşullandırılmasının gerçekleştirilmesi temel hazırlık aşamaları olarak tanımlanabilir. Verinin görselleştirilmesi bir, iki ve üç boyutlu olarak yapılabilir. Aynı zamanda, değişkenliği (varyans, çarpıklık gibi) ve merkeze yığılmayı tanımlayacak (ortalama, medyan gibi) ölçülerin hesaplanması gereklidir. Bu çalışmaların ardından parametreler arasındaki ilişkilerin belirlenmesi korelasyon ve kovaryans gibi ölçütler kullanılarak yapılır.

3.1. Uzaklığa Dayalı Belirlenimci (Deterministic) Veri Analizi

Yerbilimlerinde ilgilenilen veriler matematiksel – istatistiksel açıdan iki biçimde değerlendirilebilir. Bunlar:

- Belirlenimci (deterministic) ve görgül (empirical) kestiriciler kullanarak çözüm üreten yaklaşım.
- Jeostatistiksel analiz ve haritalama yapan yaklaşımdır.

Belirlenimci yöntemlerin uzaklığa bağlı ilişki gösteren veri analizinde kullanımı büyük yaygınlık göstermektedir. Özellikle poligon (Voronoi), komşuluğa dayalı $k - NN$ ve mesafenin tersine bağlı ağırlıklandırma gibi (ISDW) yöntemlerden bu amaçla yararlanılır. Belirlenimci analizde, hesaplama yöntemleri karmaşık olmayıp genelleştirmeye uygundur.

Mekânsal (spatial) enterpolasyon, yerbilimleri başta olmak üzere farklı bilimsel disiplinlerde saha ölçeğinde çözüm üretmek amacıyla kullanılmaktadır. Az sayıda

parametre ile hesaplama yapılabilmesi yöntemin temel üstünlüğüdür. Öte yandan belirlenimci analiz, uzaklığa bağlı ilişkileri ve bağımlılıkları kullanmaz ve sınırlandırılmış bir çerçevede (belirlenimci ilişki boyutunda) doğrusal çözüm üretir. Özellikle örneklenmiş noktalardan hareketle örneklenmemiş noktaların tenör ve benzeri kalite özelliklerinin belirlenmesi ağırlıklandırmaya dayalı bir matematiksel altyapı ile gerçekleştirilir.

Saha ölçeğinde enterpolasyon işlemlerinde veriler arasındaki uzaklığın belirlenmesi önem taşır. Bu amaçla metrik hesaplamalardan yararlanılır. (3.1) eşitliğinde, sahadaki ölçüm noktaları arasında mesafe Minkowski uzaklığının özel bir durumu olan Öklid uzaklığı ile hesaplanmaktadır.

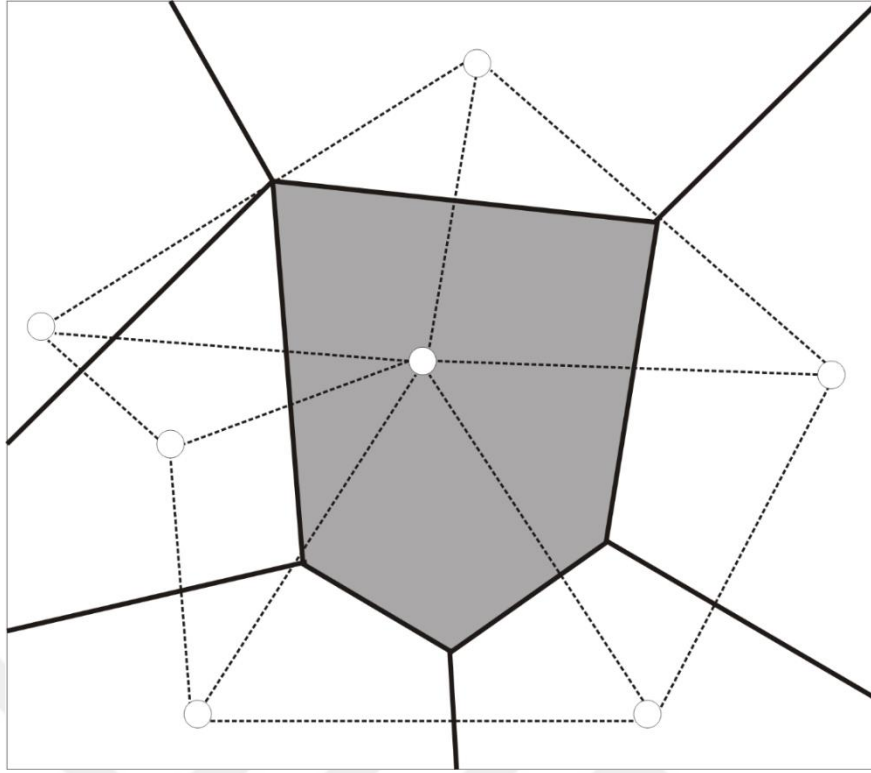
$$d(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^m (x_i - y_i)^2} \quad (3.1)$$

3.1.1. Üçgen ve poligon yöntemi

İncelenen bir sahada lokasyonlar arasında doğrusal hatlar çizilerek elde edilen bir sistem üçgenler biçiminde alanlardan oluşturulabilir. Üçgenleme (Triangulation) özellikle coğrafi bilgi sistemlerinde ve topolojik bilgilerin değerlendirmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Düzensiz üçgen ağı (TIN) olarak tanımlanan yapısal ağlar, Delaunay üçgenlemesi olarak tanımlanmakta olup burada noktalar arasındaki uzaklıklar çeşitli enterpolasyon seviyeleriyle ifade edilmektedir.

Poligon yönteminde her bir ölçüm noktası, bu nokta ile etrafındaki noktalar arasındaki doğrusal hattın ortasından geçen bir poligon yardımıyla temsil edilir. Poligonu oluşturan kenar çizgileri, Delaunay yöntemindeki üçgenlerin kenarları ile ortada, dik olarak birleşir. Poligonlar bir araya gelerek Voronoi Mozaïği denilen sistemi meydana getirir. Poligon yerine kare gibi alanlar oluşturularak kestirim gerçekleştirildiğinde k -en yakın komşuluk yöntemi ($k - NN$) temsil edilmiş olur.

Az sayıda veri ile yapılan çalışmalarda poligon yöntemi (Parçalı Enterpolasyon) günümüzde uygulama koşulları bulabilmektedir. Şekil 3.1' de yer alan kesikli çizgiler araştırılan blok ile diğer blokların ilişkisini üçgenler yardımıyla temsil ederken sürekli çizgiler poligonun sınırlarını belirlemektedir.



Şekil 3.1 : Poligon yönteminin temsili (Davis, 2002).

3.1.2. k – NN komşuluk yöntemi

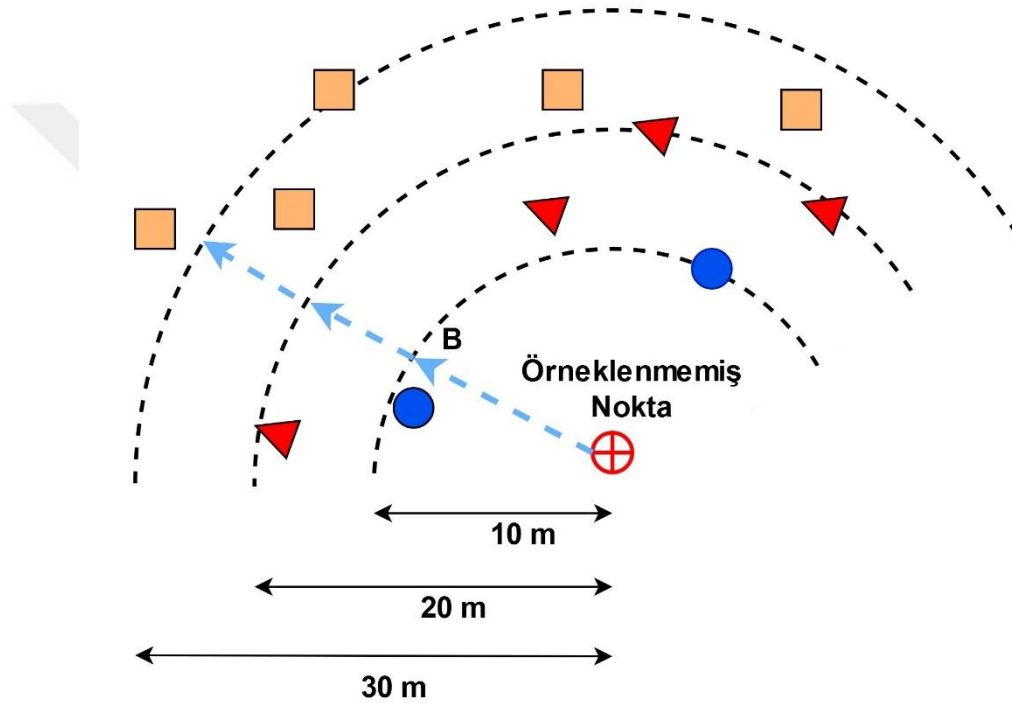
Deterministik enterpolasyon yöntemlerinden biri olan *k – en yakın komşuluk yaklaşımı* (*k – NN*), veri sürümlü (data – driven) olarak tanımlanan makine öğrenme (machine learning) yordamlarından biridir. Geçmiş çalışmalarda sabit komşuluk kullanılarak bölgesel ağırlıklandırma amacıyla ilgilenilen yöntem; çevre, ormancılık ve yerbilimleri alanlarında yapısal özelliklerin (ağaç, bitki, toprak, mineral gibi) belirlenmesinde kullanım alanı bulmuştur (Mucherino vd. 2009).

Bir kestirici olarak *k*-komşuluk yaklaşımı verinin bölgesel yoğunluğunu ortaya koyar. Regresyona dayalı olarak kestirim amacıyla yöntemin kullanımında komşu sayısı öncelikli olarak belirlenir. Daha sonra (3.1) eşitliği ile belirlenen mesafeler yakından uzağa doğru; $d_1(x)$, $d_2(x)$, ..., $d_k(x)$ şeklinde sıralanır. *k*-en yakın komşuluk yoğunluk kestirimi (3.2) eşitliği ile tanımlanmaktadır.

$$\hat{p}(x) = \frac{k}{2Nd_k(x)} \quad (3.2)$$

(3.2) eşitliğinde k , komşuluk sayısını belirtirken, N örnek sayısını tanımlar. k parametresinin dinamik olarak belirlenmesi makine öğrenme algoritmalarının güncel uygulamalarından biridir.

Şekil 3.2’ de bir noktanın komşulukları farklı uzaklık seviyelerinde ifade edilmektedir. Bu seviyeler etki uzaklığı olarak tanımlanmakta olup saha özelliklerinden ve değerler arasındaki ilişkiden hareketle seçilebilmektedir. Örneğin 10 m bant genişliğinde sadece 2 nokta etki uzaklığı içerisindeyken 20 metre yarıçapında bir alanda 6 nokta enterpolasyona dâhil olmaktadır. Bant genişliği arttığında nokta sayısı da artacaktır.



Şekil 3.2 : Farklı bant genişliklerine göre etkinlik düzeyleri.

3.1.3. Mesafenin tersine bağlı ağırlıklandırma (ISDW)

Mesafeye bağlı olarak ağırlıklandırma, ağırlıklı ortalama yöntemlerinden biridir. Bu yöntem, ani değişimler yerine kademeli ağırlıklandırma ile sahayı temsil etmeyi sağlar. Jeolojik olarak belirlenmiş blok boyutlarında mineralleşmenin tenör ve kalınlık gibi özellikleri uzaklık ile ters orantılı olarak hesaplamalara dâhil edilir.

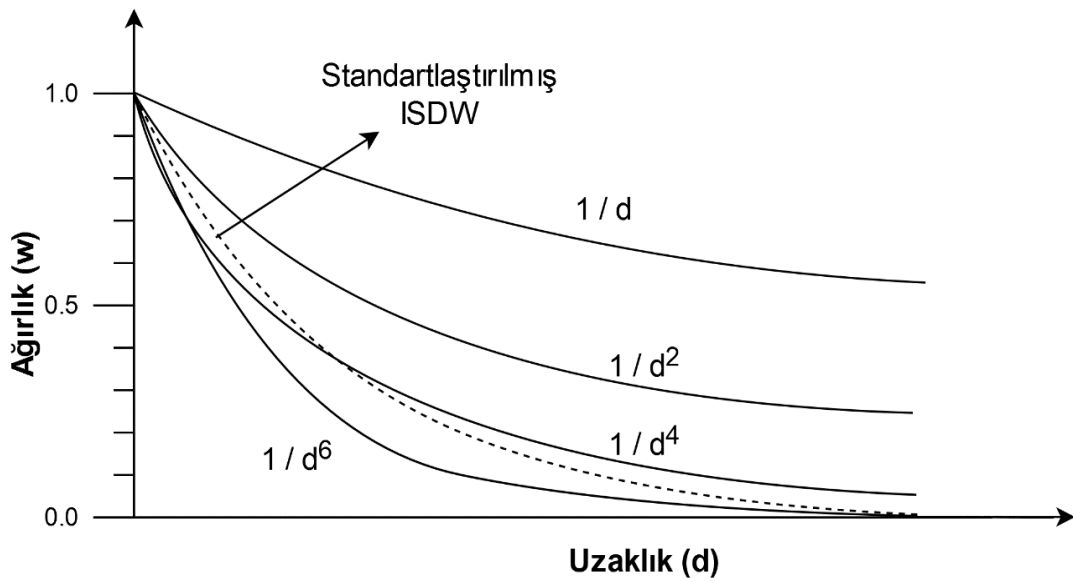
Bir sahada, hedeflenen (örneklenmemiş) bir lokasyondaki kalite değişkeni (tenör, kalınlık, kirlilik değeri gibi) çevresinde ve belirli bir komşuluk uzaklığında bulunan örneklenmiş değerlerin uzaklığa bağlı ağırlıklı ortalama ile tahmin edilmesi, mesafeye

bağı ağırlıklandırma enterpolasyonu olarak tanımlanır. Bu uygulamanın gerçekleştirilebilmesi için belirli bir bant genişliğinde mesafenin tersi (veya tersinin üssü) alınarak ağırlık vektörü oluşturulması gerekir. Ağırlıklar, komşu noktaların referans noktasına etkisini temsil etmektedir. Aşağıdaki eşitlikte ağırlıklı ortalama yardımıyla blokların değerlendirilmesi yapılmaktadır.

$$z^* = \frac{\sum_{i=1}^N w_i \cdot z_i}{\sum_{i=1}^N w_i} \quad (3.3)$$

(3.3) eşitliğinde z_i komşuluğa sahip etki uzaklığı kapsamında ölçüm noktasının değerini, w_i uzaklığa bağlı ağırlıklandırmaya karşılık gelir, z^* bilinmeyen noktayı ve n kullanıcı tarafından seçilen noktayı ifade etmektedir.

Şekil 3.3' de ağırlıklandırmanın derecesi 1,2,3 gibi üstel değerlerle ifade edilmektedir. $1/d$ ağırlıklandırması mesafeye bağlı olarak önemli bir değişim göstermemektedir. $1/d^6$ ağırlıklandırmasında kısa mesafelerde büyük değişim kaydedildiği görülmektedir. Öte yandan, doğada maden ve benzeri kaynakların yerleşiminde çok kısa mesafelerde çok büyük yapısal değişimler (fay ve saçınımlı yatak özel durum olarak sayılabilir) gözlemlenmez. Taylor yaklaşımından hareketle, $1/d^2$ ağırlıklandırması (mesafenin karesine dayalı ağırlıklandırma) yaygın olarak kullanılmaktadır (Şen, 2009). Elde edilen ağırlıklandırma (3.3) eşitliğinde w_i değeri olarak kullanılır.



Şekil 3.3 : Ağırlıkların mesafeye bağlı değişimi (Davis, 2002' dan düzenlenerek alınmıştır).

Örneklenmemiş noktadan çok uzakta olan ölçülmüş değerlere daha küçük ağırlıklar, yakın olan ölçümlere daha büyük ağırlıklar atanır. Bant genişliği, arama yarıçapına (search radius) karşılık gelen etki bölgesini tanımlamaktadır. Nitekim yerbilimleri açısından bakıldığında da yakın olan sondaj ve jeofizik gibi ölçüm sonuçlarının birbirine daha çok, uzak olan ölçüm sonuçlarının birbirine daha az benzemesi beklenir.

3.2. Jeostatistiksel Uzaklığa Bağlı İlişki

Varyans, ölçüm değerlerinin beklenen değerden farklılaşmasını ifade eder. Saha ölçeğinde mekânsal farklılaşma varyanstan hareketle kovaryans veya variogram fonksiyonlarıyla ortaya konulabilir (Webster ve Oliver, 2007). Jeostatistiksel kestirim ve benzetim işlemlerine zemin oluşturan uzaklığa bağımlılık (spatial dependence) ölçümünde variogram fonksiyonlarından yaygın olarak yararlanmaktadır.

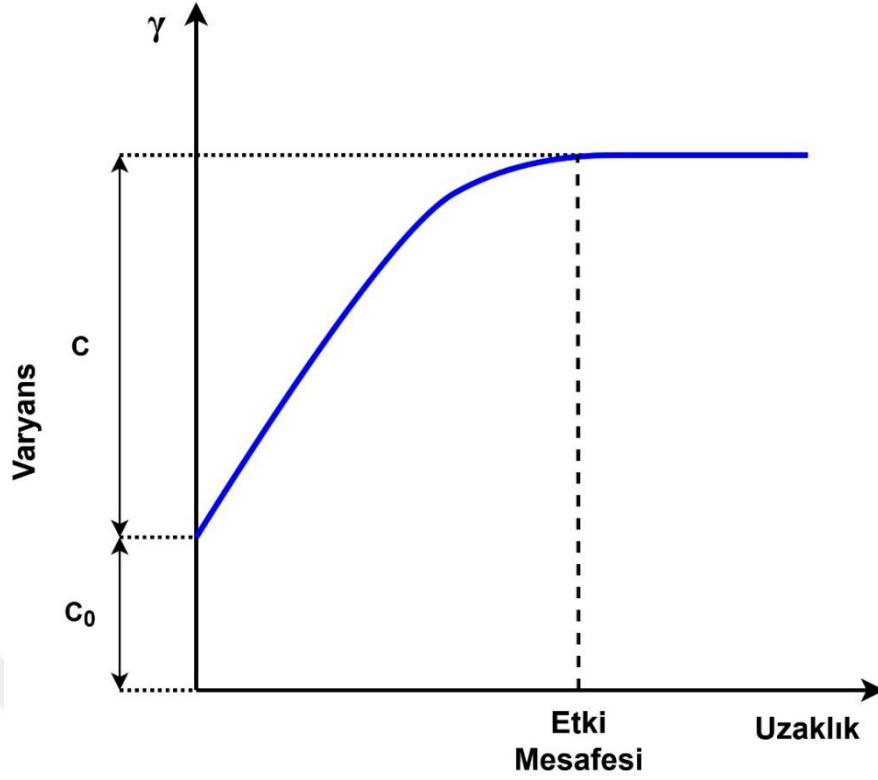
İncelenen sahada bir noktada ölçülen kalite değeri (tenör, kalınlık, yeraltı su seviyesi gibi) $z(x)$ ile gösterilirse, bu referans noktasından h kadar uzaklıkta bulunan $z(x+h)$ noktasındaki ölçüm değeri ile oluşan farklılaşma varyans yaklaşımından hareketle aşağıdaki biçimde ifade edilebilir:

$$2\gamma(x, x + h) = 2\gamma(h) = \text{Var}[Z(x) - Z(x + h)] \quad (3.4)$$

(3.4) eşitliğinde 2γ variogram parametresini göstermektedir. Bu değerdeki artış farklılaşmanın artacağını, sabit kalma ise değişkenliğin ortadan kalktığını ifade eder. Variogram fonksiyonunun genelleştirilmiş ifadesi aşağıdaki gibidir (Wackernagel, 2003).

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (3.5)$$

(3.5) eşitliğinde $\gamma(h)$ yarı variogram (semivariogram) değişkenini gösterirken, N değeri oluşturulan çift sayısını tanımlamaktadır. Teorik variogram analizinde belirleyici parametrelerden biri etki uzaklığı (range) olup, uzaklığa bağlı ilişkinin sürdüğü en dış seviyeyi tanımlar. Variogram analizinde kullanılan başlıca eğri uydurma (modelleme) araçları; küresel, Gauss ve üstel fonksiyonlarıdır. Şekil 3.4, en yaygın kullanılan fonksiyon olan küresel fonksiyonun parametrelerini göstermektedir. Etki mesafesinden itibaren varyans sabit kalır ve uzaklığa bağlı ilişki ortadan kalkar.



Şekil 3.4 : Küresel variogram fonksiyonu.

