

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YERALTI SU KALİTESİNİN TAHMİN MODELLERİ KULLANILARAK
DEĞERLENDİRİLMESİ; GEDİZ HAVZASI ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hatice Kübra DEMİR

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği Programı

Haziran 2020

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YERALTI SU KALİTESİNİN TAHMİN MODELLERİ KULLANILARAK
DEĞERLENDİRİLMESİ; GEDİZ HAVZASI ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hatice Kübra DEMİR

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Abdüsselam ALTUNKAYNAK

Haziran 2020

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501171508 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Hatice Kübra DEMİR, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “YERALTI SU KALİTESİNİN TAHMİN MODELLERİ KULLANILARAK DEĞERLENDİRİLMESİ; GEDİZ HAVZASI ÖRNEĞİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Abdüsselam ALTUNKAYNAK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Mehmet ÖZGER**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Yasin ABDULLAHZADEHMORADI
İstanbul Gelişim Üniversitesi

Teslim Tarihi : **15 Haziran 2020**
Savunma Tarihi : **29 Haziran 2020**





Aileme,



ÖNSÖZ

Yüksek lisansım ve tez çalışmam boyunca yol gösterici olan ve yardımlarını esirgemeyen saygıdeğer hocam Prof. Dr. Abdüsselam ALTUNKAYNAK'a şükranlarımı sunarım.

Çalışmamda kullandığım verileri sağlayan Su Yönetimi Genel Müdürlüğüne ve personeli Hidrojeoloji Mühendisi Osman Şerif GÜLTEKİN'e yardımları için teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim ve tez sürecinde her sorumu içtenlikle yanıtlayan İTÜ Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği Araştırma Görevlisi Elif KARTAL'a ve tezimi hazırlarken tecrübelerinden oldukça faydalandığım ikiz kardeşim Meteoroloji Yüksek Mühendisi Fatma Betül DEMİR'e teşekkür ederim.

Hayatım boyunca her zaman destekçim olan ve beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan Annem, Babam ve Kardeşlerime sonsuz sevgimi ve teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2020

Hatice Kübra DEMİR
(Hidrojeoloji Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER.....	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY.....	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı.....	4
1.2 Literatür Çalışması	4
2. ÇALIŞMA ALANI VE VERİLER	9
2.1 Çalışma Alanı.....	9
2.2 Veriler	12
2.2.1 Kullanılan Parametreler	13
3. MATERYAL VE YÖNTEM	15
3.1 Materyal	15
3.1.1 Yeraltı Suyu	15
3.1.2 Yeraltı Su Kirliliği ve Kalitesi	17
3.2 Yöntem	18
3.2.1 Optimum İnterpolasyon Yöntemleri.....	19
3.2.2 Kriging Yöntemi.....	21
3.2.3 Semivaryogram analizi	23
3.2.3.1 Semivaryogram modelleri	25
3.2.4 Üçlü Diyagram Metodu	28
3.2.5 Tahmin Haritası Yöntemi	29
3.2.6 İteratif Hata Eğitim Tekniği.....	32
4. UYGULAMA	35
4.1 Kriging Yöntemi	37
4.2 Tahmin Haritası Yöntemi	42
4.3 Performans Değerlendirmesi.....	44
4.4 Yeraltı Su Kalitesi Değerlendirmesi.....	49
5. SONUÇLAR.....	53
KAYNAKLAR.....	57
EKLER.....	63
ÖZGEÇMİŞ	71



KISALTMALAR

YAS	: Yeraltı suyu
SYGM	: Su Yönetimi Genel Müdürlüğü
SKKY	: Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği
TS266	: Türk Standartları Enstitüsü Su Kalite Standartları
DSÖ	: Dünya Sağlık Örgütü
ÜDM	: Üçlü Diagram Modeli (Triple Diagram Model)
İHET	: İteratif Hata Eğitim Tekniği (Iterative Error Training Procedure)
SV	: Semivaryogram
OKH	: Ortalama Hata Karesi
KOKH	: Kök Ortalama Kare Hata
VK	: Nash-Sutcliffe Verimlilik Katsayısı
SAR	: Sodyum Adsorbsiyon Oranı



SEMBOLLER

γ	: Semivaryogram değeri
μ	: Lagrange çarpanı
d	: Mesafe(Adım aralığı)
N	: Veri sayısı
σ	: Verilerin standart sapması
$\bar{x}$	: Verilerin ortalaması
X_{std}	: Verilerin standartlaştırma işlemi sonrası değeri
W	: Tahmin modellerinde kullanılan ağırlık parametresi
Bf	: Bağımlılık fonksiyonu
BDV	: Bağımlı değişkenlerin varyansı
$BzDV$	: Bağımsız değişkenlerin varyansı
W_i	: Ağırlık fonksiyonu
K_x	: x noktasındaki gözlem değeri
K_{x+d}	: K_x noktasından d kadar uzaklıktaki gözlem noktası
$K_{(xi)}$	: x noktasındaki gözlem değeri
$K_{(ti)}$	: x noktasındaki tahmin değeri
d	: İki gözlem noktası arasındaki mesafe
S	: Semivaryogram modeli eşik parametresi
a	: Semivaryogram modeli menzil parametresi
C_0	: Semivaryogram modeli nugget parametresi
C	: Semivaryogram modeli yapısal varyans parametresi
ϵ	: Hata terimi



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Gediz Havzası YAS çekimleri ($\times 10^6$ m ³ /yıl) (Eser,2014).....	12
Çizelge 2.2 : Su kalite parametreleri ve limit değerleri.	14
Çizelge 3.1 : Semivaryogram Modelleri.	27
Çizelge 4.1 : YAS kalite parametrelerinin eğitim grubuna ait temel istatistiksel özellikleri.	37
Çizelge 4.2 : YAS kalite parametrelerinin test grubuna ait temel istatistiksel özellikleri.	37
Çizelge 4.3 : Eğitim verileri için tahmin modelleri performans değerlendirme sonuçları.	45
Çizelge 4.4 : Test verileri için tahmin modelleri performans değerlendirme sonuçları.	45
Çizelge 4.5 : Kalite parametreleri limit değerleri ve limit değerleri aşan nokta sayısı.	50
Çizelge 4.6 : Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Esasları (1999)'nda yer alan Sulama suyu sınıflandırılması.....	51



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : İllerin havzaya dağılımı.	10
Şekil 2.2 : Gediz havzası topoğrafyası ve Gediz Nehri (koyu mavi) drenaj alanı.	11
Şekil 2.3 : YAS kütleleri ile kuyu ve kaynak noktalarının havzadaki konumları.	11
Şekil 3.1 : Hidrolojik çevrim ve yeraltı suyu oluşumu.	15
Şekil 3.2 : Bir akiferin genel yapısı.....	16
Şekil 3.3 : Eğitim ve test noktalarının havzaya dağılımı.	19
Şekil 3.4 : Kriging yöntemine genel bakış.	22
Şekil 3.5 : Deneyisel ve teorik semivaryogram örnek gösterimi.	23
Şekil 3.6 : Oklid uzaklığı örnek gösterimi.	24
Şekil 3.7 : Semivaryogram parametreleri.	28
Şekil 3.8 : SO ₄ konsantrasyonunun havzaya dağılımını gösteren üçlü diagram	29
Şekil 3.9 : Bağımlılık fonksiyonunun belirlenmesi.	31
Şekil 3.10 : İterasyon sayısı-OHK grafiği (Altunkaynak, 2016).	33
Şekil 4.1 : Eğitim veri noktalarının havzaya dağılımı.	35
Şekil 4.2 : Test veri noktalarının havzaya dağılımı.	36
Şekil 4.3 : Kriging interpolasyonunda kullanılan ızgara düğüm bloğu.	38
Şekil 4.4 : Gözlem verileriyle oluşturulmuş deneyisel varyogram.	39
Şekil 4.5 : Lineer semivaryogram modeli.	40
Şekil 4.6 : Parametrelerin semivaryogram modelleri (Lineer): (a)Na. (b) K. (c) Ca (d) Mg. (e) Cl. (f) SO ₄ . (g)NO ₃ . (h)SAR	41
Şekil 4.7 : SAR parametresi için oluşturulan üçlü diagram modeli	43
Şekil 4.8 : NO ₃ parametresi için oluşturulan üçlü diagram modeli	43
Şekil 4.9 : Eğitim verileri için VK değerleri sütun grafiği.	46
Şekil 4.10 : Eğitim verileri için KOKH değerleri sütun grafiği.	46
Şekil 4.11 : Test verileri için VK değerleri sütun grafiği.	47
Şekil 4.12 : Test verileri için KOKH değerleri sütun grafiği.....	47
Şekil 4.13 : Diyagonal doğru diyagramları (a) Kriging modeli, Na (b) Tahmin Haritası yöntemi...49	
Şekil A.1 : Diyagonal doğru diyagramları: (a)Na için Kriging modeli. (b)Na için Tahmin Haritası modeli. (c)K için Kriging modeli. (d)K için Tahmin Haritası modeli. (e)Ca için Kriging modeli. (f)Ca için Tahmin Haritası modeli.	64
Şekil A.1 : (devam) Diyagonal doğru diyagramları : (g)Mg için Kriging modeli. (ğ)Mg için Tahmin Haritası modeli. (h)Cl için Kriging modeli. (ı)Cl için Tahmin Haritası modeli. (i)SO ₄ için Kriging modeli. (j)SO ₄ için Tahmin Haritası modeli.	65
Şekil A.1 : (devam) Diyagonal doğru diyagramları: (k)NO ₃ için Kriging modeli. (l)NO ₃ için Tahmin Haritası modeli. (m)SAR için Kriging modeli. (n)SAR için Tahmin Haritası modeli.	66
Şekil B.1 : Tahmin Haritaları : (a)Na için Tahmin Haritası. (b) K için Tahmin Haritası. (c) Ca için Tahmin Haritası.....	68
Şekil B.1 (devam) : Tahmin Haritası modeli ile oluşturulan tahmin haritaları : (d) Mg için Tahmin Haritası. (e) Cl için Tahmin Haritası. (f) SO ₄ için Tahmin Haritası	69

Şekil B.1 (devam) :Tahmin Haritası modeli ile oluşturulan tahmin haritaları : (g) NO₃ için Tahmin Haritası. (h) SAR için Tahmin Haritası..... 70