3.3. Çizge Teorisi (Graph Theory)

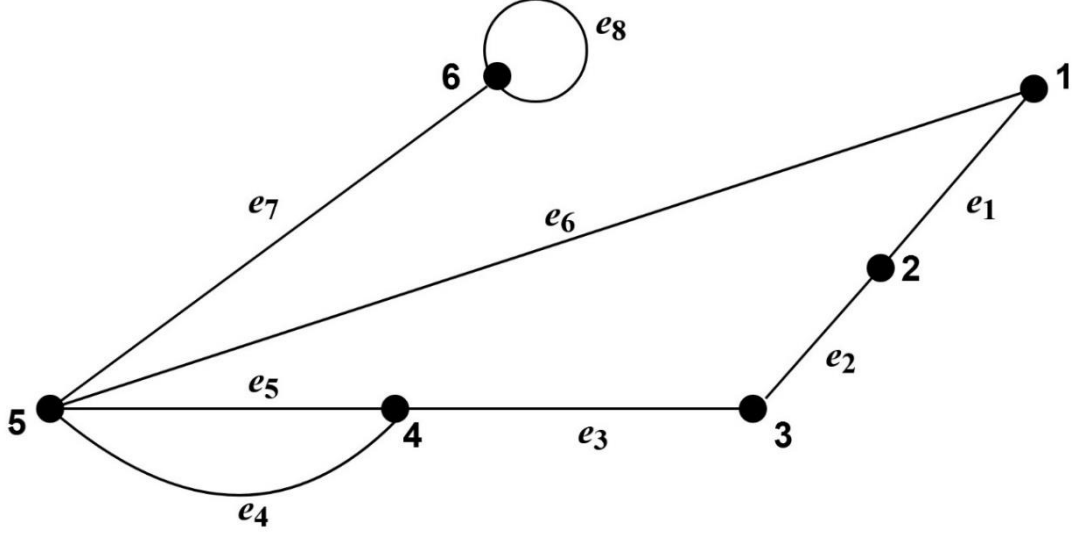
(V,E) ikili yapısı, elemanları nokta olarak belirtilen ve boş olmayan $V=\{1,2,...,n\}$ noktalar kümesi ile elemanları kenar olarak belirtilen, sonlu E kenarlar kümesinden oluşur. Bu ikilinin bir arada ifadesi çizge (graph) olarak tanımlanır ve $G=(V,E)$ veya G ile gösterilir. Çizge tanımında yer alan kenarlar kümesi E , noktalar kümesinde yer alan elemanlar kullanılarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$E = \{\{i,j\} : i,j \in V\} \quad (3.6)$$

(3.6) eşitliği ile tanımlı E ' nin elemanları e_i gösterilir. Bir çizgenin oluşturulabilmesi için ölçüm noktaları ve bu noktaları birbirine bağlayan kenarlar gereklidir. Şekil 3.4' de bir örnek çizge sistemi yer almaktadır. Bu örnek çizgede sonlu E kenarlar kümesi $E = \{e_1,e_2,e_3,e_4,e_5,e_6,e_7,e_8\}$ olup Şekil 3.5' de e_1-e_8 genel olarak kenarları tanımlarken, e_5 ve e_4 ise çoklu kenar (iki ya da daha çok kenarın aynı köşede birleşmesi durumu), e_8 ise ilmek (bir köşeyi yine kendisiyle birleştiren kenar) olarak ifade edilmektedir.

$G=(V,E)$ ile tanımlı bir çizgede, G ' nin i ve j noktaları arasında en az bir kenar mevcutsa, i ve j noktaları 'komşu' olarak tanımlanır ve $i \sim j$ ile gösterilir (Büyükköse ve Kaya Gök, 2018). Seçilen bir i noktasının komşuluğunda bulunan noktalar bir küme

oluşturur ve bu küme N_i ile gösterilir. Örneğin 1 noktasının komşuları $N_1 = \{2,5\}$ olarak ifade edilebilir.



Şekil 3.5 : Çizge gösterimi ve komşuluklar.

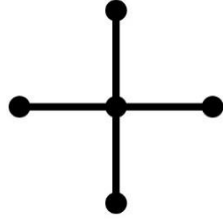
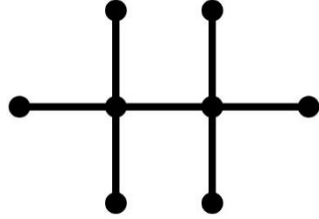
3.3.1. Çizge teorisinde topolojik gösterge

Topoloji, Yunanca yer ve uzay anlamlarına gelen topos kelimesinden türemiş olup matematiksel analizin önemli dallarından biridir. Yer bilimleri mekânsal analize dayalı olup buradaki yer ve uzay kavramı da gerçek anlamda sahada uzaklığa bağlı ilişkiye karşılık düşmektedir ve bu ilişkinin değerlendirilmesi önem taşımaktadır (Dale ve Fortin, 2010).

Ayrık matematikte, çizge teorisi önemli bir yere sahiptir. Kimyasal yapıların sayısal olarak karakterize edilebilmesi için çizge teorisi birçok araç sunmaktadır. Kimyasal çizge teorisinde organik yapı bileşenleri moleküler çizgelerden elde edilir. Örneğin organik kimyada kullanılan alkanlar karbon ve hidrojen atomlarından oluşur ve kimyasal çizge yaklaşımı yardımıyla atom ve molekül grupları arasındaki ilişkiler karakterize edilebilir (Fortin vd. 2012).

3.3.2. Kimyasal çizge yaklaşımı

Moleküler çizge teorisi özel olarak organik kimyanın matematik yardımıyla hesaplamalı bilimlere uyumlu hale getirilmesiyle elde edilmiştir. Şekil 3.6' da metan ve etan kimyasal yapısı kullanılarak elde edilen çizgeler verilmektedir (Cangül, 2017).

Moleküler Yapı		Çizge Yapısı	
Metan	CH ₄	$ \begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H} - \text{C} - \text{H} \\ \\ \text{H} \end{array} $	
Etan	C ₂ H ₆	$ \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{H} - \text{C} - \text{C} - \text{H} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array} $	

Şekil 3.6 : Moleküler yapıların çizgesel gösterimi.

Matematiksel araçlara dayalı olan birçok moleküler topolojik gösterge önerilmiştir. Bu göstergeler arasında Kirchoff, Wiener, Zagreb, Balaban göstergeleri önemli kullanım alanı bulmuştur (Gao vd. 2016). Bu göstergelerin tamamı, vektörel ilişkiler ve matris yapılarını kullanır. Bu göstergeler içerisinde topolojiye dayalı gösterge (topological index) gerek coğrafi yapıyı anlamlandırmada ve gerekse de uygulama esnekliği olduğunda bu tez çalışmasında yer verilmiştir.

Çizge teorisinde moleküler çizgelerin yapıları komşuluk ve uzaklık matrisleri ile ifade edilir. Bir komşuluk matrisi $A(G)$ atomik bağlantıyı sağlamak üzere bir organik molekülle bağlantılıdır. Komşuluğa dayalı olarak oluşturulan çizelge, $n \times n$ boyutlarında kare matris tanımlar. Bu matrisin girdileri aşağıdaki özellikler kullanılarak belirlenir:

$$[A(G)]_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{eğer } i \neq j \text{ ve } (i,j) \in E(G) \\ 0 & \text{eğer } i = j \text{ yada } (i,j) \notin E(G) \end{cases} \quad (3.7)$$

(3.7) eşitliğinde $A(G)$ eşbiçime (isomorphism) sahip bir çizgeyi tanımlar. $A(G)$ benzer biçimde $D(G)$ uzaklık matrisi de simetrik kare matrisidir. $n \times n$ boyutlarındaki bu matrisin girdileri aşağıdaki ilişkilerle oluşturulur (Diudea 2018).

$$[D(G)]_{ij} = \begin{cases} \min l(p_{i,j}), & \text{eğer } i \neq j \\ 0 & \text{eğer } i = j \end{cases} \quad (3.8)$$

(3.8) eşitliğinde l tepe noktayı gösterirken, $p_{i,j}$ ise yörüngeyi (path) tanımlamaktadır. Köşegenler dışında kalan matris elemanları i ve j noktaları arasındaki topolojik mesafeleri gösterir (Janežič vd. 2015).

$A(G)$ ve $D(G)$ matrisleri bir determinant ile bağlantılı olup bu matrislerin toplamı $(A+D)$, bir determinant çözümü ve dolayısıyla tek değer ile ifade edilebilir (Schultz vd. 1990). Determinant değeri ölçümlerin ağırlıklandırılması için veri sunmaktadır.



4. UZAKLIĞA VE ZAMANA BAĞLI JEOİSTATİSTİKSEL ÖĞRENME

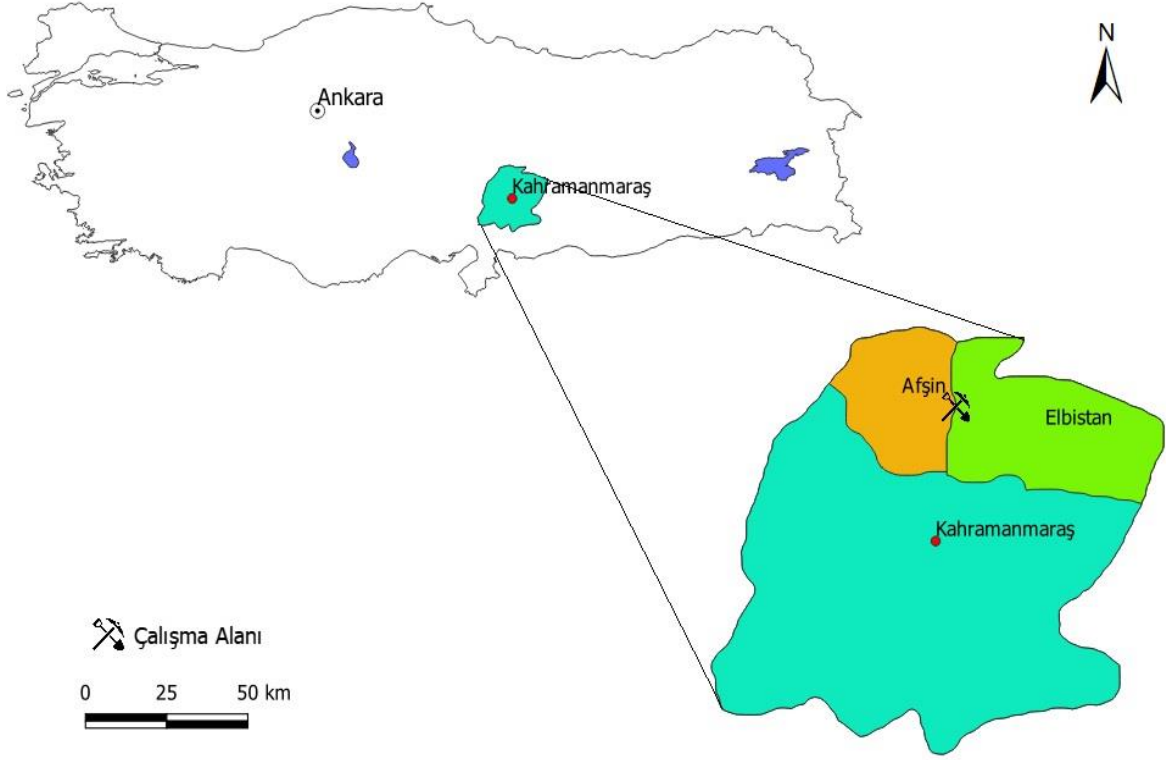
Jeolojik değişimler gerek doğal oluşum koşulları ve buna bağlı doğal değişimler ve gerekse de madencilik gibi faaliyetler nedeni ile zamana bağlı farklılaşmalar dikkate alınarak değerlendirilmelidir. Benzer biçimde bir çevresel – jeolojik sistemin araştırılması, incelenen sahanın bölgeselleşmiş değişkenlerinden bağımsız düşünülemez. Dolayısıyla yer bilimlerinde karar verme süreci zaman ve mekân değişkenleriyle bir arada düşünülmelidir.

Şekil 4.1’ de yerbulduru haritası verilen Afşin - Elbistan bölgesinde yer alan linyit işletmesi basamaklara (şev) dayalı üretim gerçekleştirilmektedir. Jeolojik yapı şev geometrisi ve yeraltı suyu duraylılık üzerinde doğrudan etkilidir. Şevlerdeki su seviyesinin düşürülmesi ve basamakların duraylılığının kontrolü amacıyla bölgede bir dizi sondaj yardımıyla jeolojik etüt yapılmış olup (EÜAŞ, 2018) drenaj sularının değişimi ve kalitesi farklı çalışmalarla incelenmiştir (Erkasap, 2012).

Bu bölgedeki yeraltı suyundaki yükselme; zaman ve konum parametreleri dikkate alınarak incelenmiştir. Böylece maden sahasındaki yeraltı suyu yükselme düzeyleri jeostatistiksel öğrenme yoluyla değerlendirilmektedir.

4.1. Bölgenin Jeolojisi ve Hidrojeolojisi

Bir birikim sahası olarak Afşin – Elbistan bölgesi maden yatakları tektonik bir çöküntü havzası üzerine yerleşmiştir. Bölgede KB–GD doğrultulu Kışlaköy ve Hurman fayları yer almaktadır (Mert ve Dağ, 2015). İşletme sahasının kuzeydoğusunda üst Kretase yaşlı formasyonlar bulunmaktadır. Sahanın tabanında kireçtaşları toplanmış olup üzerinde ise eğimli yüzeylerden kaynaklı moloz ve akarsu kaynaklı litolojik birimler yerleşmiştir. İnceleme alanında alttan üste doğru; kum ve çakıl yoğunluklu birim, taban kili, linyit tabakalanması, gri gıdya, bej gıdya ve göl kaynaklı kireçtaşları sıralanmaktadır.



Şekil 4.1 : Uygulama örnek sahası yerbulduru haritası.

Kalkerli kil ve kalkerli gidyadan oluşan göl, havzanın çökmesi sırasında oluşmuştur. Havzanın özellikle kuzeybatısında oluşan bataklık, linyitin temel maddesini oluşturmıştır. Linyitler kuvvetli diyajenez geçirmediğinden düşük kalitelidir. İnceleme alanının batısında akarsu, doğu kısmında ise çoğunlukla yamaç molozu çökelleri şeklinde Kuvaterner birimler yer almaktadır. Düzenlenmiş stratigrafik kesit Şekil 4.2 yer almaktadır (Akbulut vd. 2014).

Bölgede yeraltı suyunun birçok kaynağı bulunmaktadır. Bu kaynakların debileri farklılık göstermektedir (Gökmenoğlu ve Aslan, 2013). Bu değişim, bölgede sürekli akış gösteren çaylara, yağışlara ve tarımsal amaçlı su kullanımına bağlı olarak gelişmektedir. İşletme çevresindeki drenaj sularını hurman çayına ulaştırmak için drenaj kanalları yapılmıştır.

Hidrojeolojik açıdan, bölgede geçirimli ve geçirimsiz birimlerin yer aldığı formasyonlar bulunmaktadır. Geçirimsiz birimler olarak kömür seviyesinin üstündeki kil ve marn düzeyleri, kömür seviyesinin altındaki kil taşı ve silttaşı düzeyler sayılabilir. Geçirimli birimler, kömür seviyesi üzerindeki alüvyonlar ile kömür seviyesi altındaki

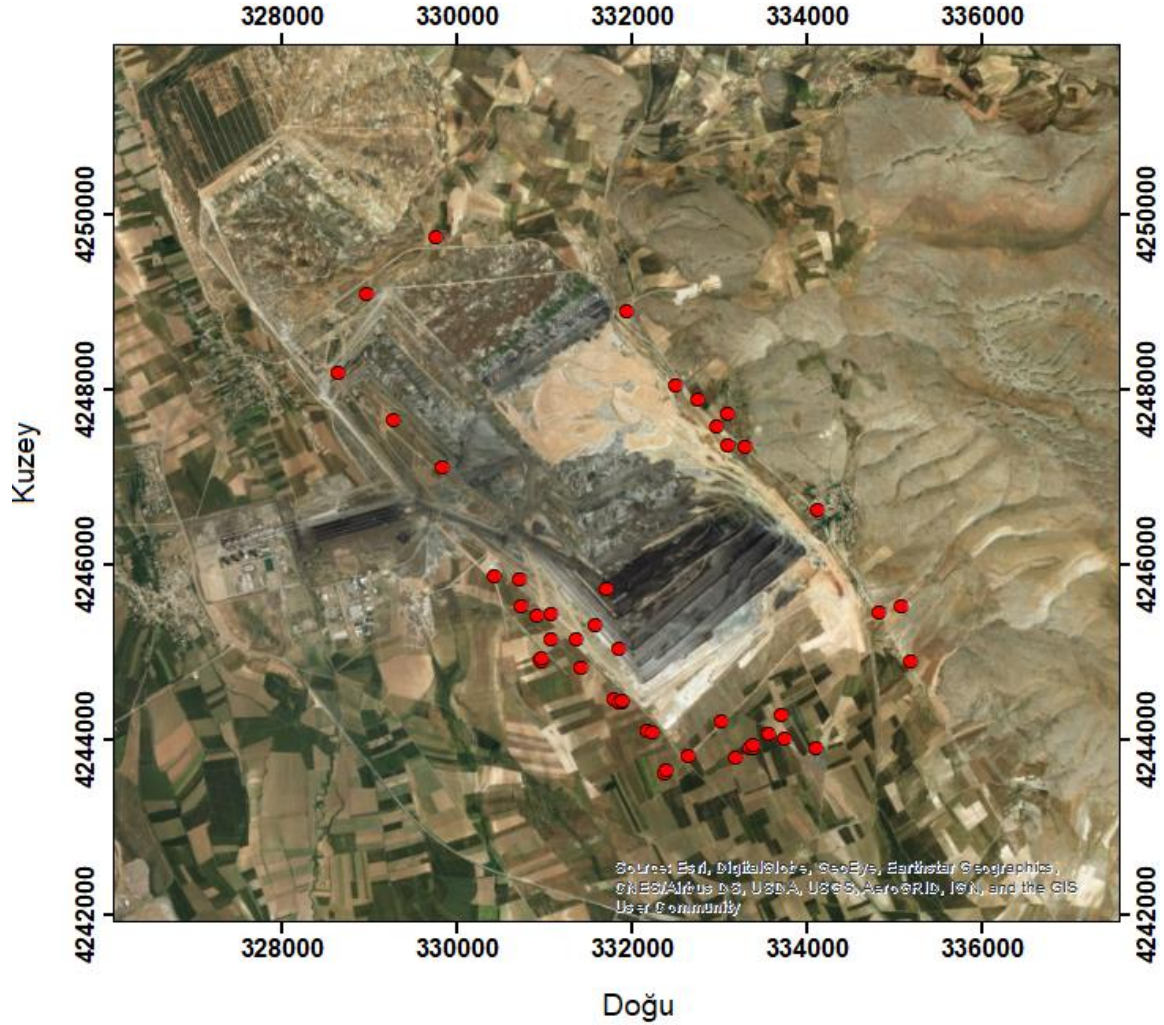
karstik kireçtaşlarıdır. Diğer seviyeler yarı geçirimli olarak tanımlanmıştır (Besbelli vd. 2009).

SİSTEM	SERİ	KALINLIK (m)	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR	ORTAM
TERSİYER	KUVATERNER	2-10		SİLTİ KURLU ÇAKIL	AKARSU
		10 - 15		LEHİM	
		3-5		AÇIK YEŞİL RENKLİ KİL	
	PLİYOSEN	3-4		KİREÇTAŞI / MAVİ KİL	GÖL
		3-5		BEJ GİDYA	
		50 - 60		GRİ GİDYA	
		50 - 110		LİNYİT HORIZONU	
		110 - 125		TURKUAZ RENKLİ KİL	
		-60		KİLLİ KURLU ÇAKIL	

Şekil 4.2 : Düzenlenmiş stratigrafik kesit (Akbulut vd. 2014' den düzenlenerek alınmıştır).