YERALTI SU KALİTESİNİN TAHMİN MODELLERİ KULLANILARAK DEĞERLENDİRİLMESİ; GEDİZ HAVZASI ÖRNEĞİ

ÖZET

Su, ekosistemin en önemli bileşeni olup canlıların yaşamı için en temel kaynaktır. Dünyadaki toplam %97' sini denizler ve okyanuslar gibi tuzlu su kaynakları oluştururken %3'lük kısmını akarsu, göl, yeraltı suları ve buzullar gibi tatlı su kaynakları oluşturmaktadır. İnsan yaşamı için gerekli olan su ihtiyacı çoğunlukla akarsu ve göller üzerine kurulan barajlardan sağlanırken yeraltı suları (YAS) bu kaynaklara alternatif bir kaynak olarak karşımıza çıkmaktadır. İçme-kullanma, tarımsal sulama ve sanayi faaliyetlerinde kullanılabilen YAS kaynakları gerek jeolojik yapıdan kaynaklanan gerek yer yüzeyinden bırakılan kirleticilerden ve beslenmeden kaynaklanan kirleticiler nedeniyle kirlenmeye açık kaynaklardır. Bu nedenle kullanıma sunulmadan önce kalite değerlendirilmesinin yapılması gerekir.

Çalışma alanı olarak seçilen Gediz Havzasında YAS kaynakları içme-kullanma, tarımsal sulama amaçlı kullanılmaktadır. Ancak bölgede gelişen endüstri ve yerleşime bağlı olarak nüfus yoğunluğu YAS kütleleri üzerinde kirletici baskılar oluşturmakta ve bu durum YAS kalitesini olumsuz anlamda etkilememiştir. YAS kalite değerlendirmesi kaynakların özellikle içme suyu ve tarımsal sulama suyu olarak kullanıldığı yerlerde önem arz etmektedir. Bu amaçla değerlendirmede kullanılacak parametrelerin seçiminde Ülkemizde yayınlanan Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (2008) ve İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik (2005) dikkate alınmıştır. Bu doğrultuda YAS kalitesi değerlendirme parametreleri olarak; (Na^+), Potasyum (K^+), Kalsiyum (Ca^{++}), Magnezyum (Mg^{++}), Klorür (Cl^-), Sülfat (SO_4^-), Nitrat (NO_3^-) seçilmiştir. Parametrelere ilişkin kullanım amacına göre aşılması gereken limit değerler ise Dünya Sağlık Örgütü, Avrupa Birliği ve Türk Standartları Enstitüsü (TS 266) tarafından belirlenen değerler dikkate alınarak değerlendirme yapılmıştır.

Gediz Havzası YAS kütlelerine üzerinde bulunan 392 kuyu ve kaynak noktalarından alınan su örneklerinin seçilen parametrelere ait kimyasal analiz ölçüm verileri kullanılarak interpolasyon teknikleriyle parametre değerlerinin havzaya dağılımı belirlenmiştir. Bunun için jeostatistiksel bir interpolasyon tekniği olan Kriging yöntemi ve temelde Kriging yöntemine dayanan, Altunkaynak (2016) tarafından geliştirilen Tahmin Haritası yöntemi kullanılarak optimum interpolasyon tekniğinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Jeoistatistiksel yöntemlerde temel amaç bilinen/verisi bulunan noktalar kullanılarak bilinmeyen/verisi bulunmayan noktaların tahminini yapmaktır. Bunun için en temel araç bölgesel değişkenlerin değerleri arasındaki farkların uzaklığa bağlı değişimlerini belirleyen semivaryogram (SV) fonksiyonlarıdır. SV bir değişkene ait gözlem

noktaları arasındaki korelasyonun ölçülmesini sağlar. Bu çalışmada Kriging modeli oluşturulurken öncelikle SV analizleri yapılmış ve belirlenen SV modellerine göre tahmin değerleri üretilmiştir. Tahmin Haritası yönteminde ise SV' a benzer bir fonksiyon olan Bağımlılık Fonksiyonu (Bf) kullanılmıştır. Bf ile üç değişkenli modeller geliştirilebilir.

Bu çalışmada Kriging ve Tahmin Haritası modelleri geliştirilerek seçilen kalite parametreleri için havza genelinde tahminler yapılmıştır. Bu doğrultuda 392 ölçüm noktasının % 70' i modellerin eğitimde (eğitme veri seti), %30' u ise modellerin doğrulamasında (test veri seti) kullanılmıştır. Eğitim verileri kullanılarak modeller geliştirilmiştir. Bu modeller sonucunda test noktaları için elde edilen tahmin sonuçları ile gözlem noktalarından alınan ölçüm değerleri yakalanmaya çalışılmıştır. Tahminlerin doğruluğunun artırılması amacıyla Altunkaynak (2016) tarafından geliştirilen ve Tahmin Haritası yönteminin bir algoritması olan İteratif Hata Eğitim Tekniği (Iterative Error Training Procedure) ile modeller optimize edilmiştir.

Modellerin verdiği tahmin sonuçlarını değerlendirmede Nash-Sutcliffe Verimlilik Katsayısı (VK) ve Kök Ortalama Kare Hata (KOKH) performans değerlendirme kriterleri olarak kullanılmıştır. Bu kriterlere göre eğitim veri seti için her iki modelinde çok iyi sonuçlar verdiği ancak Tahmin Haritası modelinin Kriging modelinden daha iyi sonuçlar vererek mükemmel performans sergilediği görülmüştür. Test veri seti için ise Kriging yöntemi oldukça kötü sonuçlar vererek başarısız olurken Tahmin haritası yöntemi burada da çok iyi sonuçlar vererek başarılı olmuştur.

Gediz Havzası YAS kalitesi bu çalışmada kullanılan parametreler için değerlendirildiğinde seçilen parametreler için çoğu noktada limit değerlerin aşılmadığı görülmüştür. Bu nedenle birkaç kuyu-kaynak noktası hariç yeraltı sularının icme-kullanma ve tarımsal sulama amaçlı kullanımı bu çalışmada kullanılan parametreler açısından uygundur. Ancak Tübitak, MAM(2018) ve Fugro-Sial(2017)' in Gediz Havzası yaptığı için yaptığı çalışmada YAS kütlelerinin insanı kaynaklı kirletici baskısı altında olduğu dolayısıyla izleme programlarının oluşturulması önerilmiştir. Bu nedenle, daha fazla kalite parametresi kullanarak değerlendirme yapmak, daha doğru sonuçlar elde etmek adına faydalı olacaktır.

EVALUATION OF GROUNDWATER QUALITY BY USING PREDICTION MODELS; GEDİZ BASIN

SUMMARY

Water is the main component of ecosystem and is the main source for the life of living things. Water in the earth is formed by 97% of saltwater resources like sea and ocean, and 3% of fresh water resources like streams, lakes, groundwater and glaciers. While the needed water for life of humans is received from dam which is constructed over the stream, groundwater is an alternative source to these sources. Groundwater sources that can be used in drinking-using, agricultural irrigation and industrial activities are sources that are open to pollution due to both pollutants originating from geological structure and pollutants released from the ground surface and nutrition. For this reason, it is necessary to make a quality assessment before it is put into use.

The quality of water has great importance as well as the presence of water resources. There are physical, chemical and biological parameters that water should or should not contain, depending on using area. However, both surface waters and groundwater are sources prone to pollution and are affected by both natural and man-made pollutants. Point or diffuse pollutants released from the surface can directly contaminate surface waters such as rivers, streams, and streams, and also contaminate groundwater due to the porous and permeable structure of the ground. If contaminated water is used as drinking water, it may be caused dangerous situation for human health. In order to prevent this situation, the limit values of physical, chemical and biological factors in the waters have been determined by the national and international decision makers around the world.

Gediz Basin which is choosen as study area, the groundwater resources are used for drinking-using, and agricultural irrigation. But, depending on the developing industry and settlement in the region, the population density brings about polluting pressures on groundwater bodies and this situation affects groundwater quality negatively. Assessment of groundwater quality is mainly important in the region which use the groundwater resources as drinking-using and agricultural irrigation. For this purpose, the Water Pollution Control Regulation (2008) and the Regulation on Humanitarian Consumption Water (2005) published in our country are taken into consideration in the selection of the parameters to be used in the assessment. Accordingly, (Na^+), Potassium (K^+), Calcium (Ca^{++}), Magnesium (Mg^{++}), Chloride (Cl^-), Sulfate (SO_4^-), Nitrate (NO_3^-) and Sodium Adsorption Ratio (SAR) are selected as assessment of grounwater quality parameters. The limit values that should not be exceeded according to the purpose of use are evaluated taking into consideration the values determined by the World Health Organization, the European Union and the Turkish Standards Institute (TS 266).

Water samples are taken from 392 well located over Gediz Basin and interpolation techniques are used for distribution of selected parameter value belong to chemical analysis measurement data of wells. For this purpose, it was aimed to determine the optimum interpolation technique by using the Kriging method, which is a geostatistical interpolation technique, and the Prediction Map method developed by Altunkaynak (2016), which is basically based on the Kriging method.

Main purpose of the geostatistical methods is to estimate the unknown / non-data points by using known / data points. Geostatistical methods are suitable for variables whose location in time and space is known. These variables are called regional variables and provide the measurement of spatial dependence of the variables that are constantly changing in space. Most of the variables encountered in earth sciences are considered regional variables. For instance; rainfall, chemical concentration in groundwater, hydraulic conductivity are regional variables.

Most important tool for geostatistical methods is Semivariogram (SV) which determine the changes of difference between value of the regional variables. Semivariogram allows measuring the correlation between the observation points of a regional variable.

In this study , while Kriging models was generating, SV analysis was used and the predicted values was produced depend on determined SV model. In the method of Prediction Map, the Dependency Function (similar to SV) was used.

In this study, predictions were made across the basin by generating Kriging and Prediction Map Models. For generating the models, %70 of 392 measurement point was used in calibration (training data set) and %30 of measurement point was used in validation (test data set). Models were developed by using training data, and measurement values taken from observation point were tried to be captured with the estimation results obtained from these models for the test points. In order to increase the accuracy of the predictions, the models were optimized with the Iterative Error Training Procedure, developed by Altunkaynak (2016) and an algorithm of the Prediction Map method. Also Prediction maps that helps the easily observe and interpret the spread of parameter values to the basin were prepared while generating the models.

Nash-Sutcliffe Coefficient of Efficiency and Root Mean Square Error (RMSE) were used as performance evaluation criteria to assess the estimation results given by the models. According to these criteria, it has been observed both two models gives very good results for training data set, but the Prediction Map model performs better than the Kriging model and performs perfectly. For the test dataset, the Kriging method gave very poor results, while the Prediction Map method also succeeded with very good results.