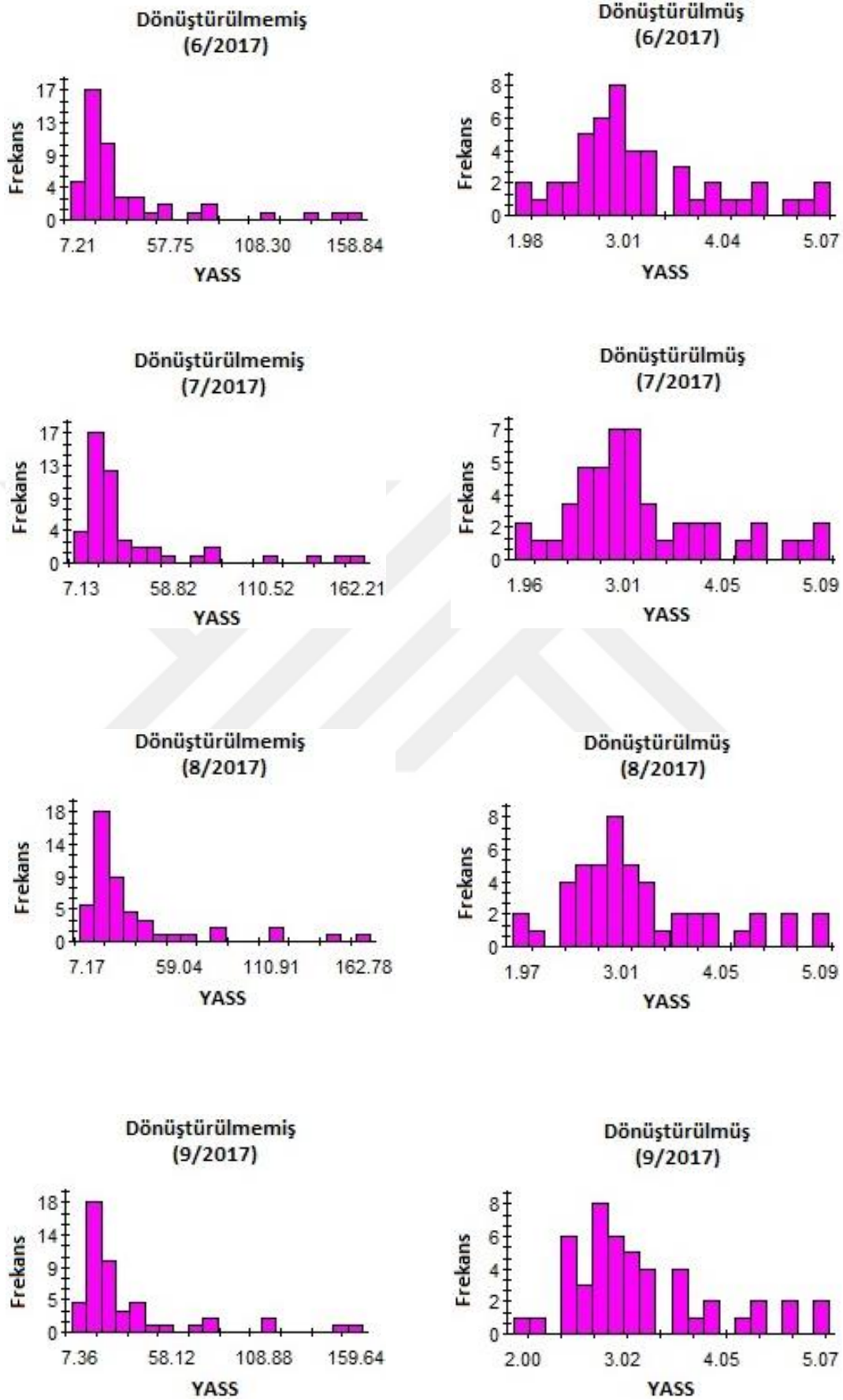
4.2. Veri Analizi

Ölçüm verileri, koordinat bilgisinin yanı sıra topografik yükseklik ve aylara bağlı yeraltı su seviyesi değişimlerinden (YASS) oluşmaktadır (EÜAŞ, 2018). Drenaj kuyularının uydu görüntüsü ESRI (2018) programı kullanılarak çizilmiştir (Şekil 4.3). Çalışmada 48 YASS sondaj ölçüm verisi kullanılmıştır.

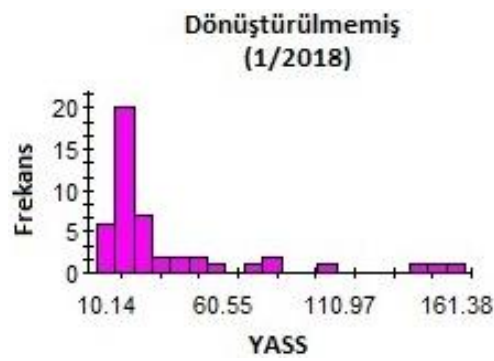
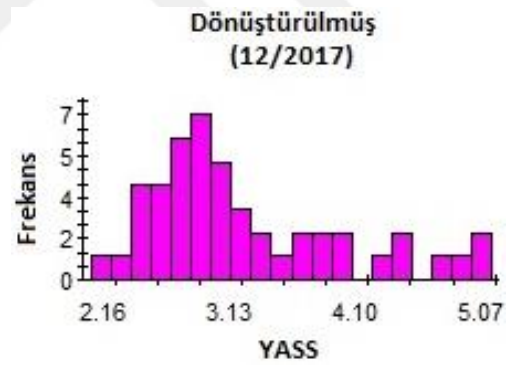
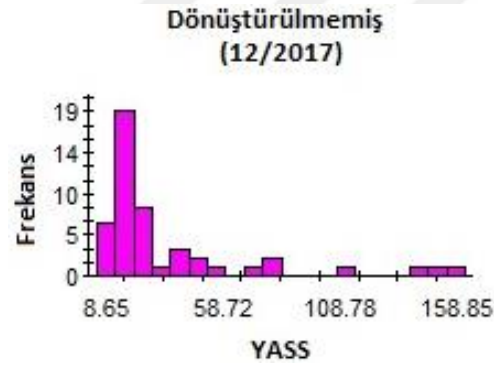
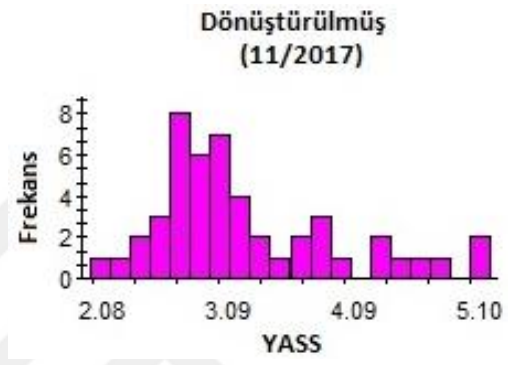
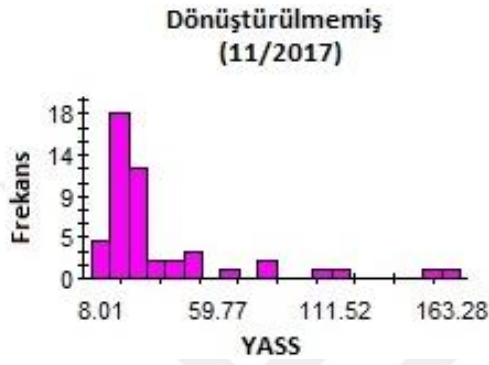
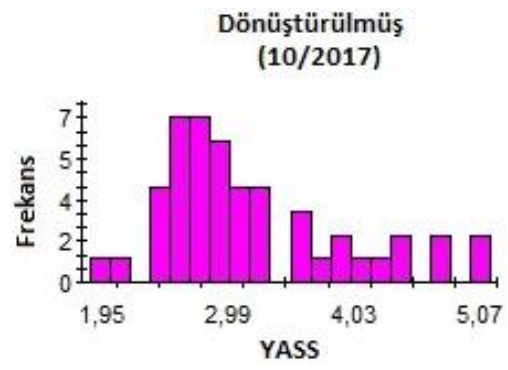
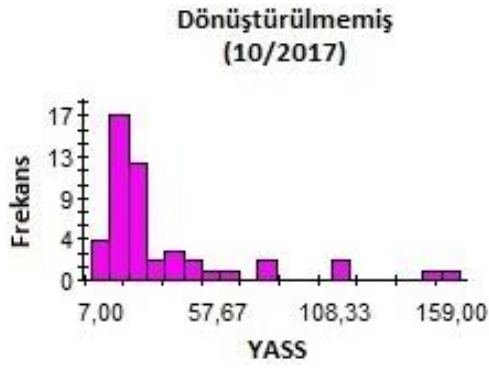


Şekil 4.3 : İncelenen drenaj kuyuları uydu görüntüsü.

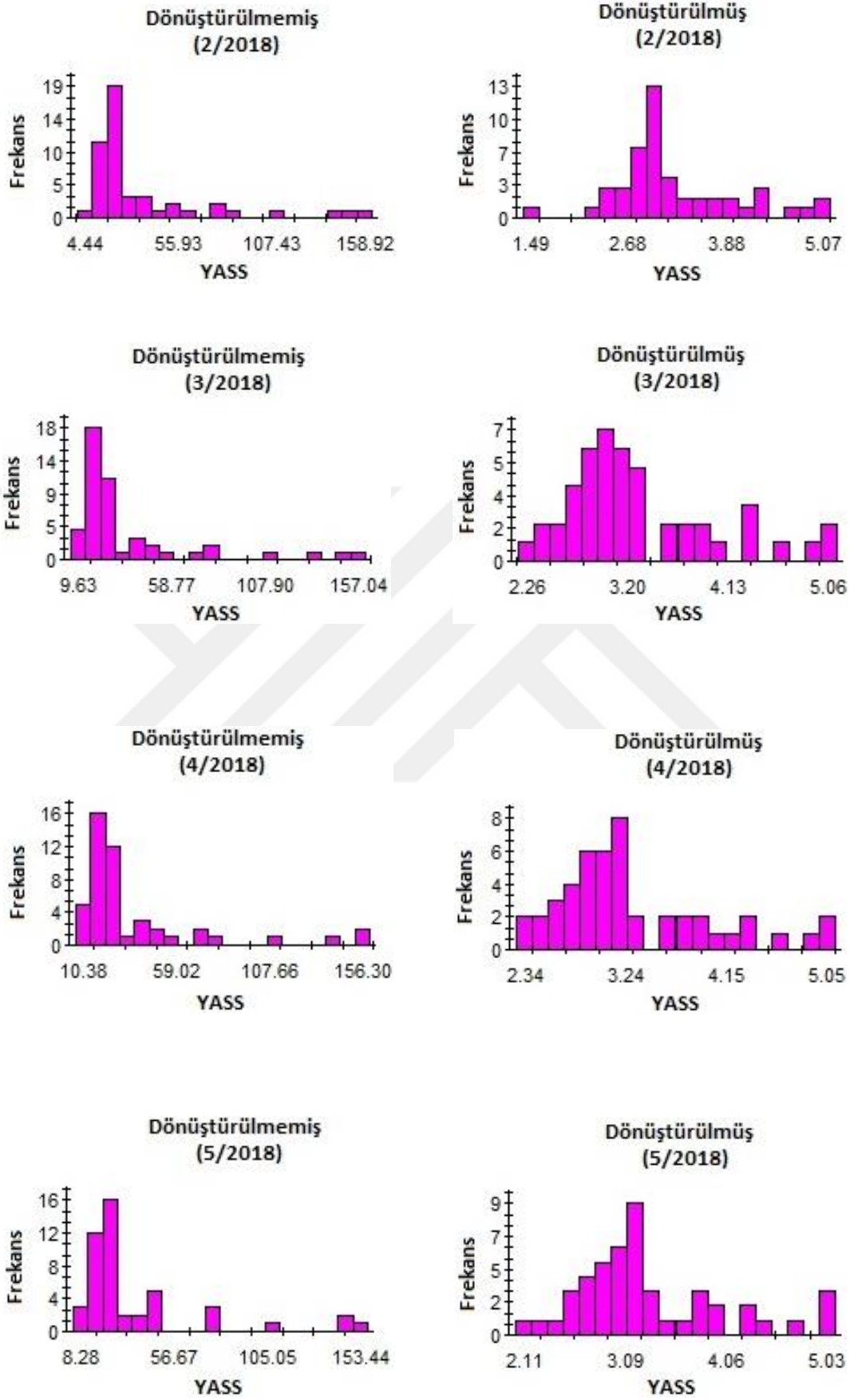
Koordinatlar ve yeraltı su seviyesi ele alınarak uzaklığa bağlı ilişki araştırılmıştır. Aylara bağlı olarak YASS değerlerindeki değişimler tam olarak normal dağılım göstermemektedir. Verideki çarpıklıklar, geniş alanda ve sistematik olmayan örneklemeyle ilgili olarak gelişmiştir. Bu nedenle veriler logaritmik dönüştürme ile yeniden düzenlenmiştir. Aylara bağlı olarak histogramlardaki değişim Şekil 4.4’ te gösterilmektedir.



Şekil 4.4 : Dönüştürülmüş su seviyeleri.



Şekil 4.4 (devam): Dönüştürülmüş su seviyeleri.

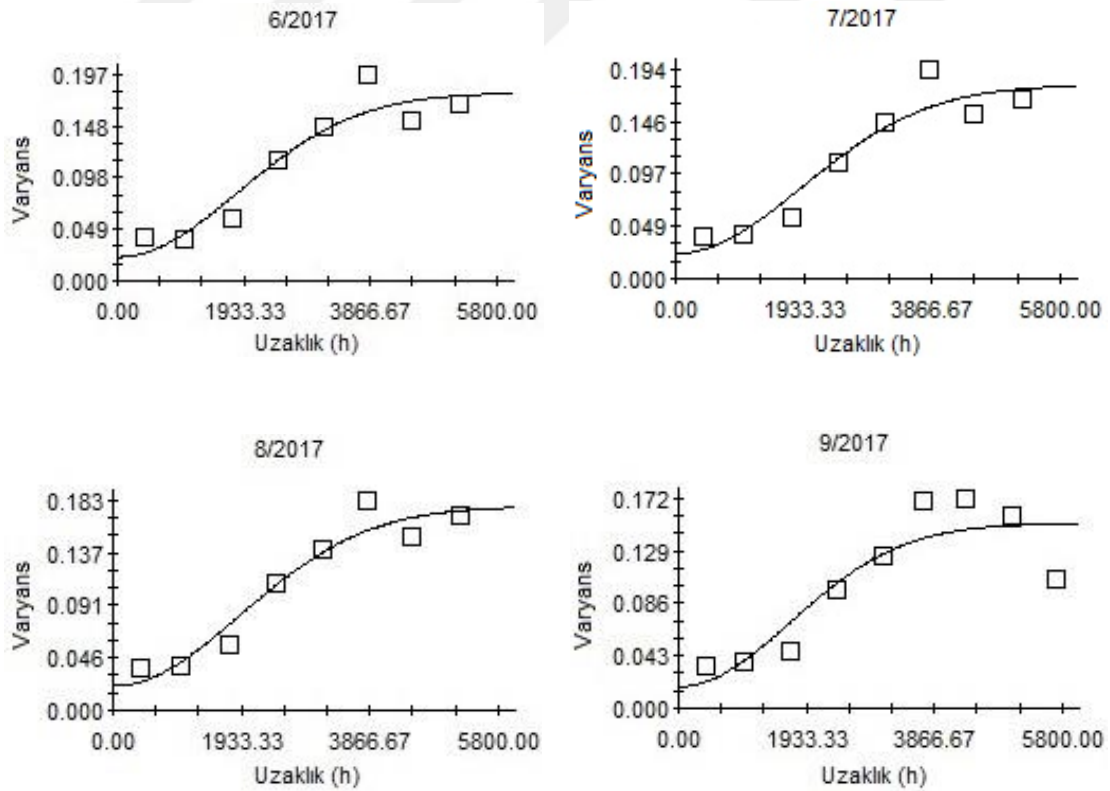


Şekil 4.4 (devam): Dönüştürülmüş su seviyeleri.

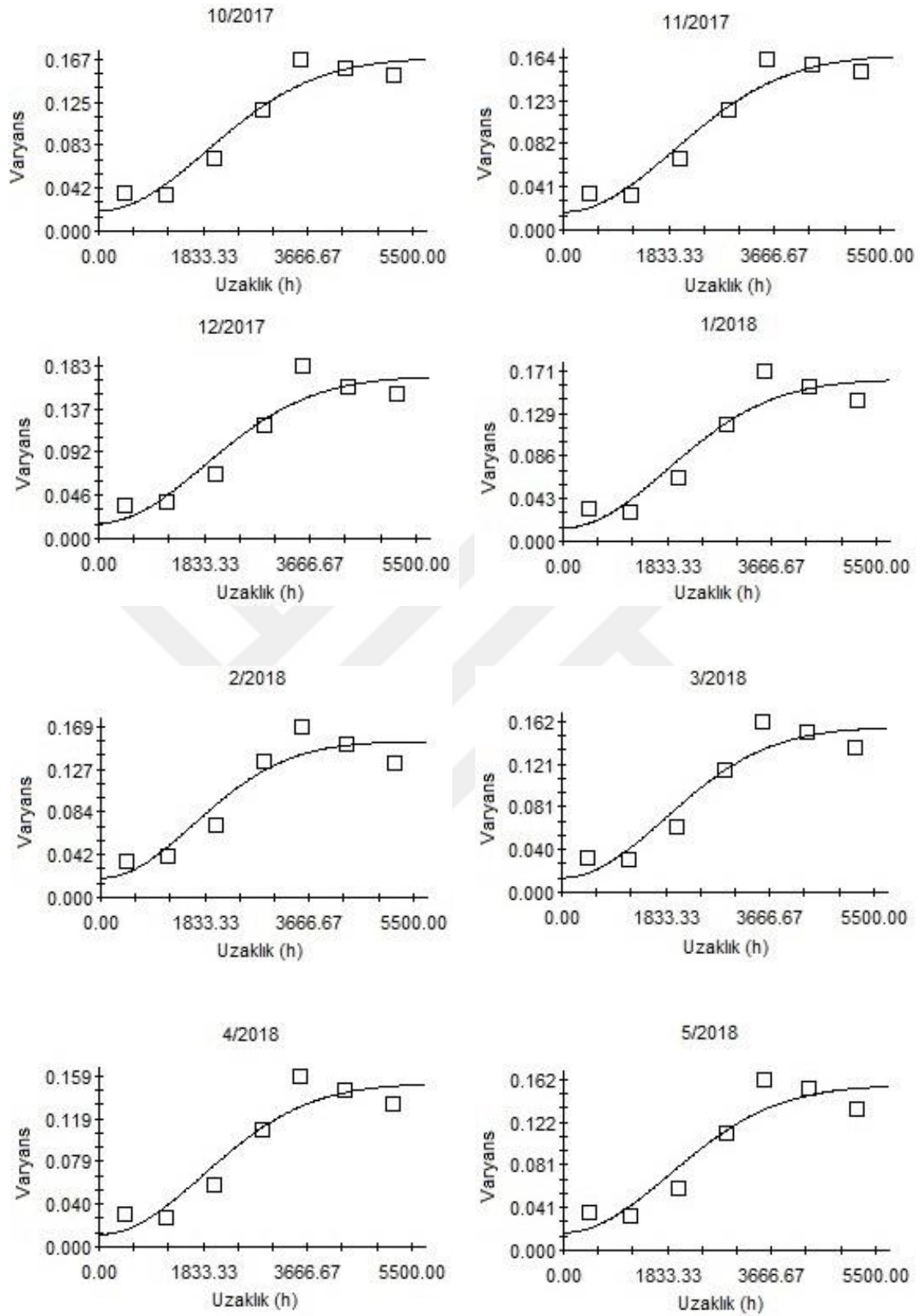
4.3. Etki Mesafelerinin Belirlenmesi

Yerbilimi, su ve çevre verileri saha ölçeğinde genellikle iki tür yapı göstermektedir. Homojen yapılanmada yakın mesafelerde büyük değişimler beklenmesine karşın bütünsel (global) ölçekte belirgin bir yapılanma izlenmez. Dolayısıyla bu yatakların kovaryans – variogram modeli dar aralıkta değişkenliğe sahiptir. Öte yandan heterojen karakter gösteren sahalarda çok kısa etki mesafelerine büyük değişim beklenmez. Bütünsel ölçekte değişkenliğin (variogram, kovaryans) fazla olması beklenen yatak ve rezervuar analizlerinde külçe etki değerinin çok büyük olmaması sıkça karşılaşılan bir durumdur (Tutmez, 2008).

İncelenen linyit sahasında basamak duraylılığını ve çalışma koşullarını doğrudan etkileyen yeraltı su gelirinin uzaklığa bağlı değişimi jeostatistiksel ölçümler ile değerlendirilmiştir. Bu amaçla 2017 – 2018 dönemine ait 12 aylık veri seti için (EÜAŞ, 2018) variogram analizleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.5, 12 aylık YASS değerlerinin koordinata bağlı değişkenliğini göstermektedir. Uygulamalarda $N = \frac{n(n-1)}{2} = 1128$ çift ölçüm kullanılmıştır. Burada n veri sayısını, N ise oluşan çift (pairs) tanımlamaktadır.



Şekil 4.5 : YASS değerleri arasındaki uzaklığa bağlı ilişkinin zamanla değişimi.



Şekil 4.5 (devam): YASS değerleri arasındaki uzaklığa bağlı ilişkinin zamanla değişimi.