Diagonal model line graphs were drawn to observe the consistency of model prediction results corresponding to the measured values. Diagonal line charts are scatter diagrams used to evaluate the fit of model performance estimation and observation values. In a 1: 1 scatter chart, the 45 ° diagonal line is the best model line. So, the scattered points are close to this line indicate that the model performance is good. In this study, when looking at the diagonal model line graphs of both prediction model results, it is clearly seen that the prediction values obtained with the

Prediction Map method capture the measured values very well and show a distribution close to the diagonal model line.

When Gediz Basin groundwater quality was evaluated for the parameters used in this study, it was seen that the limit values were not exceeded for most of the selected parameters. For this reason, the use of groundwater for drinking and utilization and agricultural irrigation is suitable except for a few wells. However, in the study conducted by Tübitak, MAM (2018) and Fugro-Sial (2017) for the Gediz Basin, it was proposed to create monitoring programs, since the groundwater masses are under human-induced pollutant pressure. Therefore, evaluating using more quality parameters will be beneficial for getting more accurate results.





1. GİRİŞ

Su, canlıların hayatını devam ettirebilmesi için gerekli olan en temel kaynaktır. Su kaynakları içmeden sulamaya, endüstriden enerji üretimine kadar birçok alanda kullanılmaktadır. İnsanlar içme suyu olarak tatlı su kaynaklarına ihtiyaç duyarlar. Bununla birlikte yeryüzündeki toplam suyun sadece %3'ü tatlı su kaynağıdır ve %2'si buzullarda bulunmaktadır. Sadece %1 ise yüzey suyu ve yeraltı suyunu oluşturmaktadır.(World Water Assessment Programme, 2009)

Dünyadaki canlılar arasında suyu en fazla tüketen biz insanlar için, sürekli nüfus artışından dolayı su ihtiyacı da her geçen gün artmaktadır. Bu talep büyük oranda barajlar ve göletler ile karşılanırsa da kuraklık ve iklim değişikliği gibi bazı durumlarda yeterli olmamaktadır. Bu durumda Yeraltı Su (YAS) kaynakları alternatif bir kaynak olarak karşımıza çıkmaktadır. Hem içme-kullanma suyu olarak hem de tarımsal sulama ve sanayide kullanılabilmesi açısından yeraltı suyu oldukça önemli bir kaynaktır.

Su kaynaklarının varlığı kadar suyun kalitesi de büyük önem taşımaktadır. Suyun kullanılacağı alana göre içerisinde bulundurması veya bulundurmaması gereken fiziksel, kimyasal ve biyolojik parametreler vardır. Bununla birlikte gerek yüzey suları gerek yeraltı suları kirlenmeye oldukça eğilimli kaynaklar olup hem doğal hem de insan kaynaklı kirleticilerden etkilenmektedir. Yüzeyden bırakılan noktasal veya yayılı kirleticiler nehir, dere, akarsu gibi yüzey suyunu direkt olarak kirlitebildikleri gibi zeminin gözenekli ve geçirimli yapısına bağlı olarak yeraltı suyunu da kirlitebilmektedir. Kirlenen suların özellikle içme suyu olarak kullanılması insan sağlığı için büyük risk oluşturacak durumların ortaya çıkmasına neden olabilir. Bu nedenle sular kullanıma sunulmadan önce gerekli kimyasal analiz çalışmalarının yapılması önemlidir. Bu nedenle ulusal ve uluslararası karar mercileri tarafından sulardaki fiziksel, kimyasal ve biyolojik etmenlerin, suyun kullanım amaçlarına yönelik olarak limit değerleri belirlenmiştir. Ülkemizde kullanıma sunulacak sular hakkında oluşturulan çeşitli yönetmeliklerle hem limit değerler belirlenmiş hem de yapılacak çalışmalarda izlenecek adımlar, yöntemler ve metodolojiler açıklanmıştır.

(Çevre ve Orman Bakanlığı, 2008; Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2012, 2014, 2016; Sağlık Bakanlığı, 2005). Küresel olarak Dünya Sağlık Örgütü ve Avrupa Birliği bu konuda çalışmalar yapmış ve su kalitesi için belli standartlar belirlemişlerdir.

Su kaynaklarının kirlenmesine neden olan noktasal ve/veya yayılı kirleticiler zamanla yüzeyden yeraltına doğru sızar ve daha ilerleyerek yeraltı suyuna ulaşır. Kirlenen YAS kaynakları doğal olarak yüzeyden yağışla birlikte beslenerek temizlenebilir. Ancak YAS sistemi hidrolik özelliklerinden dolayı yavaş bir sistem olması nedeniyle kirlenen kaynaklar çok uzun sürelerde temizlenebilmektedir. Bu nedenle kirletici kaynaklarına yakın yerlerde bulunan ve özellikle içme suyu ve tarımsal sulama amaçlı kullanılan YAS kütlelerinin kirlilik potansiyeli ve kalite açısından değerlendirilmesi önem arz etmektedir. Bu değerlendirmeler yapılırken aynı dönem için veya geleceğe dönük tahminlerin yapılması ve bu tahminlere dayalı haritalama çalışmalarının yapılması karar vericilere büyük kolaylıklar sağlayacaktır.

Tahmin çalışmalarında temel amaç mevcut verilere bağlı olarak örnek alınmayan/alınamayan noktalardaki değerleri gerçeğe en yakın şekilde tahmin edebilmektir. Arazi çalışmalarında her noktadan örnekler almak arazi yapısı, ulaşım, coğrafi yapı gibi sebeplere bağlı olarak zor olabilmektedir. Yeraltı suyu çalışmalarında da istenilen her noktadan numuneler almak zordur. Bu nedenle tahmin çalışmaları bu alanda önemli bir yer tutmaktadır.

Tahmin çalışmalarında; sahayı temsil eden noktalardan alınan örnekler kullanılarak gözlem yapılamayan diğer noktalardaki durumu kestirebilmek için çeşitli interpolasyon yöntemleri kullanılır. İnterpolasyon yöntemlerini uygulamadan önce verilerin bulundukları alana bağlı olarak istatistiksel analizleri yapılır. Buna mekansal analiz denir. Mekansal analizde interpolasyon için iki yaklaşım uygulanmaktadır. Bunlar deterministik metodlar ve jeostatistiksel metodlardır. Deterministik metodlar sadece matematiksel fonksiyonlarla hesaplama yaparken jeostatistiksel metodlar istatistiksel yaklaşımla hesaplama yapar. Her metodun kullanılacak veri setine ve hesaplanmak istenen niteliğe göre avantajları veya dezavantajları vardır (Kahraman ve Ünsal, 2014).

Tahmin modelleri oluşturulurken büyük veri setlerine ihtiyaç duyulmaktadır ve bu verilerin değerlendirilmesi büyük zaman kayıplarına yol açmaktadır. Bu durumdan kurtulmak için çeşitli bilgisayar yazılımları kullanılmaktadır. ArcGIS ve Surfer gibi

yazılımlar bu çalışmalarda kullanılan yazılımlardır. Ayrıca bu yazılımlar sayesinde yapılan tahmin model sonuçlarının görselleştirilerek haritalandırılması da karar vericilere büyük kolaylık sağlayacaktır.

Bu çalışmada YAS kalitesi belirlenen kalite parametreleri kullanılarak çeşitli interpolasyon yöntemleri ile oluşturan tahmin modelleriyle değerlendirilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla, YAS kaynakları içme-kullanma, tarımsal sulama ve endüstriyel alanda kullanılan Gediz Havzası örnek çalışma alanı olarak seçilmiştir. Havzada YAS kütleleri üzerinde, gelişen endüstri, tarım ve nüfus yerleşiminden kaynaklanan kirlilik tehlikesi de bulunmaktadır. Bu nedenle YAS kaynakları kullanılmadan önce gerekli kimyasal analiz çalışmaları yapılmalı ve bu analizlere bağlı olarak suların kullanılıp kullanılmayacağı değerlendirilmelidir. Bu kapsamda Gediz Havzası YAS kalitesini değerlendirmek amacıyla 8 parametre seçilmiştir. Bu parametreler; Sodyum (Na^+), Potasyum (K^+), Kalsiyum (Ca^{++}), Magnezyum (Mg^{++}), Klorür (Cl^-), Sülfat (SO_4^-), Nitrat (NO_3^-) ve Sodyum Adsorbsiyon Oranı (SAR)'dır. Parametrelerin seçiminde “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, SKKY (Çevre ve Orman Bakanlığı, 2008)’nde kıta içi su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterleri bölümünde belirtilen parametreler ile Sağlık Bakanlığı tarafından yayınlanan “İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik (2005)’de insan sağlığı açısından içme sularında olması gereken parametreler dikkate alınmıştır.

Bu tez çalışmasında Gediz Havzasında yer alan 392 noktadan alınan yeraltı sularına ait kimyasal analiz verileri kullanılarak Kriging yöntemi ve Altunkaynak (2016) tarafından geliştirilen Tahmin Haritası (Prediction Map) yöntemleri ile havza geneli için tahmin modelleri oluşturulmuştur. Bu kapsamda her iki yöntem için de verilerin %70’i eğitme verisi(modelin öğrenimi için), %30’u ise test verisi (modelin doğrulaması için) olarak kullanılmıştır. Tahmin Haritası yönteminde modeli optimize ederek tahmin hatalarını en aza indirmek için yine Altunkaynak (2016) tarafından geliştirilen İteratif Hata Eğitimi Tekniği (Iterative Error Training Procedure) uygulanmıştır. Kriging ve Tahmin Haritası Modelleri oluşturulduktan sonra modellerden elde edilen tahmin değerleri ile gözlem değerleri (suların kimyasal analiz değerleri) arasındaki uyum Kök Ortalama Kare Hata (KOKH) ve Nash Sutcliffe Verimlilik Katsayısı (VK) performans değerlendirme kriterleri kullanılarak karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak Tahmin Haritası yönteminin her iki değerlendirme

kriteri için Kriging yönteminden daha iyi sonuçlar vererek mükemmel performans sergilediği görülmüştür. Elde edilen sonuçlar 4. Bölümde açıklanmıştır.

1.1 Tezin Amacı

Su kaynakları yönetiminde hem günümüz hem de gelecek için kaynakların yeterliliğinin, kalitesinin ve sürdürülebilirliğinin değerlendirilebilmesi için tahmin çalışmaları önemlidir. Yeraltı Su (YAS) çalışmalarında arazinin her noktasından örneklerin alınması zaman ve maliyet açısından uygun değildir. Bu nedenle YAS çalışmalarında modelleme ve tahmin çalışmaları önem arz etmektedir.