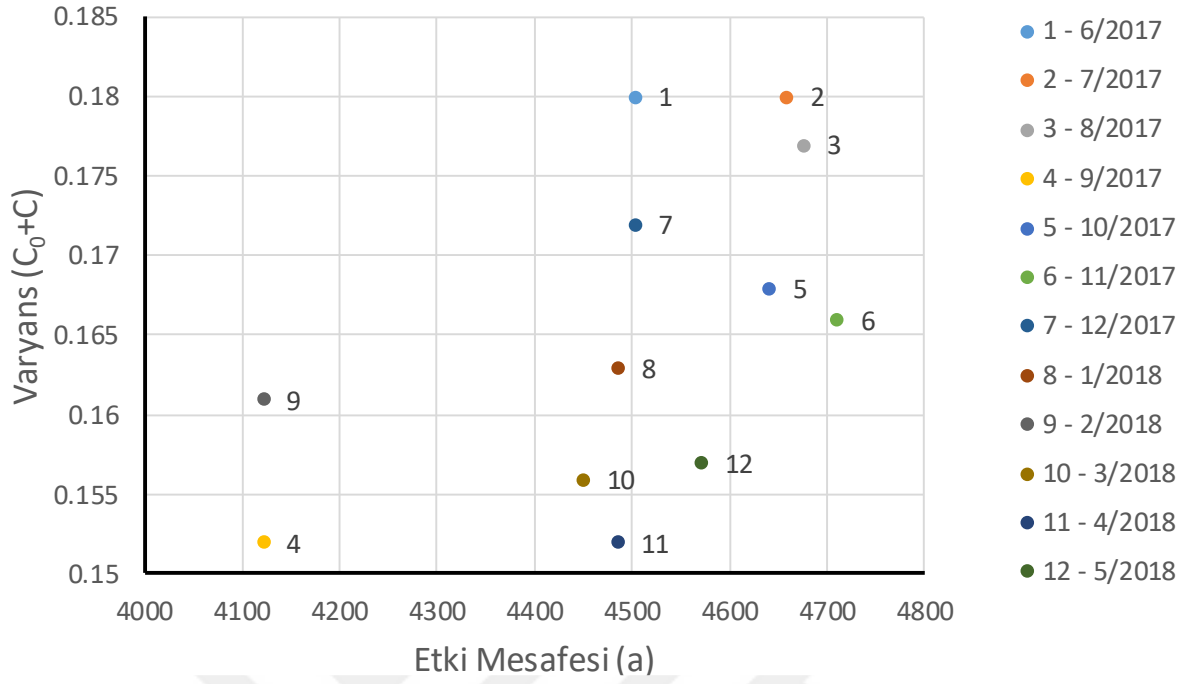
4.4. Bulgular ve Değerlendirme

Bilgisayara dayalı deneysel analizlerde, variogram modellerinin genellikle Gaussian tip fonksiyon yapısı ile başarılı biçimde modellenebildiği gözlemlenmiştir. Model yapıları incelendiğinde, jeostatistiksel yönden heterojen özellikte rezervuar yapısı kaydedilmektedir. Nitekim tüm aylarda çok düşük külçe etkisine rağmen geniş bir aralıkta değişkenlik izlenmektedir. Variogram modelleri ile elde edilen etki mesafeleri (bandwidth) Çizelge 4.1’ de özetlenmektedir. Etki uzaklıkları bölgeselleşmiş değişkenin birbiri ile ilişkili olduğu etkin mesafeyi tanımlamaktadır. Aylara bağlı olarak etki mesafesi (a) ile varyansın (C_0+C) değişimi Şekil 4.6’ da gösterilmektedir.

Çizelge 4.1 : YASS değerleri için etki mesafeleri.

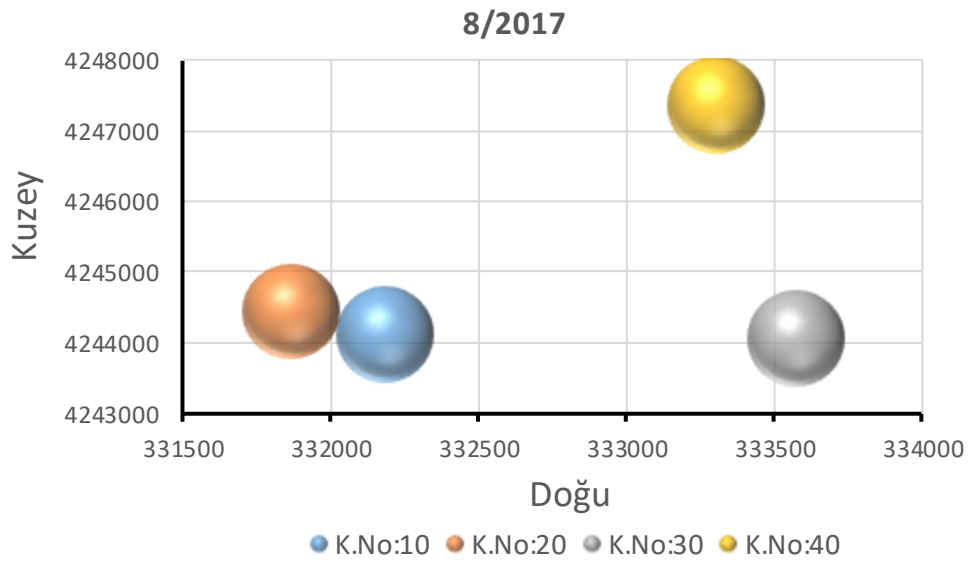
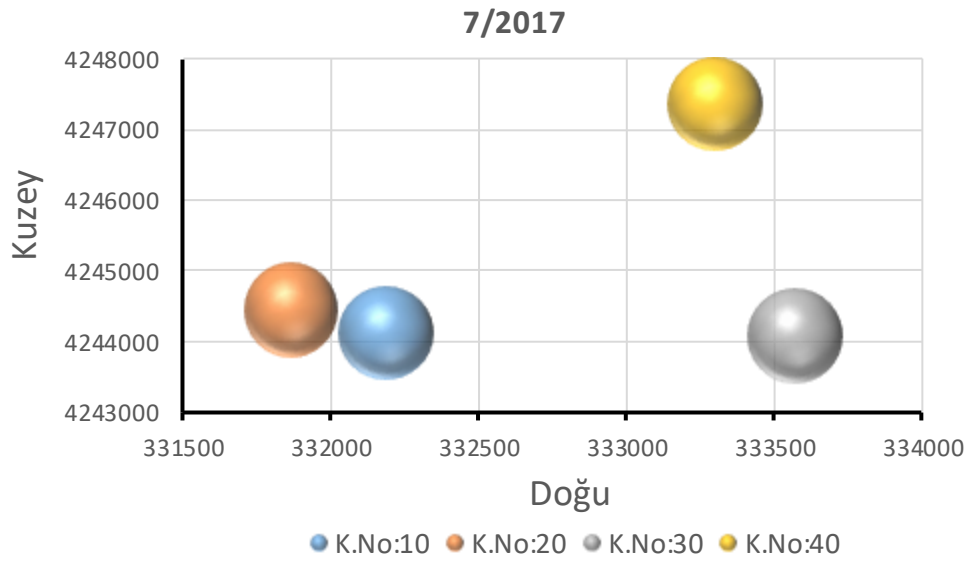
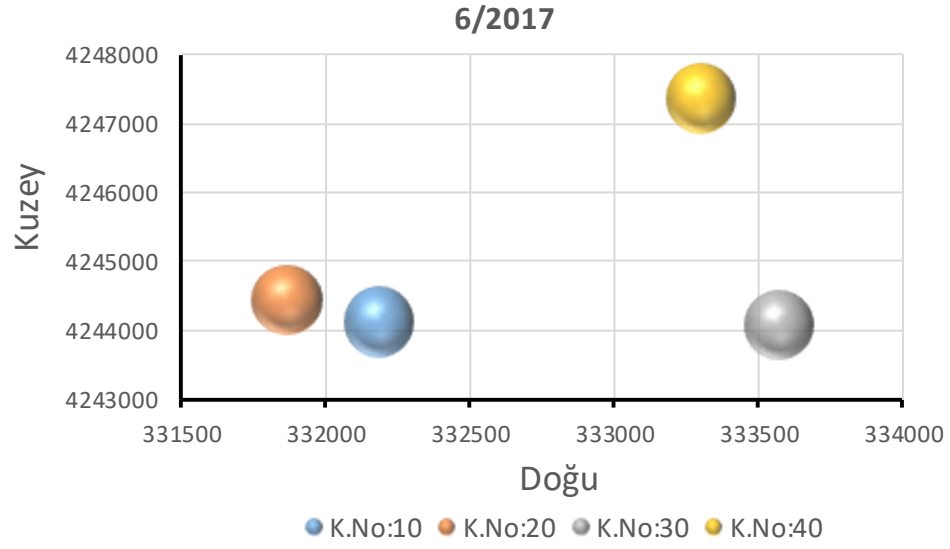
Dönem	Model	Külçe Etkisi	C_0+C	a
6/2017	Gaussian	0.023	0.180	4503
7/2017	Gaussian	0.023	0.180	4659
8/2017	Gaussian	0.021	0.177	4676
9/2017	Gaussian	0.018	0.152	4122
10/2017	Gaussian	0.020	0.168	4641
11/2017	Gaussian	0.017	0.166	4711
12/2017	Gaussian	0.017	0.172	4503
1/2018	Gaussian	0.014	0.163	4486
2/2018	Gaussian	0.022	0.161	4122
3/2018	Gaussian	0.014	0.156	4451
4/2018	Gaussian	0.012	0.152	4486
5/2018	Gaussian	0.017	0.157	4572

Yıllara ve uzun döneme dayalı veriler ve istatistiksel özellikler kaydedilerek, variogram etki uzaklıkları yardımıyla zamana bağlı öğrenmenin yapılabilmesi mümkündür. Öte yandan su etkinliğine dayalı duraylılık problemleri belirli zaman kesitlerindeki ani değişimlerin sonucu olarak ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenle kayıt ve görüntüleme çalışmalarının kısa süreler için yapılma zorunluluğu bulunmaktadır.

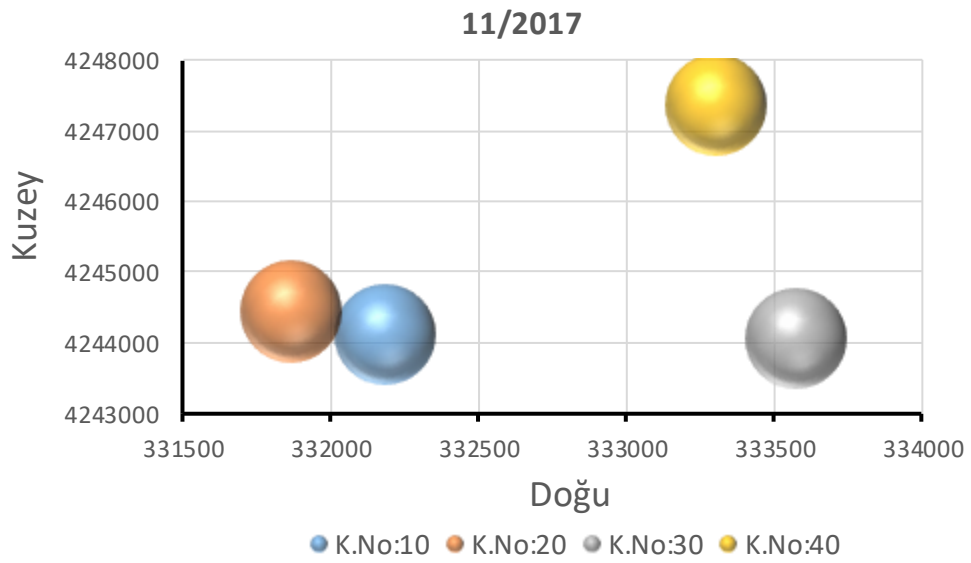
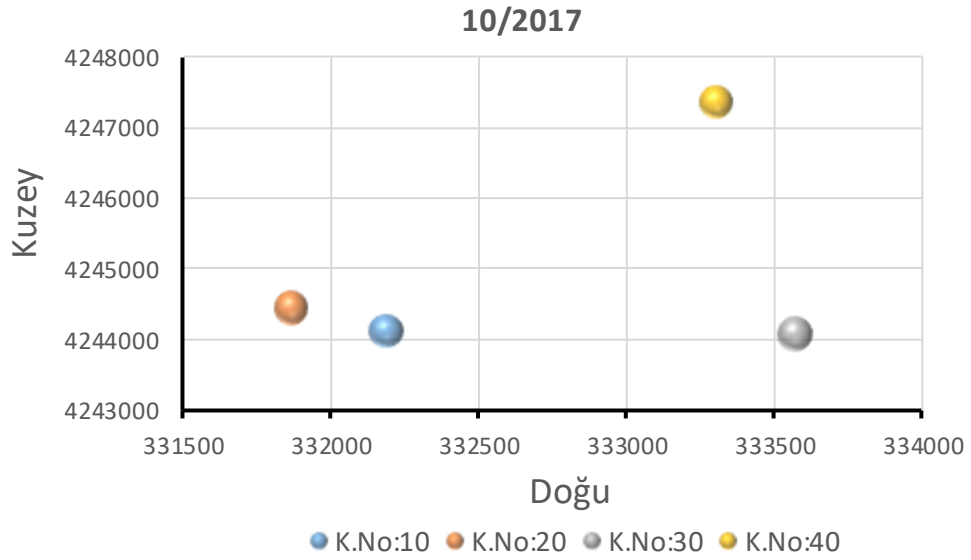
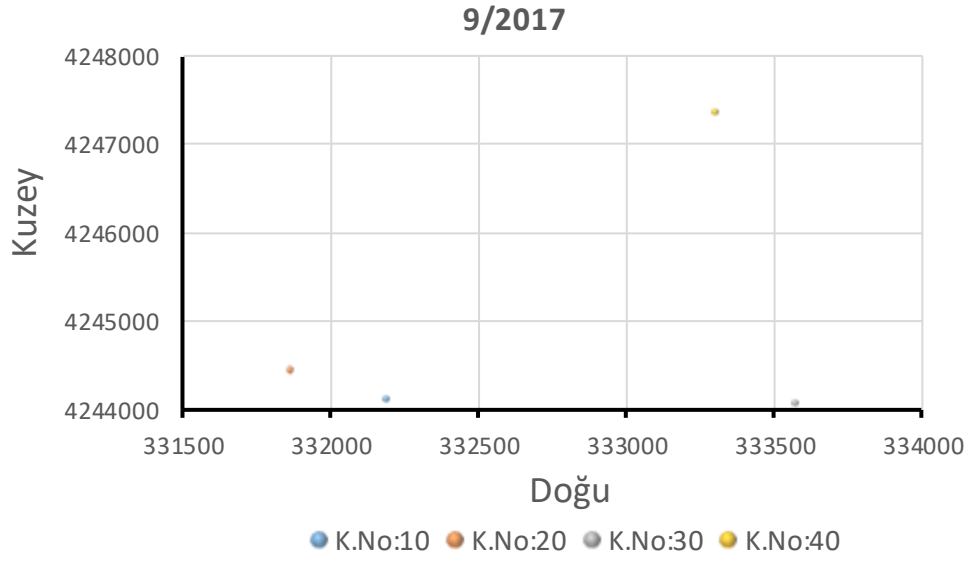


Şekil 4.6 : Aylara göre etki uzaklığı – varyans ilişkisi.

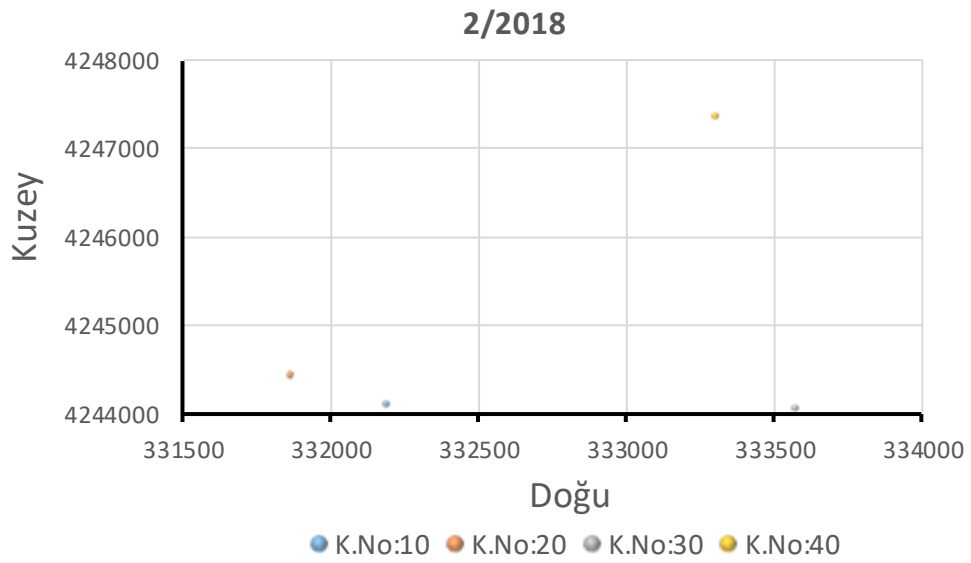
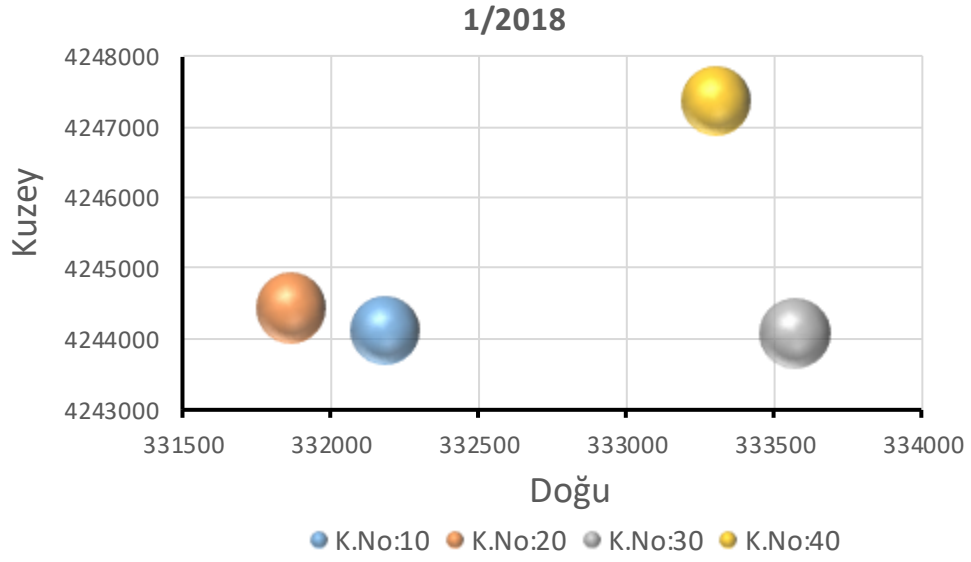
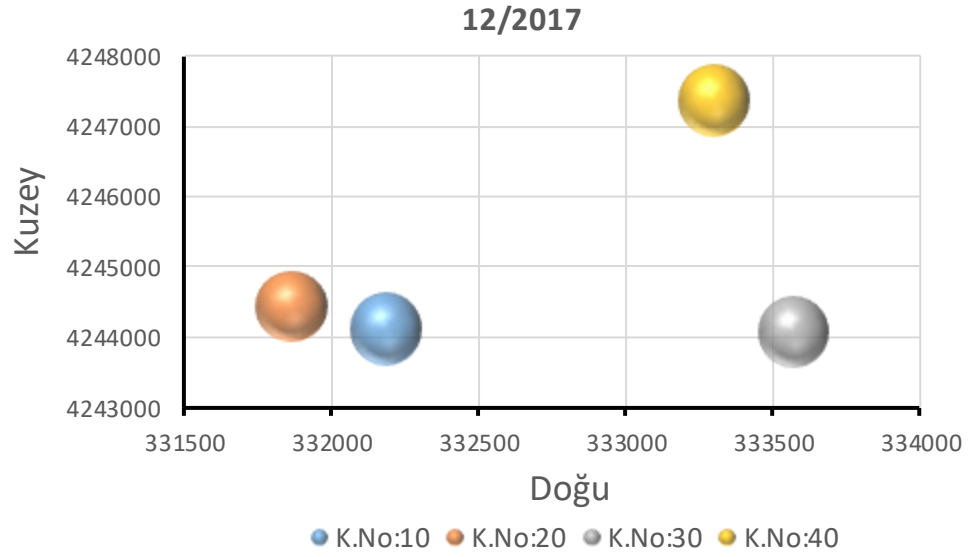
12 aylık değişimi analiz ederek kuyu etkinliklerinin haritalamayı amaçlayan bu çalışmada 48 kuyunun etkili olduğu dilimlerin (zone) belirlenmesi, sahaya yönelik risk değerlendirmesi ve haritalama yapılması olanağı vermektedir. Tabakalı olarak seçilen 10, 20, 30, 40 nolu kuyuların etki uzaklıklarının yüzdelik ölçekte standartlaştırılmış değerlerinin sahadaki değişimlerini gösteren haritalar Şekil 4.7’ de ortaya konulmuştur.



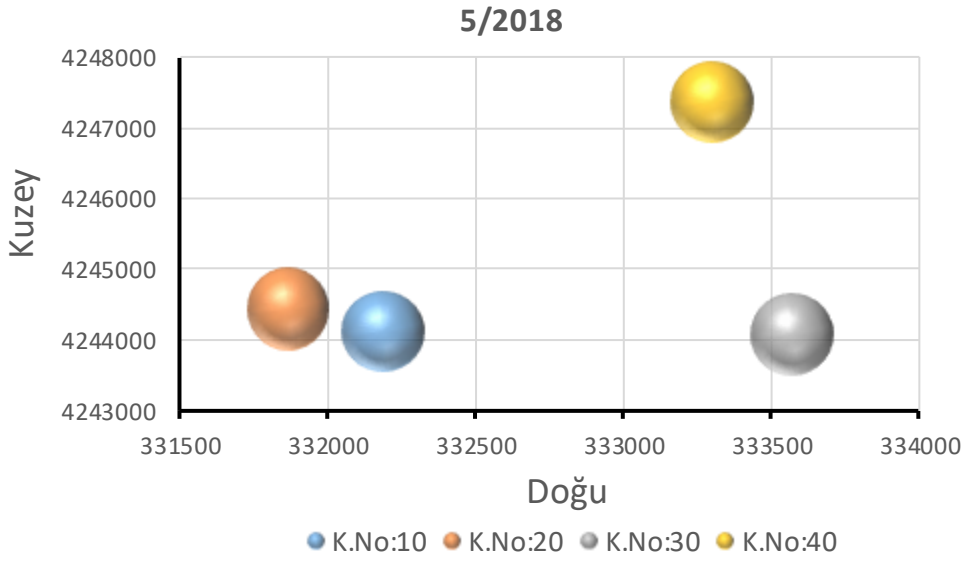
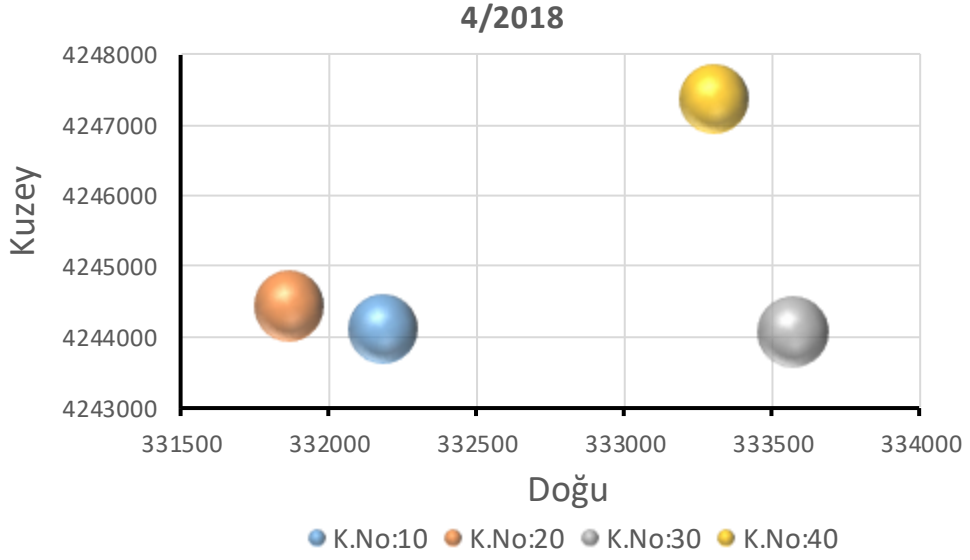
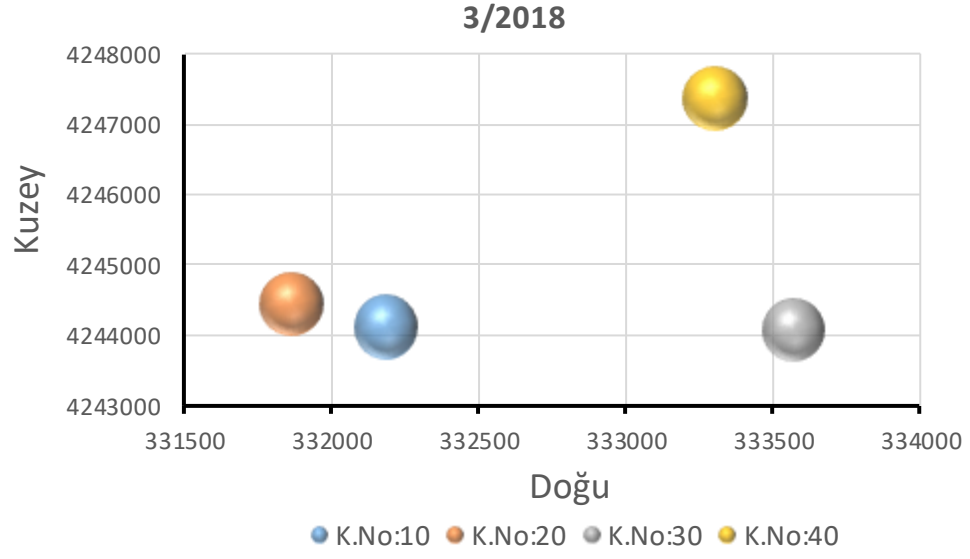
Şekil 4.7 : Örnek kuyuların etki uzaklıklarındaki zamana bağlı değişim.



Şekil 4.7 (devam): Örnek kuyuların etki uzaklıklarındaki zamana bağlı değişim.



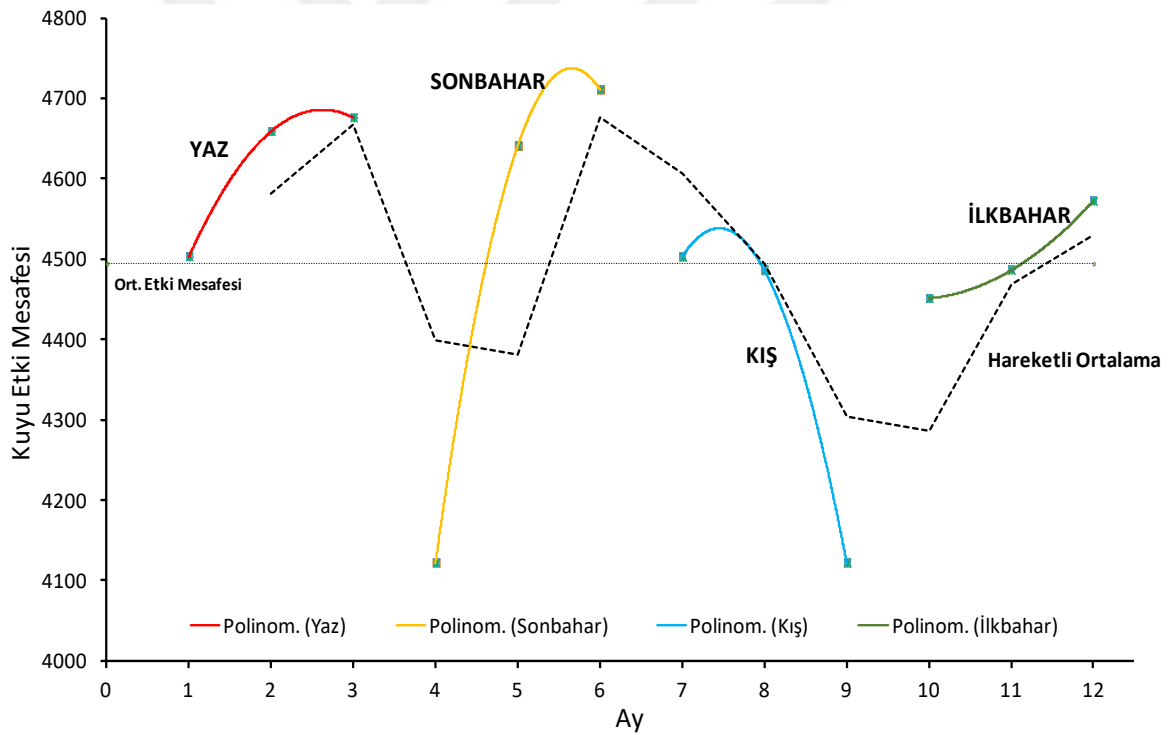
Şekil 4.7 (devam): Örnek kuyuların etki uzaklıklarındaki zamana bağlı değişim.



Şekil 4.7 (devam): Örnek kuyuların etki uzaklıklarındaki zamana bağlı değişim.

Geçmiş çalışmalar mevsimsel etkilerin yıllara dayalı sürelerde etkili olabildiğini göstermektedir (Gökmenoğlu, 2019). Mevsimsel etki Şekil 4.8’ de gösterilmiştir. Variogram modellerinin etki uzaklıkları özellikle yaz aylarında daha büyük olurken kış aylarında düşük seviyede gerçekleşmektedir. İlkbaharda mevsim yağışlarına ek olarak karların erimesi de gerçekleşmektedir. Nitekim yaz ayları YASS’ nin en yüksek düzeye ulaşması beklenen dönem olacağı öngörülebilir. Tersî düşünöldüğünde YASS’ nin mevsimsel artışa en az eğilimli olduğu dönem yazî takip eden yaz – sonbahar geçişidir. Buradan hareketle, farklı ölçüm noktalarının (kuyu) etki düzeylerinin mevsimsel YASS ile ilişkili olduğu değeriendirilebilir.

Şekil 4.8’ de yer alan hareketli ortalama, tüm yılın farklı mevsimlerinin bir dizi ortalaması alınarak oluşturulmuştur. Bu yolla, süreklilik içinde farklı mevsimlerin ortalamasına ait bilgiye ulaşılabilmiştir.



Şekil 4.8 : Etki mesafesinin mevsimlere göre değişimi.

Öte yandan aylık değişimlerin gösterdiği farklılaşma kısa ve orta süreli değerlendirmelerin önemini ortaya koymaktadır. Burada haritalamaya konu olan kuyu etkinliklerinin ve YASS değerlerindeki değişimlerin, örneklemelerin yapıldığı bölge özellikleri (karstik, yamaç molozu gibi parametreler) yanında özellikle mevsimsel su hareketliliği (bahçe sulaması gibi), çay ve benzeri yerüstü suları ve yağışlara bağlı olarak bütünsel açıdan ve hidrojeolojik boyutta değerlendirilmesi gerekmektedir.

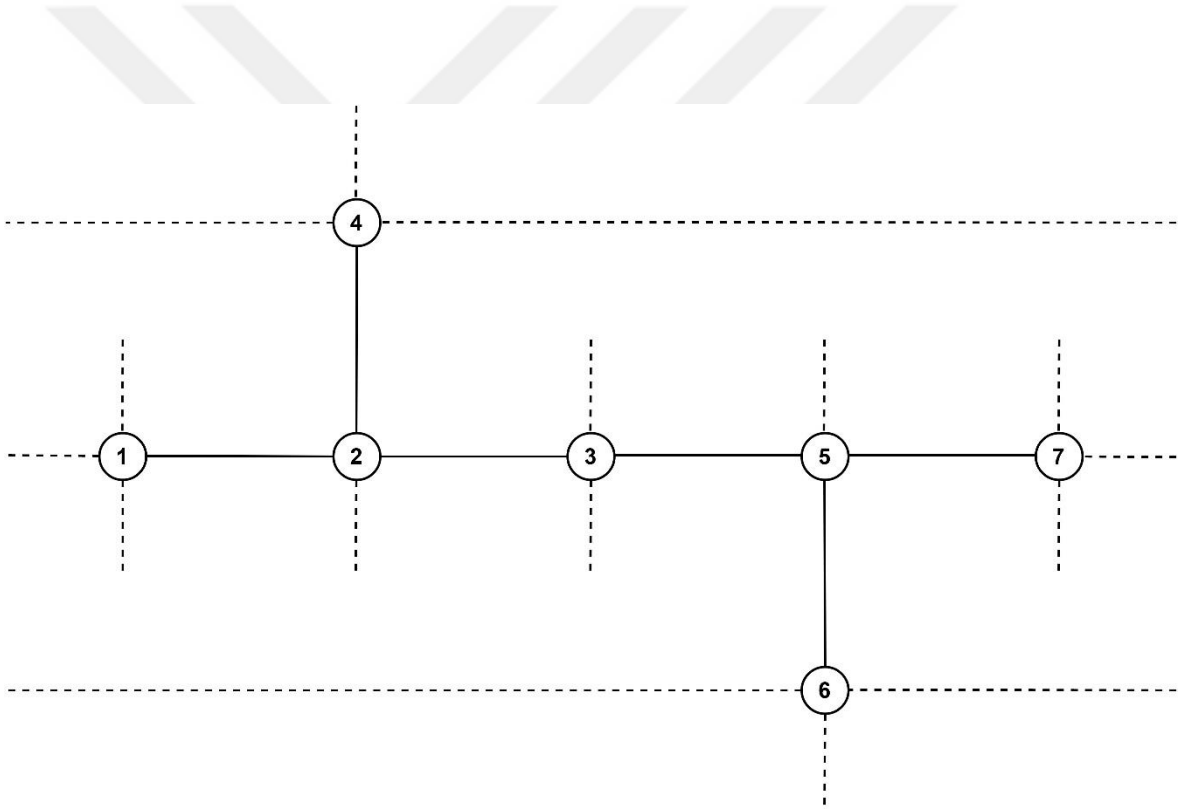
Öte yandan mevsime dayalı yağış ve yerüstü suyunun (dere gibi) YASS değişimine etkisinin yıllar boyu olabileceğinin gözden uzak tutulmaması gerekir. Buradan hareketle, yöntemin daha uzun süreli (5 – 10 yıl) verilerle kullanılması gerçeği daha iyi temsil eden bir yaklaşım olacaktır.



5. UZAKLIĞA VE KOMŞULUĞA DAYALI BELİRLENİMCİ ÖĞRENME

5.1. Topolojik Göstergeye Dayalı Uzaklık ve Komşuluk

Bir tabakalı örnekleme sistemi (random stratified sampling) üzerinde topolojik çizgenin içerdiği bağlantılar Şekil 5.1’ de verilmiştir.



Şekil 5.1 : Örnek topolojik çizge.

Şekil 5.1’ de verilen ağ örgüsünün matris formunda ifadesi komşuluk (A) ve uzaklık değerlerinin (D) bir fonksiyonudur. Dolayısıyla determinant, $K = f(A, D)$ fonksiyonel yapıyla ortaya konulabilir.

Komşuluk ve uzaklık matrisinin oluşumundan önce saha için belirlenen etkin ilişki mesafesi (bandwidth) kullanılarak komşuluklar tespit edilir. Kestirilecek her bir lokasyona (referans noktası) karşılık düşen komşu sayısı matrislerin boyutunu belirler.

A komşuluk matrisi 0 ve 1 elemanlarından oluşur. İncelenen lokasyona komşu olan lokasyonlarla oluşan çizgi (e_i) 1 değerini alırken komşuluğu bulunmayan noktalara 0 değeri atanır. Şekil 5.1’ de yer alan örnek sahaya ilişkin komşuluk matrisi aşağıda verilmektedir.

$$A = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \\ 7 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (5.1)$$

Benzer biçimde etki uzaklığı içerisinde bir birim uzaklıkta komşuluğa sahip olan noktalara 1, iki birim olan noktalar için 2, diğer noktalara da benzer yöntemle değer atanarak uzaklık matrisi (D) meydana getirilir. Bu örnekte etki uzaklığı sınırı konulmadığından gösterim açısından tüm lokasyonlar dikkate alınmıştır.

$$D = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \\ 7 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 & 2 & 3 & 4 & 4 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 2 & 3 & 3 \\ 2 & 1 & 0 & 2 & 1 & 2 & 2 \\ 2 & 1 & 2 & 0 & 3 & 4 & 4 \\ 3 & 2 & 1 & 3 & 0 & 1 & 1 \\ 4 & 3 & 2 & 4 & 1 & 0 & 2 \\ 4 & 3 & 2 & 4 & 1 & 2 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (5.2)$$

İki matrisin toplamı topolojik gösterge bakımından bir determinant ile ifade edilmektedir. Aşağıda yer alan determinantın (K) değeri incelenen bölgeye ait uzaklığa bağlı ilişkiyi tanımlayan bir ölçüdür.

$$K = A + D = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \\ 7 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 2 & 2 & 2 & 3 & 4 & 4 \\ 2 & 0 & 2 & 2 & 2 & 3 & 3 \\ 2 & 2 & 0 & 2 & 2 & 2 & 2 \\ 2 & 2 & 2 & 0 & 3 & 4 & 4 \\ 3 & 2 & 2 & 3 & 0 & 2 & 2 \\ 4 & 3 & 2 & 4 & 2 & 0 & 2 \\ 4 & 3 & 2 & 4 & 2 & 2 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix} \Rightarrow \det(K) = 1920 \quad (5.3)$$

5.2. Topolojik Göstergeye Dayalı Algoritma (TIBI)

Mekânsal veriyi kullanan yerbilimi ve çevre biliminde koordinatlarla tanımlı ölçüm noktalarının komşulukları önem taşır. Komşulukların oluşturduğu ilişkilerin tanımlanması ve bu ilişkilerden hareketle istatistiksel öğrenmenin gerçekleştirilmesi saha ölçeğinde gerekli bir yaklaşımdır. k – en yakın komşuluk yaklaşımı, *ISDW* ve Voronoi poligonu gibi yaklaşımlar bir noktadaki değişken değerini, etkin sayıda komşu ve bunların ağırlıklandırmaları yoluyla hesaplamaktadır. Literatürde yer alan genel ağırlıklı enterpolasyon ifadesi (5.4) eşitliği ile tanımlanabilir (Kanevski vd. 2004).

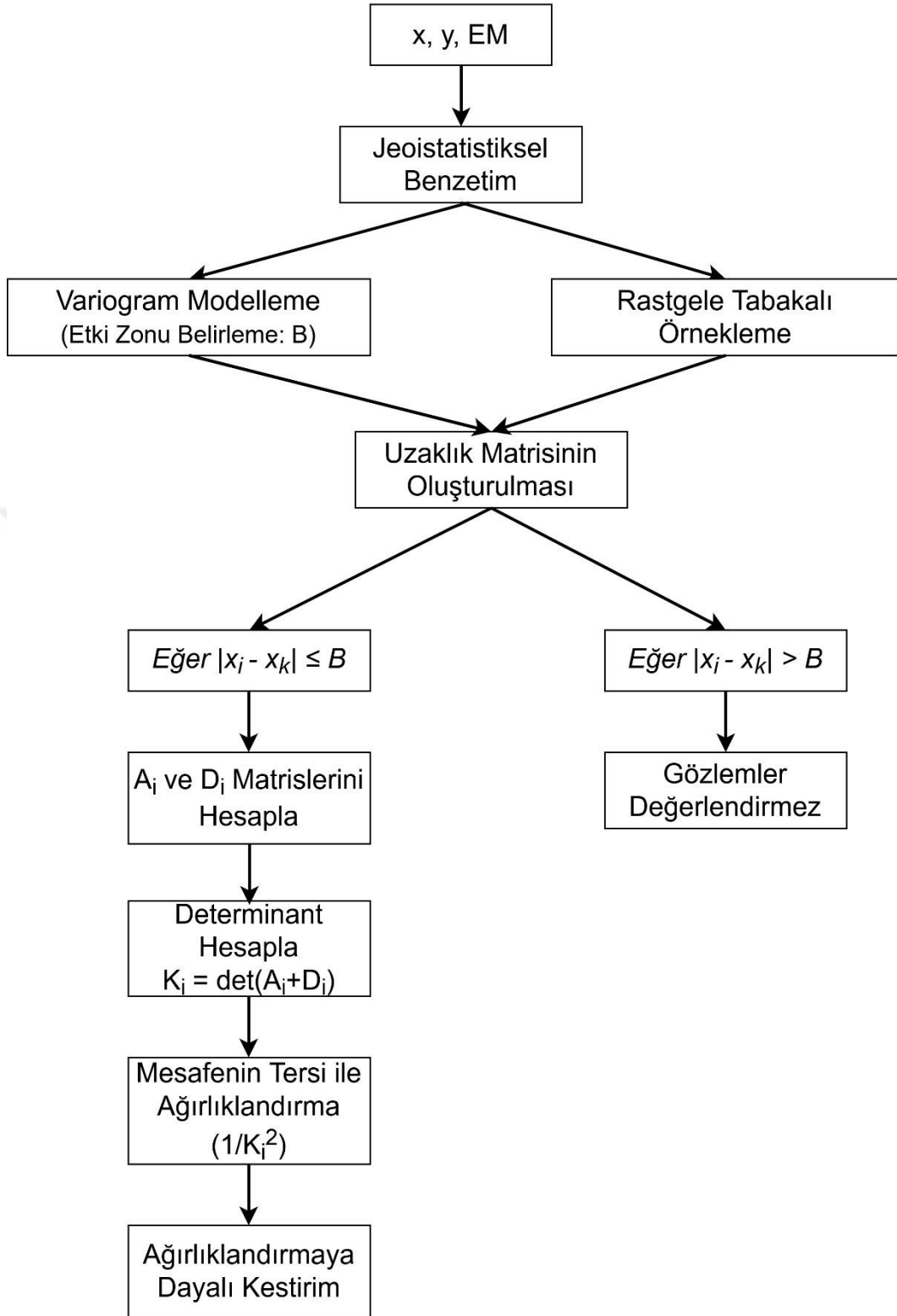
$$Z(x, y) = \sum_{i=1}^{n(x,y)} w_i(x, y) Z_i(x_i, y_i) \quad (5.4)$$

(5.4) eşitliğinde Z ve Z_i sırasıyla kestirilecek nokta ve komşulukları göstermektedir. $n(x,y)$ kestirimde kullanılacak komşu sayısı $w_i(x,y)$ ise komşuların oluşturacağı ağırlıkları gösterir.