Bu çalışmada çeşitli yöntemler kullanılarak YAS kalitesinin havza genelinde modellenmesi ve tahmin performansına göre en uygun yöntemin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda havzadan alınan bütün gözlem noktalarındaki ölçümler yerine toplam gözlem noktalarının %70' i modelin eğitimi için kullanılarak kalan %30'luk test grubu için tahmin değerleri üretilmiştir. Bunun sonucunda geliştirilen modellerden elde edilen tahmin değerleri ve gözlem değerleri arasındaki uyum incelenmiştir. Elde edilen tahmin değerlerinin gözlem değerleriyle yakın sonuçlar vermesi beklenmektedir ve amaçlanmaktadır.

1.2 Literatür Çalışması

Su kaynakları yönetiminde hem günümüz hem de gelecek için kaynakların yeterliliğinin, kalitesinin, sürdürülebilirliğinin değerlendirilebilmesi için tahmin çalışmaları önemlidir. Burada bahsedilen tahmin çalışmaları bilinen noktalar kullanılarak çeşitli interpolasyon yöntemlerle bilinmeyen noktaların tahmin edilmesidir. Bu interpolasyon teknikleri deterministik ve jeostatistik yöntemlerle gerçekleştirilir. Bu yöntemler arasında doğruluğu bir çok çalışma tarafından kanıtlanmış, jeostatistiksel bir yöntem olan Kriging yöntemi en sık kullanılan tahmin yöntemlerinden biridir. Bununla birlikte bu yöntemlerin doğruluklarının karşılaştırıldığı bir çok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmaların çoğunda Kriging yönteminin daha az hatalı sonuçlar verdiği belirtilmiştir(Altunkaynak, 2016; Altunkaynak ve Wang, 2010)

Krige (1952) tarafından geliştirilen ve bilinen noktaları kullanarak bilinmeyen noktaların tahminini yapabilen Kriging yöntemi birçok alanda farklı çalışmalarda

kullanılmıştır ve hala kullanılmaktadır. Madencilik (Du ve diğ., 2018), hidrojeoloji (Arslan, 2014), meteoroloji (Ly ve diğ., 2011), hidroloji (Altunkaynak, 2009; Srivastava ve diğ., 2019) , ziraat (Başbozkurt ve diğ.,2013; İmamoğlu ve diğ.,2011) ve daha birçok alandaki çalışmalarda uygulanmıştır.

Kriging yöntemi hem zamansal hem de mekansal verilerle çalıştığından birçok çalışmada kullanılmıştır. Ancak mekansal verilerde her noktadan gözlem yapılması mümkün olmadığından eldeki mevcut veriye bağlı olarak optimum interpolasyon teknikleriyle tahmin çalışmaları yapmak önem arz etmektedir. Bu kapsamda literatürde en sık karşılaşılan çalışmalar arasında zamanmekansal bir değişken olan yağış tahminleri gelir.(Kebaili ve diğ., Chebbi, 2009; Mair ve Fares, 2011; Tobin ve diğ., 2011; Wagner ve diğ., 2012). Bargaoui ve Chebbi (2009) iki farklı kriging yöntemini kullanarak yağış tahminleri yapmışlardır. Mair ve Feres (2011) 34 aylık veri seti ile deterministik ve jeostatistiksel yöntemler olan Ters Mesafe Ağırlığı ve Kriging yöntemlerini kullanarak yağışlı ve kurak dönemler için yağış tahminleri yapmışlardır.

Literatürde bu çalışmanın da konusu olan YAS çalışmalarında da interpolasyon yöntemleri sıklıkla kullanılmıştır. YAS seviyesi ve YAS kalitesi ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır.

Kriging yönteminin en temel unsuru semivaryogramların belirlenmesidir. Çalışma alanındaki gözlem noktalarından elde edilen değişken değerlerinin birbirleriyle ilişkisini, korelasyonunu ölçmeye yarayan semivaryogram (SV) analizleri birçok çalışmada kullanılmıştır. Varouchakis ve Hristopulos (2017) Yeraltı su (YAS) seviyesi değişimlerini inceledikleri çalışmalarında kullandıkları Kriging yöntemine en uygun varyogram modelini belirlemeye çalışmışlardır. Theodoridou ve diğ. (2017) Yunanistan, Doğu Makedonya da 210 km² lik bir alüvyon akifer bölgesinde 250 YAS seviyesi ölçümünü ele almış ve Kriging yöntemi için en uygun varyogram yöntemini geliştirmeye çalışmışlardır. Bu amaçla Bulanık Mantık yöntemi kullanarak her bir tahmin noktası için en uygun komşu noktaların seçilmesi amaçlanmıştır.

YAS seviyesi ölçümlerinde en uygun gözlem ağını belirlemek üzere jeostatistiksel yöntemler (Kriging) ve mekansal analizler kullanılarak da çalışmalar yapılmıştır (Prakash ve Singh, 2000;Theodossiou ve Latinopoulos, 2006).