Moleküler çizge teorisi tanımına uygun biçimde, ölçüm noktalarının ve ölçümlerin topolojik temsili çizgeler yardımıyla gerçekleştirilebilecektir. Çizge teorisine dayalı geliştirilen göstergeler içerisinde topolojik gösterge (çizge–kuram göstergesi), yapısal özellikleri nedeniyle yer bilimi problemlerinde kullanıma uygundur. Bu gösterge, ölçüm noktaları arasındaki ilişkileri belirleme yoluyla ağırlıklı matris çözümüne olanak tanımaktadır.

Topolojik göstergeye dayalı ağırlıklı enterpolasyon, öncelikle kestirilecek noktanın etrafındaki dairesel etki sahasının yarıçapını (bandwidth) belirlemeyi gerektirmektedir. Jeostatistiksel açıdan bakıldığında bir noktadan diğer noktalara doğru mesafe arttıkça ağırlık değerinin büyümesi, azaldıkça ağırlık değerinin küçülmesi beklenir. Bu amaçla noktasal birikimli yarı–madogram yaklaşımı literatürde yer almaktadır (Tutmez, 2010).

Bu tez çalışmasında Topolojik Göstergeye Dayalı Enterpolasyon (TIBI) yöntemi geliştirilmiş ve uygulanmıştır. TIBI, saha ölçeğinde uzaklığa bağlı ilişkiyi kullanan, uzaklık ve komşuluk parametrelerine dayalı bir belirlenimci enterpolasyon yordamıdır. Geliştirilen algoritma Şekil 5.2’ de verilmiştir.



Şekil 5.2 : TIBI yordamı.

Algoritma, benzetim yardımıyla yeterli sayıda verinin oluşturulmasını ilk aşama olarak önermektedir. Bu aşamada uzaklığa bağlı ilişkinin variogram modellemesi yoluyla ortaya çıkarılması ve tabakalı örnekleme yapılarak sistematik analiz gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. İkinci aşamada jeostatistiksel yolla elde edilen etki bölgesi yarıçapı kullanılarak komşuluklar elde edilmektedir. Ölçüm noktası (x_i) ile komşuluk oluşturabilecek x_k noktası arasındaki $|x_i - x_k|$ uzaklıklarının yarıçaptan küçük olması durumunda x_k noktası komşu olarak değerlendirilmektedir. Diğer durumda çözümde kullanılmayacaktır.

Komşuluklar belirlendikten sonra, topolojik ölçümleri içeren matrislerin oluşturulması aşamasına geçilmektedir. (5.3) eşitliği ile tanımlanan K matrisinin determinantının belirlenmesi algoritmanın önemli aşamalarından biridir. Bu aşamada determinant değerinin tersinin karesi $\left(\frac{1}{\det(K_i)}\right)^2$ her bir lokasyon için belirlenir. Bu değer enterpolasyon işleminde kullanılacak ağırlıktır.

TIBI yönteminin önemli üstünlüklerinden biri, en yakın komşuluk yönteminin ($k - NN$) aksine komşu sayısının (m) önceden belirlenmesine gerek bulunmayışıdır. Bir diğer üstünlük ise mesafenin tersine bağlı ağırlıklandırma ($ISDW$) yönteminde başvuru $\sum_{k=1}^m w_{ik} = 1$ toplam koşulunun yerine getirilme zorunluluğunun bulunmamasıdır. Nitekim TIBI yöntemine dayalı ağırlıklandırma aşağıdaki yapıya sahiptir.

$$\sum_{k=1}^m \left(\frac{1}{\det(K_{ik})}\right)^2 \neq 1 \quad (5.5)$$

(5.5) eşitliğinde yer alan $\det(K_i)$ değeri, aşağıda yer alan $m \times m$ matrisinin elemanlarından oluşmaktadır:

$$K_i = \begin{bmatrix} 0 & k_{12} & \cdots & k_{1m} \\ k_{21} & 0 & \cdots & k_{2m} \\ \vdots & \vdots & 0 & \vdots \\ k_{m1} & k_{m2} & \cdots & 0 \end{bmatrix} \quad (5.6)$$

TIBI yöntemi sahaya ilişkin bütünsel ve bölgesel ayrı ayrı çözümler üretilmesine olanak sağlamaktadır. Bu çözümler sırası ile (5.7) ve (5.8) eşitliklerinde verilmiştir.

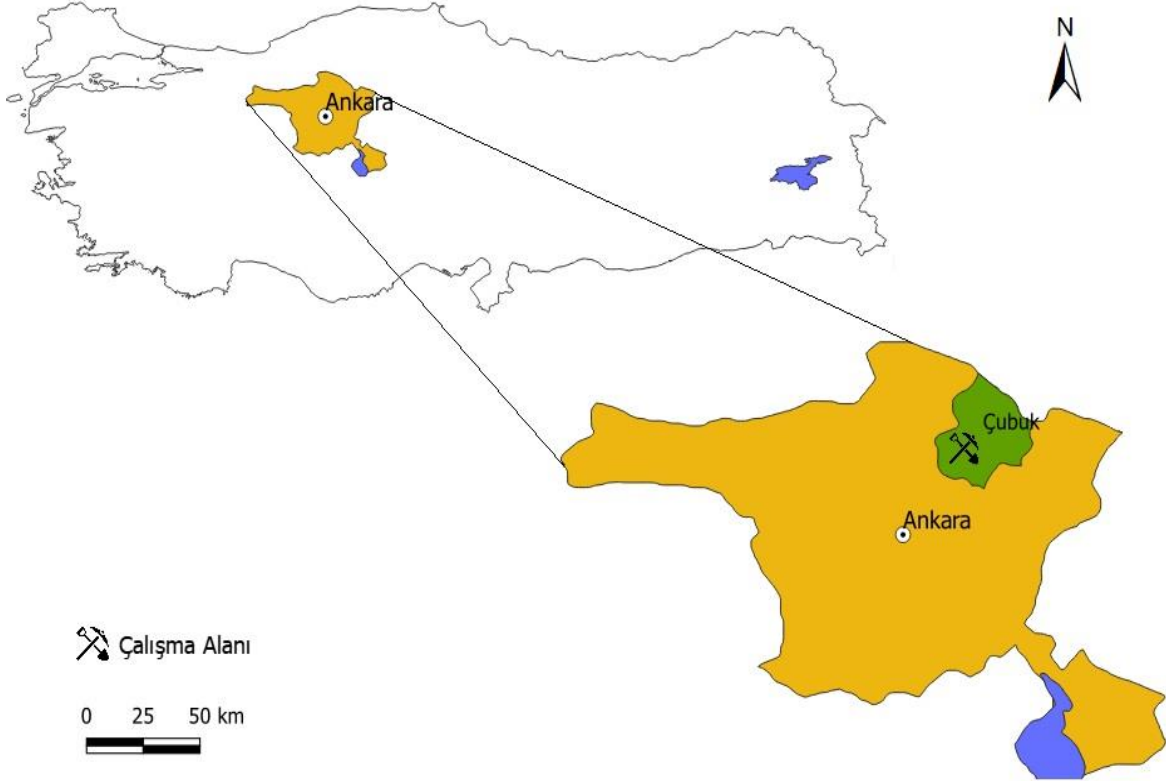
$$EM_B = \frac{\sum_{i=1}^{n(x,y)} \left(\frac{1}{\det(K_i)}\right)^2 EM_i}{\sum_{i=1}^{n(x,y)} \left(\frac{1}{\det(K_i)}\right)^2} \quad (5.7)$$

$$EM(x,y) = \frac{\sum_{i=1}^{n(x,y)} \sum_{k=1}^m \left(\frac{1}{\det(K_i)}\right)^2 \overline{EM}_{ik}(x_{ik}, y_{ik})}{\sum_{i=1}^{n(x,y)} \sum_{k=1}^m \left(\frac{1}{\det(K_i)}\right)^2} \quad (5.8)$$

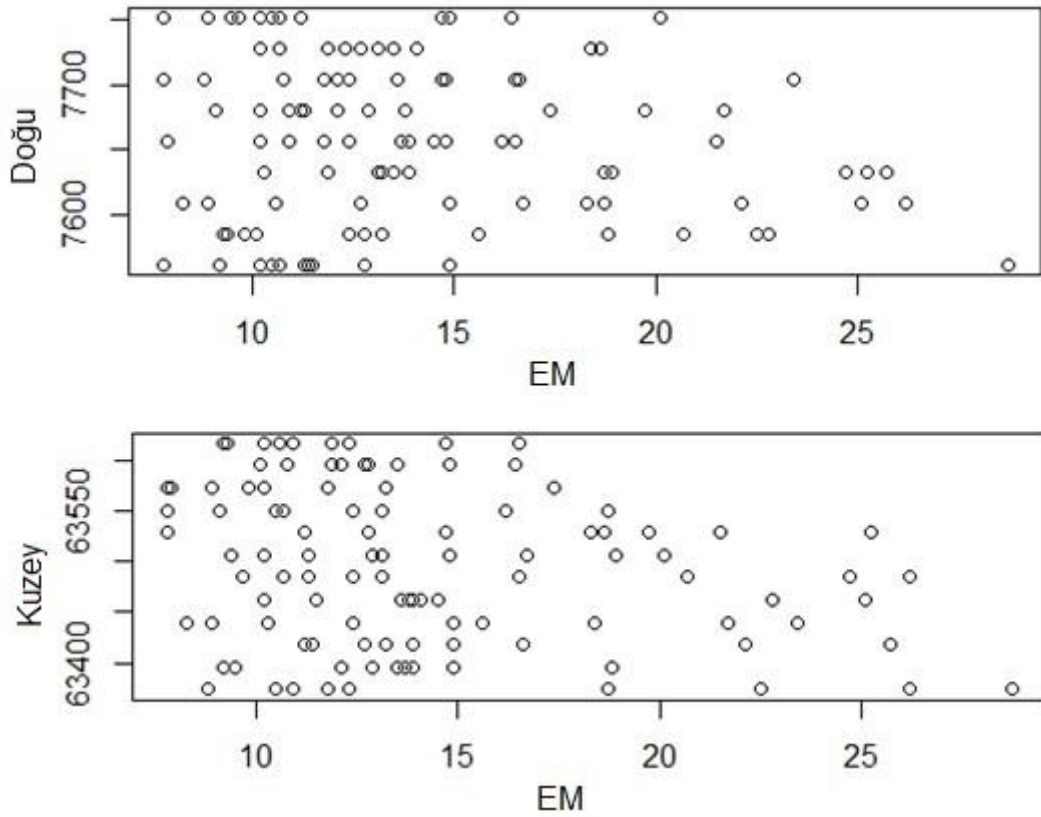
(5.8) eşitliğinde yer alan $\overline{EM}_{ik}(x_{ik}, y_{ik})$ parametresi, çizge üzerinde tahmin edilen her bir i noktasının komşularının ortalama değerini (Elastisite Modülü – EM) göstermektedir.

5.3. Model Çalışmaları

Uygulama sahası, Ankara il sınırları içerisinde yer alan bir andezit yatağıdır (Şekil 5.3). Tez uygulamalarında yararlanılan veri, bilimsel literatürde yer alan ve birçok çalışmada kullanılan Ankara bölgesi andezitlerine ait 108 ölçüm içeren bir settir (Tercan ve Özçelik, 2004; Tutmez, 2007). Uygulama verisi, koordinat değerlerine ek olarak elastisite modülü (EM) laboratuvar ölçüm değerlerini içermektedir. Ham verinin sahada yöne dayalı değişimi Şekil 5.4’ te verilmiştir. Ölçüm değerlerinin değişimi incelendiğinde geniş bir alanda farklılaşmış ölçümler kaydedildiği görülmektedir. Nitekim bu durum anizotropinin büyük olmadığını ve izotropik analiz yapılmasının uygun olacağını ortaya koymaktadır.

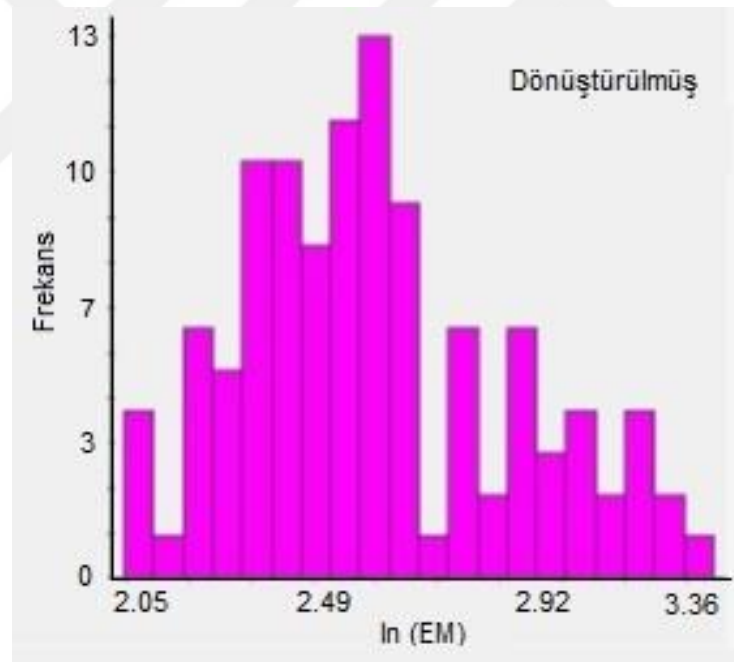
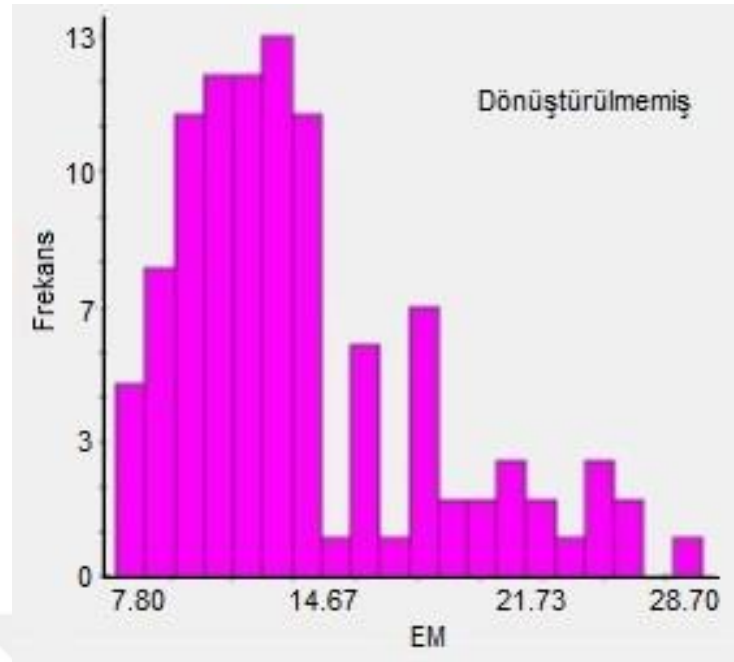


Şekil 5.3 : Andezit yatağı yerbulduru haritası.

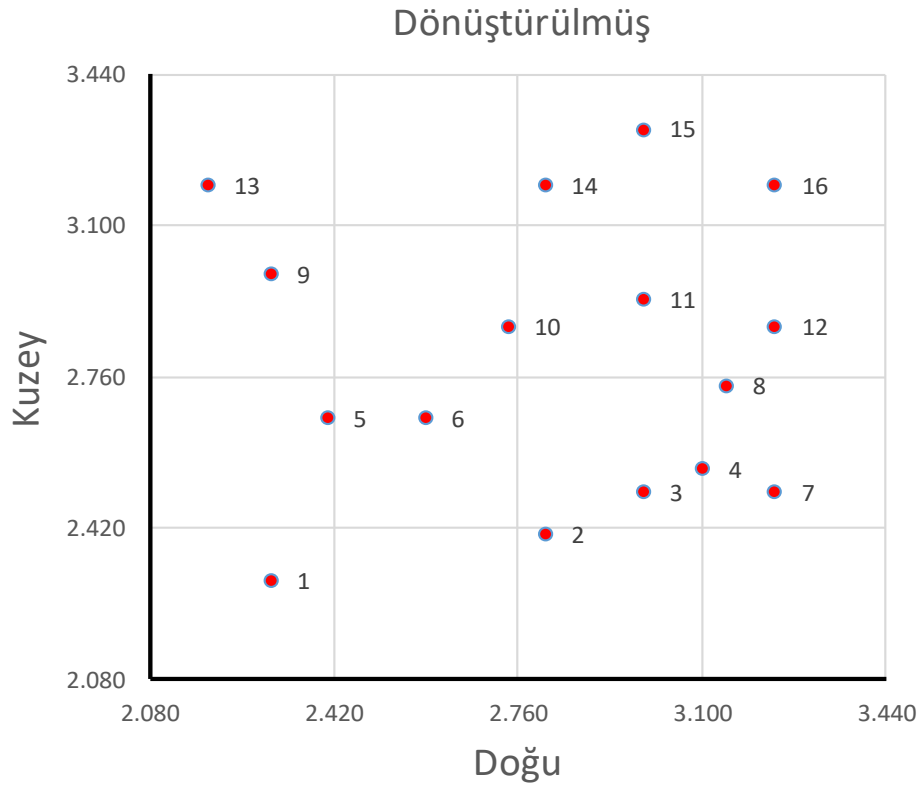
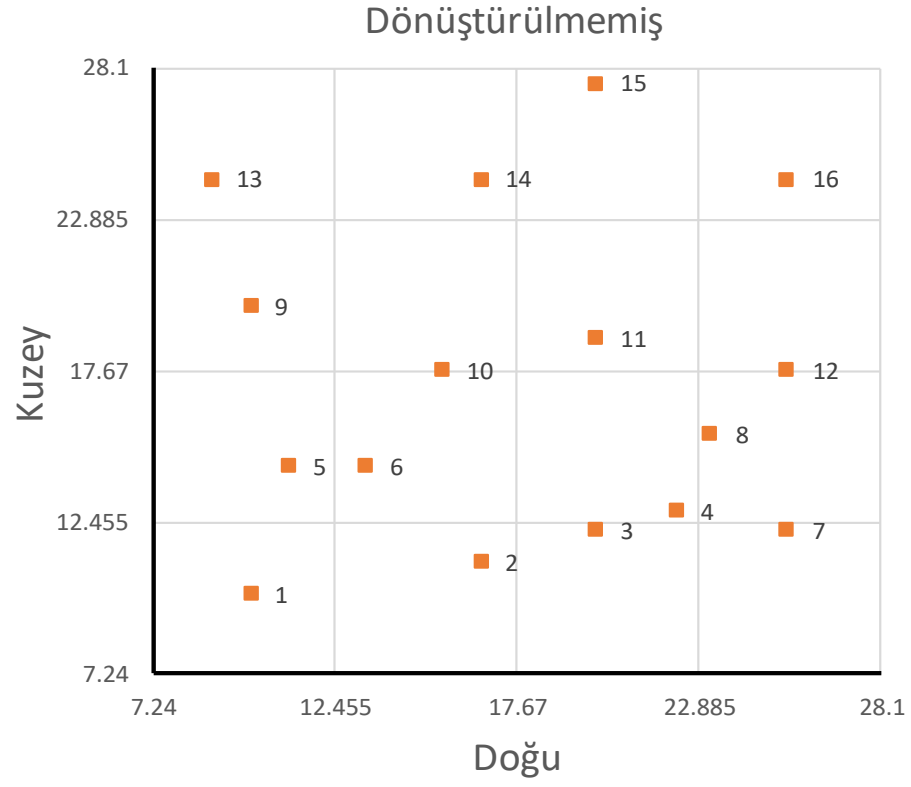


Şekil 5.4 : Ölçüm değerlerinin koordinatla değişimi.

Veri analizi aşaması Şekil 5.2’ de ifade edilen aşamaya uygun biçimde verinin benzetim yoluyla çoğaltılması ve daha sonra çoğaltılan veriden tabakalı örnekleme yoluyla belirli sayıda veri çekilerek analiz yapılması esasına dayanmaktadır. 108 veri kullanılarak, veri çoğaltım işlemi için jeostatistiksel koşullu benzetim (conditional simulation) yönteminden yararlanılmıştır (Lantuejoul, 2002). Bu amaçla (Tutmez, 2007) tarafından yapılan uygulamaya benzer biçimde 21x21 boyutlarında toplam 441 veriden oluşan tabakalı ağ oluşturulmuştur. Jeostatistiksel analizin önemli bir aşaması olarak (Bivand vd. 2013), veri setinin çarpıklık düzeyi incelenmiş ve normal dağılıma yaklaşması için logaritmik ($\ln$) veri dönüşümü gerçekleştirilmiştir. Başlangıç ve dönüştürülmüş veri histogramları Şekil 5.5’ te verilmektedir. Örneklem değerlerinin dönüştürmeye bağlı konum farklılaşması Şekil 5.6’ da gösterilmektedir.



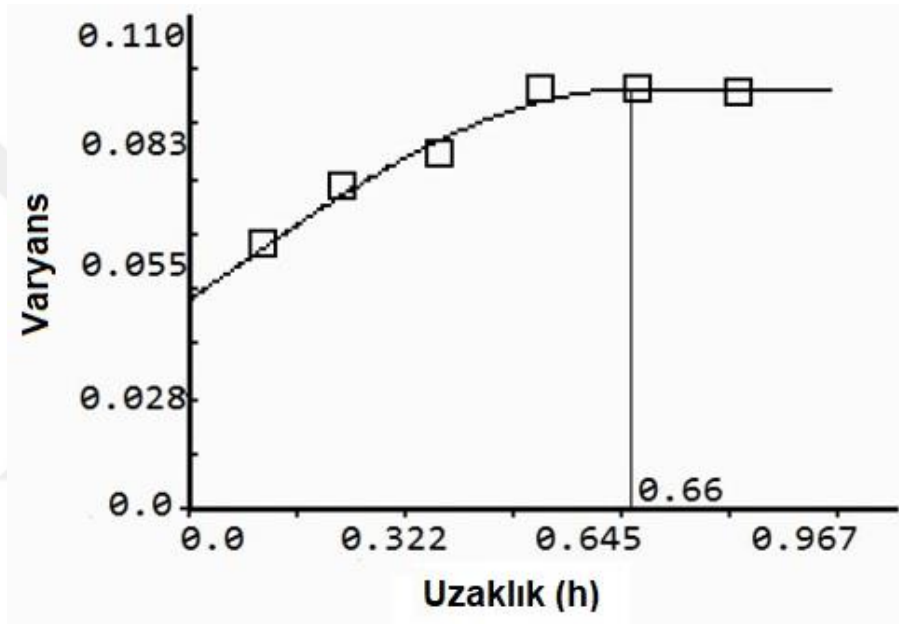
Şekil 5.5 : Benzetim veri setinin histogramları.



Şekil 5.6 : Örneklem değerlerinin dönüştürmeye bağlı konumları.

5.4. Bulgular ve Değerlendirme

Şekil 5.6’ da yer alan ölçümler arasındaki mesafeler Çizelge 5.1’ de özetlenmektedir. Etki zonunun belirlenmesi için uzaklığa bağlı ilişkinin ortaya çıkarılması gerekmektedir. Bu amaçla variogram analizi yapılmıştır. Bir dizi variogram model çalışması sonucunda en uygun etki uzaklığı küresel variogram modelinin başarıyla uyum sağlaması sonucu 0.66 olarak bulunmuştur (Şekil 5.7). Ayrıca, veriler arasındaki mesafeler Çizelge 5.1’ de özetlenmektedir.



Şekil 5.7 : En uygun etki uzaklığı için variogram modeli.

Şekil 5.7 ile elde edilen etki uzaklığı, küresel etki alanını tanımlamaktadır. Her bir örnek noktası için komşuluklar ve karşılık düşen *EM* değerleri Çizelge 5.2’ de verilmiştir. Çizelge yardımıyla enterpolasyon da kullanılacak her nokta için ortalama değerler sütunların ortalama değerleridir.

Çizelge 5.1 : Standartlaştırılmış ölçümlerin uzaklık matrisi.

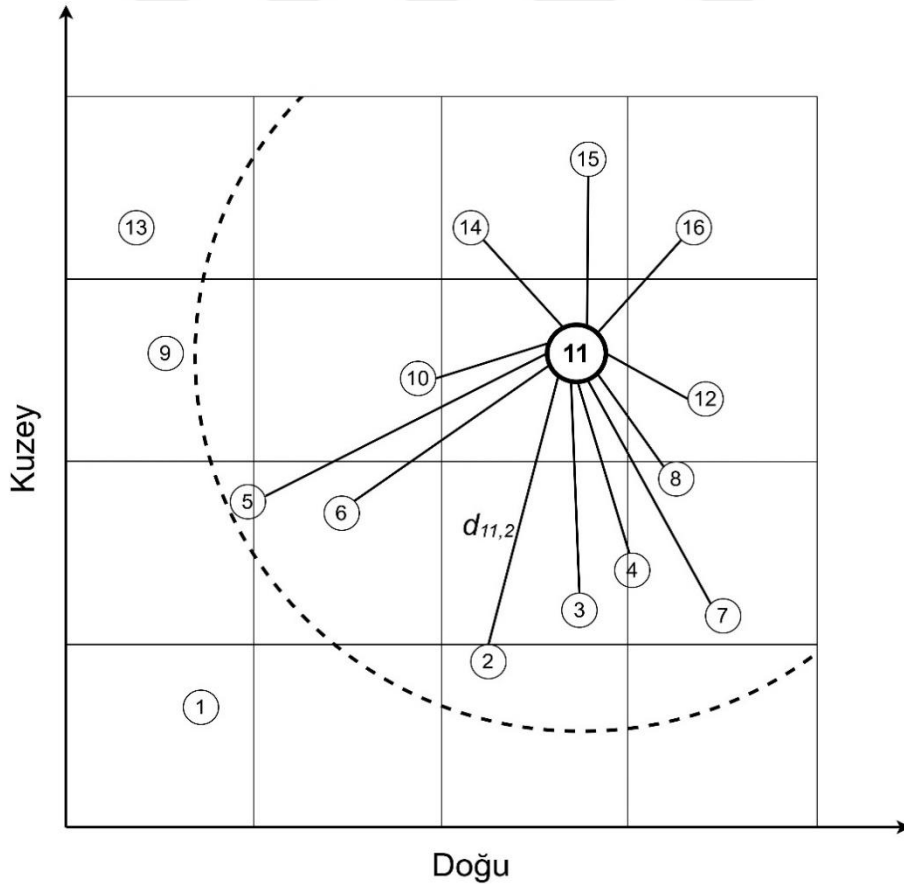
Örnek No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	0	0.52	0.71	0.84	0.38	0.46	0.95	0.95	0.69	0.72	0.93	1.09	0.89	1.02	1.22	1.29
2	0.52	0	0.2	0.33	0.480	0.34	0.44	0.47	0.77	0.47	0.56	0.63	1	0.78	0.93	0.89
3	0.71	0.2	0	0.12	0.61	0.43	0.24	0.28	0.84	0.45	0.43	0.44	1.06	0.71	0.82	0.73
4	0.84	0.33	0.12	0	0.7	0.52	0.14	0.19	0.91	0.48	0.4	0.35	1.11	0.7	0.77	0.65
5	0.38	0.48	0.61	0.7	0	0.18	0.84	0.74	0.34	0.39	0.64	0.85	0.57	0.66	0.87	0.98
6	0.46	0.34	0.43	0.52	0.18	0	0.67	0.56	0.43	0.26	0.48	0.68	0.66	0.57	0.76	0.83
7	0.95	0.44	0.24	0.14	0.84	0.67	0	0.26	1.05	0.62	0.5	0.37	1.25	0.81	0.85	0.69
8	0.95	0.47	0.28	0.19	0.74	0.56	0.26	0	0.88	0.43	0.25	0.16	1.06	0.56	0.6	0.46
9	0.69	0.77	0.84	0.91	0.34	0.43	1.05	0.88	0	0.45	0.69	0.94	0.23	0.54	0.76	0.95
10	0.72	0.47	0.45	0.48	0.39	0.26	0.62	0.43	0.45	0	0.26	0.49	0.64	0.32	0.51	0.59
11	0.93	0.56	0.43	0.4	0.64	0.48	0.5	0.25	0.69	0.26	0	0.25	0.84	0.31	0.38	0.35
12	1.09	0.63	0.44	0.35	0.85	0.68	0.37	0.16	0.94	0.49	0.25	0	1.09	0.53	0.51	0.32
13	0.89	1	1.06	1.11	0.57	0.66	1.25	1.06	0.23	0.64	0.84	1.09	0	0.62	0.81	1.05
14	1.02	0.78	0.71	0.7	0.66	0.57	0.81	0.56	0.54	0.32	0.31	0.53	0.62	0	0.22	0.43
15	1.22	0.93	0.82	0.77	0.87	0.76	0.85	0.6	0.76	0.51	0.38	0.51	0.81	0.22	0	0.28
16	1.29	0.89	0.73	0.65	0.98	0.83	0.69	0.46	0.95	0.59	0.35	0.32	1.05	0.43	0.28	0

Çizelge 5.2 : Etki zonu içinde yer alan elastisite modülü değerleri.

Örnek No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1		2.74			2.74	2.74										
2	2.69		2.69	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69		2.69	2.69	2.69				
3		2.39		2.39	2.39	2.39	2.39	2.39		2.39	2.39	2.39				
4		2.90	2.90			2.90	2.90	2.90		2.90	2.90	2.90				2.90
5	2.39	2.39	2.39			2.39			2.39	2.39	2.39		2.39	2.39		
6	2.37	2.37	2.37	2.37	2.37			2.37	2.37	2.37	2.37		2.37	2.37		
7		2.55	2.55	2.55				2.55		2.55	2.55	2.55				
8		3.02	3.02	3.02		3.02	3.02			3.02	3.02	3.02		3.02	3.02	3.02
9					2.70	2.70				2.70			2.70	2.70		
10		2.92	2.92	2.92	2.92	2.92	2.92	2.92	2.92		2.92	2.92	2.92	2.92	2.92	2.92
11		2.37	2.37	2.37	2.37	2.37	2.37	2.37		2.37		2.37		2.37	2.37	2.37
12		2.42	2.42	2.42			2.42	2.42		2.42	2.42			2.42	2.42	2.42
13					2.32	2.32			2.32	2.32				2.32		
14					3.22	3.22		3.22	3.22	3.22	3.22	3.22	3.22		3.22	3.22
15								2.55		2.55	2.55	2.55		2.55		2.55
16				2.86				2.86		2.86	2.86	2.86		2.86	2.86	

Literatürde yer alan geleneksel ağırlıklandırma algoritmalarından farklı olarak TIBI algoritması kestirim süreçlerinde doğrudan ağılıklar yerine topolojik matrisleri ve komşuluk ilişkilerini hesaplamalara dahil etmektedir. Hesaplamalarla, kritik zon (çizge) içindeki ilişkileri tanımlayan komşuluk ve uzaklık matrisleri elde edilmiştir.

Şekil 5.8’ de seçilen 11 nolu örneklem noktasının etki zonu içerisinde kalan komşulukları ve uzaklıklar gösterilmektedir. Şekil 5.8’ de belirtilen dairesel zon aynı zamanda bir çizgeye karşılık gelmektedir. 11 nolu ölçüm noktası referans alınarak oluşturulan komşuluk ve uzaklık matrisleri (5.9) ve (5.10) eşitliklerinde tanımlanmıştır. Bu matrislerin toplam matrisi ve matrisin determinantı da (5.11) eşitliğinde verilmektedir. 11 nolu ölçüm noktasının komşuluk matrisinde (A) diğer noktalara göre komşuluk 1 değeri ile ifade edilirken diğer noktaların birbiriyle ilişkisi matriste temsil edilmediğinden 0 değeri atanmıştır. Matrislere değer atanmasında etki zonunun dışında kalan çizge – dışı ölçüm noktaları yer almamaktadır. Benzer biçimde D uzaklık matrisinin köşegeni 0 değerlerinden oluşmaktadır. Bunun nedeni ölçüm noktalarının kendilerine olan uzaklıklarının sıfır olmasıdır.

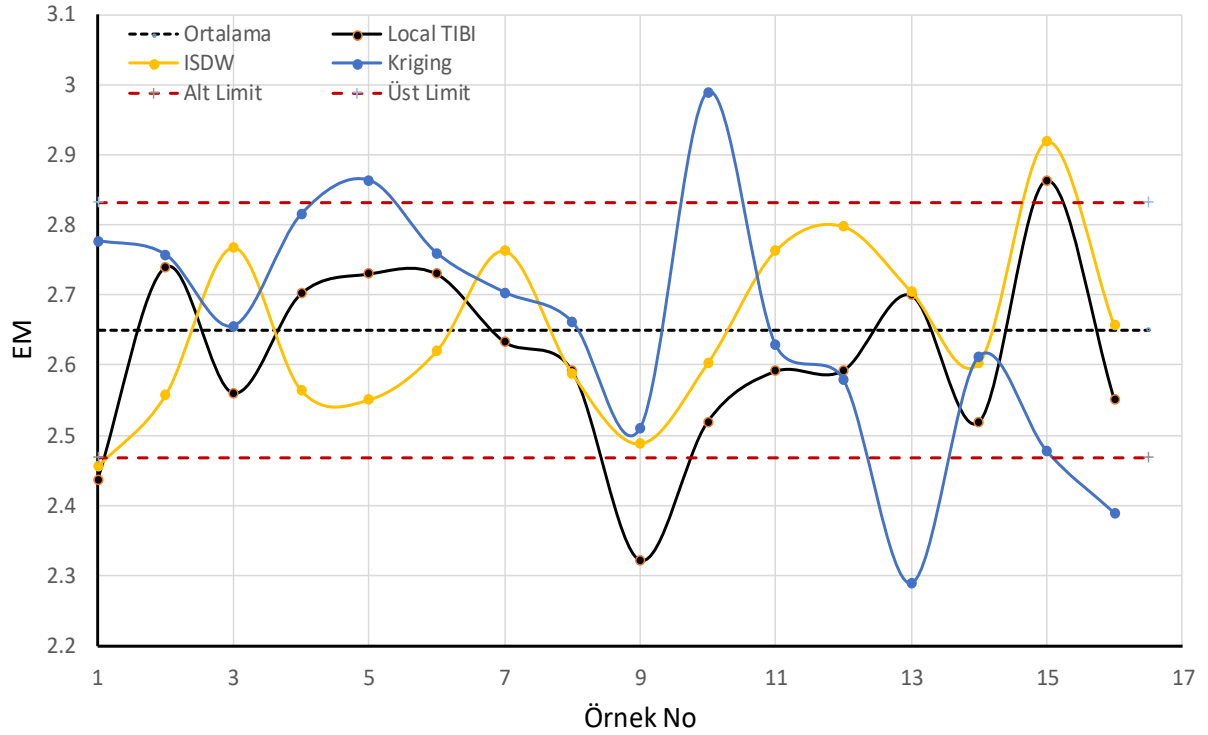


Şekil 5.8 : EM için örnek etki zonu.

(5.7) ve (5.8) eşitlikleri esas alınarak tümsel ve bölgesel düzeyde analizler gerçekleştirilmiştir. Bölgesel ölçekte *ISDW* ve kriging yöntemleri ile yapılan karşılaştırma Şekil 5.9’ da verilmiştir. Şekil 5.9’ daki merkez çizgi ortalama elastisite modülü değerlerini gösterirken kritik alt ve üst sınırlar % 99 güvenle Student-t dağılımına göre elde edilen sınırlardır. Belirlenimci bir yöntem olarak *ISDW*, fonksiyonel ilişkiden öte doğrudan uzaklıkları kullandığından düzgün (smooth) kestirim sonuçları üretmiştir. Öte yandan kriging, geniş bir aralıkta alt ve üst sınırlar dışına taşan çıktılarına sahiptir. Önerilen TIBI yöntemi kısmen *ISDW*’ den daha büyük değişkenlik yaratmış olsa da; üretilen kestirim değerlerinin varyansı kriging değişkenliğinin çok altında ve ölçülen değerlerin değişkenliğine en yakındır. Sayısal sonuçların değişimi Çizelge 5.3’ de özetlenmiştir. Şekil 5.9’ de 9 ve 13 numaralı sondaj lokasyonların, sonuçların başarısını olumsuz etkilemektedir. Bunun nedeni, TIBI ve kriging modellerinin zayıflığı olmayıp diğer verilerden ayrık olarak yapılan sondajların komşu sayısının başarılı bir kestirim için yetersiz olmasıdır. Kriging enterpolasyonunda 16 ölçüm verisi kullanılmasına rağmen kriging’ e zemin oluşturan variogram modeli 441 verinin tamamı kullanılarak elde edilmiştir.

Çizelge 5.3 : Kestirim yöntemlerinden elde edilen değişkenlik düzeyleri.

Model	Standart Sapma
Ölçülen	0.271
<i>ISDW</i>	0.125
Kriging	1.342
Bölgesel (Local) TIBI	0.132



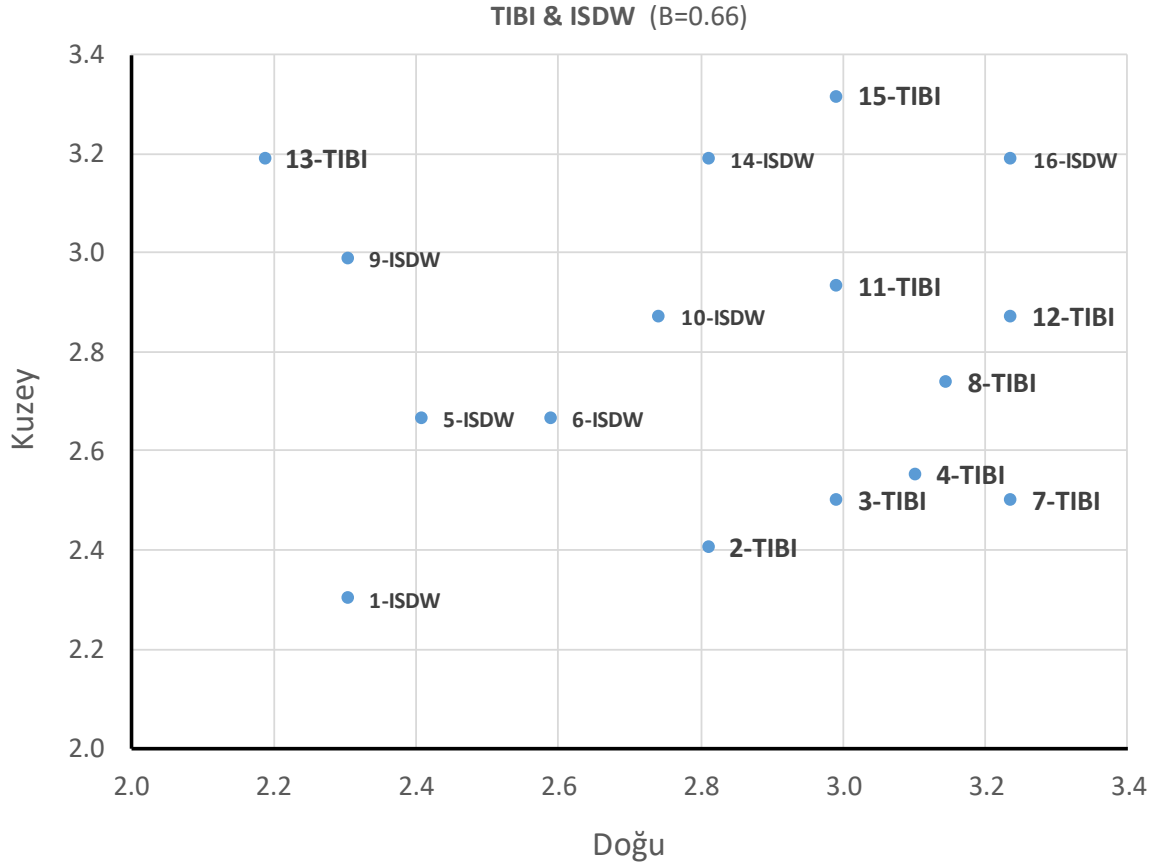
Şekil 5.9 : Kestirim değerlerinin karşılaştırmalı görünümü.

ISDW yöntemi küçük etki uzaklıklarında başarılı sonuçlar üretmemektedir. Etki mesafesi arttıkça doğrudan uzaklıkları kullanan bu yöntem değişkenliği fazla olmayan kestirimler gerçekleştirmektedir. Gerek TIBI gerek tümsel ve gerekse de bölgesel ölçekte TIBI yöntemi fonksiyonel ilişkileri kullandığı için (komşuluk ve indikatör uzaklık) başarılı ve tutarlı sonuçlar üretmektedir. Kriging kestirimi ise veri sayısına bağlı olarak ölçülen verilerin değişkenliğinin çok üzerinde bir değişkenlikle kestirim yapmaktadır. Yöntemlerin başarısı karşılaştırmalı olarak aşağıda yer alan göreceli hata (relative error, RE) ölçütüyle değerlendirilmiştir.

$$RE(\%) = \left| \frac{EM_{me} - EM_{es}}{EM_{me}} \right| \times 100 \quad (5.12)$$

(5.12) eşitliğinde EM_{me} ve EM_{es} parametreleri, sırasıyla ölçülen ve kestirilen EM değerlerini göstermektedir.

En uygun bant uzunluğunda ($B=0.66$) *ISDW* yöntemiyle bölgesel TIBI performanslarını karşılaştıran haritada *ISDW* (7/16), TIBI (9/16) başarıyla kestirim gerçekleştirmiştir (Şekil 5.10).

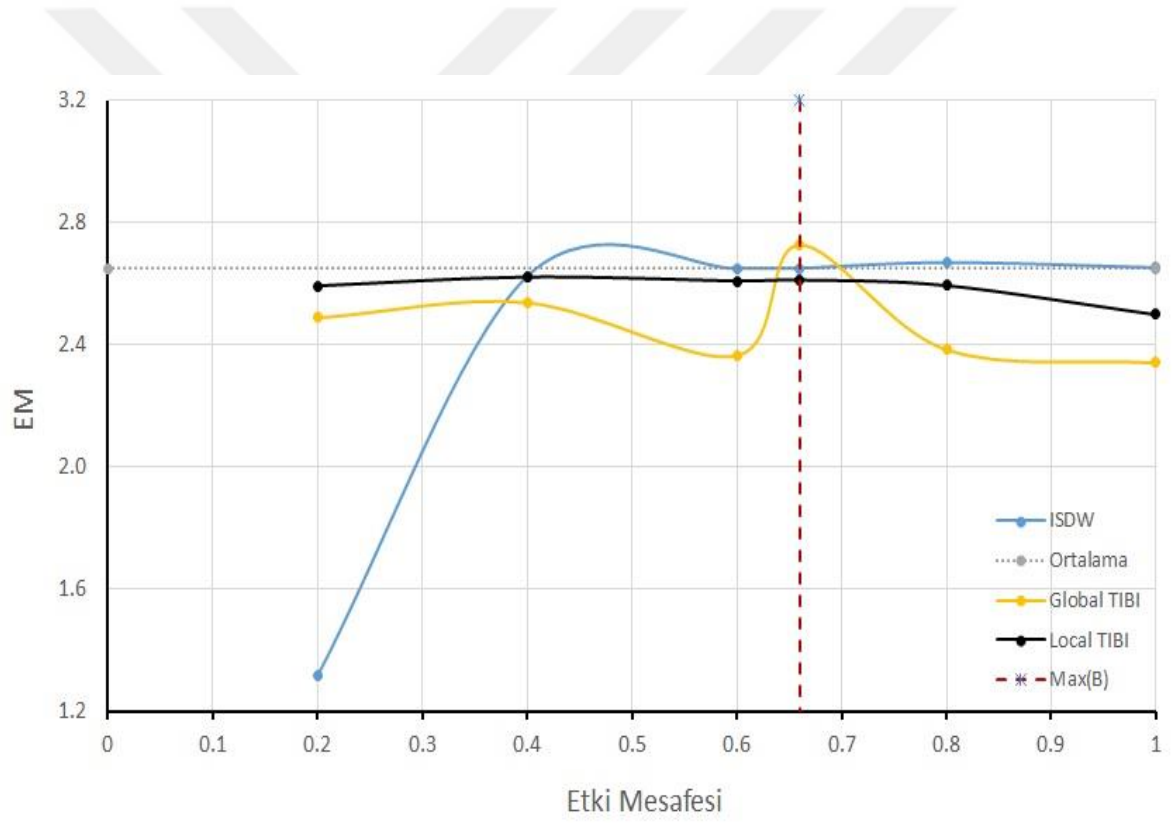


Şekil 5.10 : ISDW ve TIBI yöntemlerinin karşılaştırılması.

Hataya bağlı karşılaştırmalı değerlendirme Şekil 5.11’ de yer almaktadır. Sonuçların geçerliliğini geçmiş çalışmalarla birlikte ortaya koymak için literatürde yer alan bulanık aritmetiğe dayalı belirsizlik analizi (Tutmez, 2007) yöntemiyle karşılaştırma yapılmış ve sonuçlar Çizelge 5.4’ de özetlenmiştir. Farklı etkin uzaklık sınırlarında yöntemlerin performanslarını ortaya koymak üzere tümsel ve bölgesel TIBI yanında *ISDW* uygulamaları da yapılmıştır. Çok kısa mesafelerde nitelikli kriging kestirimleri yapılamadığından bu yöntem karşılaştırmaya dâhil edilmemiştir. Elde edilen bulgular, özellikle bölgesel ve bir ölçüde de tümsel ölçekte olmak üzere, topolojik göstergeye dayalı yaklaşımın başarısını ortaya koymaktadır. Sonuçlar gerek hata ve gerekse de değişkenlik yönünden belirlenimci kestirime alternatif oluşturulabileceğini göstermektedir.

Çizelge 5.4 : Kestirim yöntemlerinin göreceli hata düzeyleri.

Model	RE (%)
ISDW	12.84
Bulanık Hesaplama (Tutmez, 2007)	7.70
Bütünsel (Global) TIBI	5.75
Bölgesel (Local) TIBI	1.54



Şekil 5.11 : Hataya bağlı karşılaştırmalı değerlendirme.

6. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Madencilik ve yerbilimlerinde saha ölçeğinde yapılan çalışmalar veri analizini zorunlu hale getirmektedir. Bu tezde, verilerden öğrenme yoluyla hesaplama yapan belirlenimci ve jeoistatistiksel yordamlar önerilmiş, değerlendirmeler yapılmıştır.

6.1. Uzaklığa ve Zamana Dayalı Jeoistatistiksel Öğrenme

Açık işletmeye dayalı linyit madenciliğinde etkili olan yeraltı su seviyesinin (YASS) zamana ve konuma bağlı değişimi incelenmiştir.

- Sahadaki uzaklığa bağlı ilişkiyi ortaya koymak için variogram analizleri yapılmış ve her ölçüm kuyusu için en uygun etki uzaklıkları istatistiksel olarak belirlenmiştir. Gaussian tip fonksiyon yapısına uygunluk gösteren variogram model yapıları jeoistatistiksel bakımdan heterojen özelliğe sahip rezervuar yapısını ortaya koymuştur. Yılın bütününde düşük külçe etkisine rağmen değişkenliğin geniş bir aralığa sahip olduğu kaydedilmiştir.
- Yıllara ve uzun döneme dayalı veriler ve istatistiksel özellikler kaydedilerek, variogram etki uzaklıkları yardımıyla zamana bağlı öğrenmenin yapılabilmesi mümkündür. Ani değişimleri görebilmek için kısa aralıklı ve sürekli veriye gereksinim duyulmaktadır. Öte yandan yağış ve benzeri etkilerin zaman yayılması, çok yıllık veriler ile jeoistatistiksel öğrenmeyi anlamlı hale getirmektedir.
- Bir yıldaki farklılaşmanın değerlendirilmesi ve her bir ölçüm kuyusundaki etkinlik düzeyinin haritalanması elde edilen etki bölgeleri (zone) yoluyla, sahaya ilişkin risk değerlendirmesi yapılmasına olanak sağlamaktadır.

6.2. Uzaklığa ve Komşuluğa Dayalı Belirlenimci Öğrenme

Belirlenimci mekânsal enterpolasyon sınırlı sayıda ve uygulama kolaylığıyla haritalamaya olanak vermesine rağmen uzaklığa bağlı ilişkileri dikkate almadığından

sahayı gerçeğe yakın biçimde temsil edememektedir. Jeolojik yapı ve saha özelliklerini matematiksel temele dayalı olarak ortaya koyabilmek için çizge teorisinden yararlanılmış ve moleküler çizgeye dayalı topolojik gösterge yaklaşımını kullanan yeni bir kestirici (smoother) önerilmiştir.

- Topolojik çizge yapısı ve hesaplama araçları, incelenen örnek hammadde sahasında model kurma ve kestirim gerçekleştirme amacıyla kullanılabilir. Önerilen yordam, uzaklığa ve komşuluğa dayalı matris yapılarının oluşturulması ve determinant çözümüne dayalı ağırlıklandırma ile ölçümlerin değerlendirilmesine dayanmaktadır.
- Önerilen yordam, bütünsel ve bölgesel analizlere olanak tanımakta ve uzaklığa bağlı ilişki kullanılarak elde edilen etki zonları çerçevesinde kestirim sonuçları sağlamaktadır.
- Önerilen kestirici, *ISDW* ve *k-NN* yöntemlerindeki gibi kabullere ve önceden kullanıcı tarafından belirlenecek komşu sayısına ihtiyaç duymamaktadır. Nitekim veriden öğrenme yoluyla oluşturulan bir ağ yapısında ağırlıklı mekânsal analiz gerçekleştirmektedir.
- Deneysel çalışmalar özellikle bölgesel TIBI yordamının benzer yöntemlerden daha başarılı sonuç ürettiğini göstermiştir. *ISDW* ve benzeri enterpolasyonların düzgünleştirme düzeyleri ile karşılaştırıldığında veri değişkenliğini, kestirim sonuçlarında daha iyi üretebildiği gözlemlenmiştir.

Uzaklığa, zamana ve konuma bağlı öğrenmenin istatistiksel araçlarla gerçekleştirilmesi bu tez çalışmasının gerçekleştirilen hedefleridir. Saha ölçeğinde veriden öğrenme; şeffaf (transparent) ve güçlü (robust) model yapıları içerisinde gerçekleştirildiğinde pratikte ihtiyaç duyulan kararlar için etkili zemin oluşturmaktadır. Bu yolla karar verici; madencilik, çevrebilim ve hidrojeoloji gibi alanlarda karşılaşılan belirsizliklerin değerlendirilmesi için yeni ve alternatif araçlara sahip olmakta, sahanın haritalanması için esnek ve uyarlanabilir model yapılarını kullanabilmektedir.

KAYNAKLAR

- Abzalov, M.** (2016). Applied Mining Geology, Switzerland: Springer.
- Akbulut, İ., Çam, İ., Aksoy, T., Ölmez, T., Çağlan, D., Onak, A., ... , Çalışkan V.** (2014). Stability studies of the eastern slopes of Afşin – Elbistan, Kışlaköy open – pit lignite mine (Kahramanmaraş, SE Turkey), using the ‘finite elements’ and ‘limit equilibrium’ methods, Bulletin of MTA, 148, 107 – 118.
- Alexiou, D. & Tsouros, C.** (2017). Design of an irrigation network system in terms of canal capacity using graph theory. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 143, 1 – 5.
- Begbie, M., Craw, D., Rufaut, C. & Martin, C.** (2007). Temporal and spatial variability of acid rock drainage in a rehabilitated coal mine, Wangaloa, South Otago, New Zealand, New Zealand Journal of Geology & Geophysics, 50, 227 – 238.
- Besbelli, B., Karaca, K., Gökmenoğlu, D.,** (2009). Afşin – Elbistan Kömür Havzası HB ve HD Sektörlerinin Jeoloji, Rezerv ve Hidrojeoloji Raporu (Rapor No: 11238). Ankara: MTA Kurumsal Raporu.
- Bivand, R.S., Pebesma, E. & Virgilio, G-R.** (2013). Applied Spatial Data Analysis with R, New York, USA : Springer-Verlag.
- Borga, M. & Vizzaccaro, A.** (1997). On the interpolation of hydrologic variables: formal equivalence of multiquadratic surface fitting and kriging. Journal of Hydrology. 195, 160 – 171.
- Büyükköse, Ş. & Kaya Gök, G.** (2018). Graf Teoriye Giriş. Ankara, Türkiye: Nobel.
- Cangül, İ. N.** (2017). Graf Teori – I, Bursa, Türkiye : Dora.
- Chun, Y. & Griffith, D. A.** (2013). Spatial Statistics & Geostatistics. London, United Kingdom : SAGE Publications.
- Chuvieco, E.** (2016). Fundamentals of Satellite Remote Sensing: An Environmental Approach. Boca Raton, USA: CRC Press.
- Courtin – Nomade, A., Grosbois, C., Bril, H. & Roussel, C.** (2005). Spatial variability of arsenic in some iron – rich deposits generated by acid mine drainage, Applied Geochemistry, 20, 383 – 396.
- Dale, M. R. T. & Fortin, M. J.** (2010). From graphs to spatial graphs, 41, 21 – 38.
- Davis, J. C.** (2002). Statistics and Data Analysis in Geology. New York, USA : John Wiley & Sons.
- Denton, O. A., Aduramigba – Modupe, V. O., Ojo, A. O., Adeoyolanu, O. D., Are, K. S., Adelana, A. O., ... , Oke, A. O.** (2017). Assessment of spatial variability and mapping of soil properties for sustainable agricultural production using geographic information system techniques (GIS), Cogent Food & Agriculture, 3, 1 – 12.
- Diestel, R.** (2017). Graph Theory. Berlin, Germany : Springer – Verlag,
- Diudea, M. V.** (2018). Multi – shell Polyhedral Clusters. Cham, Switzerland: Springer.

- Duman, I. & Tutmez, B.** (2020). A topological index – based new smoother for spatial interpolation. Earth Science Informatics, Baskıda, (DOI: <https://doi.org/10.1007/s12145-020-00447-8>).
- Erkasap, M.** (2012). Afşin – Elbistan Linyit İşletmeleri Drenaj Suları ile Kömür Havzası Su Kalitesinin İncelenmesi (Yüksek Lisans Tezi). Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray.
- ESRI.** (2018). (Environmental Systems Research Institute ArcGIS Release 10.6.Redlands, CA.
- EÜAŞ.** (2018). Afşin Elbistan Linyitleri İşletme Müdürlüğü Jeoloji Şube Müdürlüğü Mayıs Ayı Faaliyet Raporu, Ankara.
- Fortin, M. J., James, P. M. A., MacKenzie, A., Melles, S. J. & Rayfield, B.** (2012). Spatial statistics, spatial regression, and graph theory, Spatial Statistics, 1, 100 – 109.
- Frigerio, I., Ventura, S., Strigaro, D., Mattavelli, M., Amicis, M. D., Mugnano, S. & Boffi, M.** (2016). A GIS – based approach to identify the spatial variability of social vulnerability to seismic hazard in Italy, Applied Geography, 74, 12 – 22.
- Gao, W., Liang, L. & Gao, Y.** (2016). Contributions on Topological Indices of Chemical Graph Theory. USA: Lap Lambert Academic Publishing.
- Gautam, S., Teraiya, J. & Patra, A. K.** (2018). Spatial statistics, spatial correlation and spatial graph theory in air pollution, Environmental Technology & Innovation, 11, 384 – 389.
- Goovaerts, P.** (2010). Combining Areal and Point Data in Geostatistical Interpolation: Applications to Soil Science and Medical Geography, Mathematical Geosciences, 42, 535 – 554.
- Gökmenoğlu, O.** (2019). Afşin – Elbistan Kömür Üretim Sahasında Olası Drenaj Sorunlarının Hidrokimyasal ve İzotopik Tekniklerle İncelenmesi (Yüksek Lisans Tezi). Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Gökmenoğlu, O. ve Aslan, M.** (2013). Kahramanmaraş Afşin – Elbistan Kömür Havzası Hidrojeoloji İncelemesi Projesi Hurman Çayı Doğu Bölgesi Drenaj Raporu. Ankara : MTA Kurumsal Raporu.
- Gross, J. L., Yellen J. & Anderson, M.** (2018). Graph Theory and Its Applications. Boca Raton, USA: CRC Press.
- Gupta, R. P.** (2003). Remote Sensing Geology. Heidelberg, Germany: Springer.
- Gutman, I.** (2013). Degree – Based Topological Indices, Croatica Chemica Acta, 86 (4), 351 – 361.
- Harrison, W. K.** (2016). The role of graph theory in system of systems engineering. IEEE Access. 4, 1716 – 1742.
- Janežič, D., Miličević, A., Nikolić, S. & Trinajstić, N.** (2015). Graph – Theoretical Matrices in Chemistry. Boca Raton, USA: CRC Press.
- Journel, A. G. & Huijbregts, C. J.** (1997). Mining Geostatistics. New Jersey, USA: The Blackburn Press.

- Kanevski, M., Pozdnoukhov, A. & Timonin, V.** (2004). Machine Learning for Spatial Environmental Data: Theory, Applications and Software. Lausanne, Switzerland: EPFL Press.
- Kaya Gök, G.** (2019). On the topological matrix and topological indices, AKCE International Journal of Graphs and Combinatorics, Baskıda, (DOI: <https://doi.org/10.1016/j.akcej.2019.07.001>).
- Kelejian, H. & Piras, G.** (2017). Spatial Econometrics. London, United Kingdom: Academic Press.
- Konstantinova, E.** (2011). Information – Theoretic Methods in Chemical Graph Theory. In M. Dehmer, F. Emmert – Streib, A. Mehler (Eds.), *Towards an Information Theory of Complex Networks: Statistical Methods and Applications*. (5th ed., Vol. 1, pp. 97 – 126). New York : Springer.
- Lam, C. & Souza, P. C.** (2019). Estimation and Selection of Spatial Weight Matrix in a Spatial Lag Model. Retrieved December 22, 2019, from <https://doi.org/10.1080/07350015.2019.1569526>
- Lantuéjoul, C.** (2002). Geostatistical Simulation: Models and Algorithms. Berlin, Germany: Springer.
- Li, L. & Huang, G.** (2016). Groundwater level mapping using multiple-point geostatistics, Water, 8 (9), 400.
- Lloyd, C. D.** (2010). Local Models for Spatial Analysis. Boca Raton, USA: CRC Press.
- Mert, B. A. & Dağ, A.** (2015). Development of a GIS – based information system for mining activities: Afsin – Elbistan lignite surface mine case study, Int. J. Oil, Gas and Coal Technology, 9, 192 – 214.
- Moon, C. J., Whateley, M. E. G. & Evans, A. M.** (2006). Introduction On Mineral Exploration. Malden, USA: Blackwell Publishing.
- Mucherino, A., Papajorgji, P. J. & Pardalos, P. M.** (2009). Data Mining in Agriculture. London, United Kingdom : Springer.
- Nourani, V., Mogaddam, A. A. & Nadiri, A. O.** (2008). An ANN – based model for spatiotemporal groundwater level forecasting, Hydrological Processes, 22, 5054 – 5066.
- Rogerson, P. A.** (2020). Statistical Methods for Geography: A Student' s Guide. California, USA: SAGE Publications.
- Sanderson, C. & Gruen, R.** (2006). Analytical Models for Decision Making. New York, USA : Open University Press.
- Schabenberger, O & Gotway, C. A.** (2005). Statistical Methods for Spatial Data Analysis. Boca Raton, USA: Chapman & Hall / CRC.
- Schultz, H. P., Schultz, E. B. & Schultz, T. P.** (1990). Topological organic chemistry. 2. graph theory, matrix determinants and eigenvalues, and topological indices of alkanes, J. Chem. Inf. Comput. Sci., 30, 27 – 29.
- Sinclair, A. J. & Blackwell, G. H.** (2002). Applied Mineral Inventory Estimation. Cambridge, United Kingdom : Cambridge University Press.
- Sen, Z.** (2009). Spatial Modeling Principles in Earth Sciences. London, United Kingdom : Springer.

- Tercan, A. E. & Özçelik, Y.** (2004). Bir Andezit Ocağında Bazı Mekanik Özelliklerin Jeostatistiksel Benzetimi. 7. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu, (pp: 119 – 123). Türkiye: Cumhuriyet Üniversitesi, 21 – 22 Ekim.
- Tutmez, B.** (2007). An uncertainty oriented fuzzy methodology for grade estimation, *Computers and Geosciences*, 33, 280 – 288.
- Tutmez, B.** (2008). An algorithm for quantifying regionalized ore grades, *The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 108, 81 – 88.
- Tutmez, B.** (2010). Assessment of porosity using spatial correlation-based radial basis function and neuro-fuzzy inference system, *Neural Computing & Applications*, 19, 499 – 455.
- Tutmez, B.** (2020). Statistical learning algorithm for concurrency of tensile strength tests, *Engineering with Computers*, Baskıda, (DOI: <https://doi.org/10.1007/s00366-019-00911-0>)
- Varouchakis, E. A., Theodoridou, P. G. & Karatzas, G. P.** (2020). Decision – making tool for groundwater level spatial distribution and risk assessment using geostatistics in R, *Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste*, Baskıda, (DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HZ.2153-5515.0000464](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HZ.2153-5515.0000464)).
- Wackernagel, H.** (2003). *Multivariate Geostatistics: An Introduction with Applications*. Berlin, Germany: Springer.
- Wagner, S. & Wang, H.** (2019). *Introduction to Chemical Graph Theory*. Boca Raton, USA: CRC Press.
- Wang, F., Wang, J. & Wang, Y.** (2019). Using multi – fractal and joint multi – fractal methods to characterize spatial variability of reconstructed soil properties in an opencast coal – mine dump in the Loess area of China, *Catena*, 182, 104 – 111.
- Webster, R. & Oliver, M. A.** (2007). *Geostatistics for Environmental Scientists Statistics in Practice*. Chichester, England: Wiley.
- Zhao, Y., Liu, Y., He, T., Wang, Y. & Shi, J.** (2013). Spatial variability of cropland soil heavy metal in the gold mine area. *Research Journal of Chemistry and Environment*, 17, 228 – 234.
- Zhou, C., Ding, L., Zhou, Y. & Skibniewski, M. J.** (2019). Visibility graph analysis on time series of shield tunneling parameters based on complex network theory, *Tunnelling Underground Space Technology*, 89, 10-24.

ÖZGEÇMİŞ

Ad – Soyad : İbrahim DUMAN
Doğum Tarihi ve Yeri : 10.02.1985 / MALATYA
E-posta : iboduman@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Lisans:

- İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 2009.

MESLEKİ DENEYİM

- EÜAŞ Afşin Elbistan Linyitleri Takip ve Koordinasyon Müdürlüğü, Kahramanmaraş, 2012 – (devam ediyor).

YÜKSEK LİSANS TEZİNDEN ÜRETİLEN ÇALIŞMALAR

- **Duman, I. & Tutmez, B. (2020).** A topological index – based new smoother for spatial interpolation. *Earth Science Informatics*, Baskıda, (DOI: <https://doi.org/10.1007/s12145-020-00447-8>).