Literatürde YAS kalitesini ya da kirliliğini değerlendirme amacıyla pek çok araştırma yer almaktadır. Bunlardan bazıları klasik yöntemlerle yapılırken bazıları da çeşitli

interpolasyon yöntemleriyle yapılmıştır. Klasik bir yöntem olarak karar vericilere kolayca değerlendirme yapabilmelerini sağlayan Su Kalitesi İndeksi (Water Quality Index, WQI) literatürde en sık karşılaşılan çalışmalar arasındadır (Şener vd., 2017; Varol ve Davraz, 2015; Zheng vd., 2017).

Klasik yöntemlerde sadece örnek alınan noktalar için değerlendirmeler yapılabilirken jeostatistiksel yöntemlerde ise örnek alınan noktalardaki değerlerin istatistiksel ve konumsal özellikleri de kullanılarak alansal bir değerlendirme ve tahminler yapılabilir. Jeostatistiksel yöntemlerin kullanıldığı birçok çalışma literatürde yer almaktadır (Yidana ve diğ., 2010; Adhikary ve Dash, 2017). Nas ve Berktaş (2010) yaptıkları çalışmada kentsel olarak büyük bir şehir olan Konya (Türkiye) ili için YAS kalite haritası oluşturmayı amaçlamışlardır. Bunun için çeşitli YAS kalite parametrelerinin mekansal dağılımını Ordinary Kriging yöntemi ile belirleyerek incelemişlerdir. Güler ve diğ.(2012) endüstriyel,kentsel ve tarımsal baskıların YAS kimyasına etkisini 24 kalite parametresi ele alarak bulanık kümeler ve Ordinary Kriging yöntemlerini ile analiz etmişlerdir..

Bu tez çalışmasında YAS kalitesi tahmininde Kriging yöntemi ve Altunkaynak(2016) tarafından geliştirilen Tahmin Haritası yöntemi kullanılmıştır. Altunkaynak(2016) yaptığı çalışmada nehirdeki boyuna dağılım katsayısını çeşitli parametreler kullanarak tüm nehir boyunca tahmin etmeye çalışmıştır. Kriging yöntemiyle oluşturduğu eş yükselti eğrilerine Üçlü Diagram Metodu (Triple Diagram Method) yöntemiyle gözlem değerlerini de kullanarak “Tahmin Haritaları” oluşturmuştur. Ayrıca tahmin sırasında oluşacak hatayı en aza indirmek için yine Altunkaynak(2016) tarafından geliştirilen İteratif Hata Eğitimi Süreci (Iterative Error Training Procedure) tahmin haritası yöntemiyle birlikte kullanılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda Nash-Sutcliffe Verimlilik Katsayısı (VK) ve Kök Ortalama Kare Hata (KOKH) performans değerlendirme kriterlerine göre Tahmin Haritası yönteminin Kriging yöntemine göre daha doğru sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Kriging esaslarına dayanan Triple diagram model (TDM) yöntemi Altunkaynak ve diğ.(2003) tarafından ilk defa kullanılmıştır ve yaptıkları çalışmada Van Gölünün su seviyesi zaman serisi modeli geliştirilerek geçmiş verilerden gelecek su seviyeleri tahmin edilmiştir. Sonuç olarak modelin tahmin hatası %10 relatif hatanın altında kaldığından az hata verdiğini göstermişlerdir.

Bu alışmada YAS kalitesini değerlendirilmesi için seçilen Gediz Havzası, endüstriyel olarak gelişmiş olmakla birlikte nüfus yoğunluğu ve tarım alanları da büyük oranda YAS kütleleri üzerinde bulunmaktadır. Sanayi, tarım ve insan kaynaklı kirleticiler YAS kütleleri üzerinde kirletici baskıları oluşturmaktadır. Tübitak MAM (2018) tarafından yapılan “Gediz Havzası Nehir Havza Yönetim Planının Hazırlanması Projesi” nde Gediz havzasını çok yönlü olarak değerlendirilmiş ve 76 YAS kütlelerinin 33’ünün miktar ve kalite açısından zayıf durumda olduğu belirlenmiştir.

Bu alışmada Kriging ve Tahmin Haritası interpolasyon yöntemleri kullanılarak Gediz Havzası YAS kalitesi analizi yapılmıştır. Bu amaçla havzadaki YAS kütleleri üzerinde yer alan kaynak ve kuyulardan alınan su örneklerine ait kalite parametrelerinin kimyasal analiz verileri kullanılarak oluşturulan Kriging ve Tahmin Haritası modellerle bilinmeyen noktalarda tahmin değerleri elde edilmiştir. Son olarak tahmin değerleri ile gerçek (gözlem) değerleri karşılaştırılarak Nash-Sutcliffe Verimlilik Katsayısı ve Kök Ortalama Karesel Hata performans değerlendirem kriterleri ile modellerin başarısı değerlendirilmiştir.



2. ÇALIŞMA ALANI VE VERİLER

İnsan yaşamı için gerekli olan tatlı su talebini karşılayan yüzeysel sular(akarsular ,göl ve göletler vs.) ve yeraltı su (YAS) kaynakları yüzeyden bırakılan kirleticiler nedeniyle kirlenmeye oldukça duyarlı kaynaklardır. Özellikle endüstriyel ve insani atıklar nedeniyle oluşan kirliliklere akarsu havzalarında sıklıkla rastlanmaktadır. Ayrıca tarımda kullanılan pestisitler gibi zararlı kimyasallar da topraktan sızma ile yeraltına ulaşarak YAS üzerinde kirletici baskısı oluşturmaktadır.

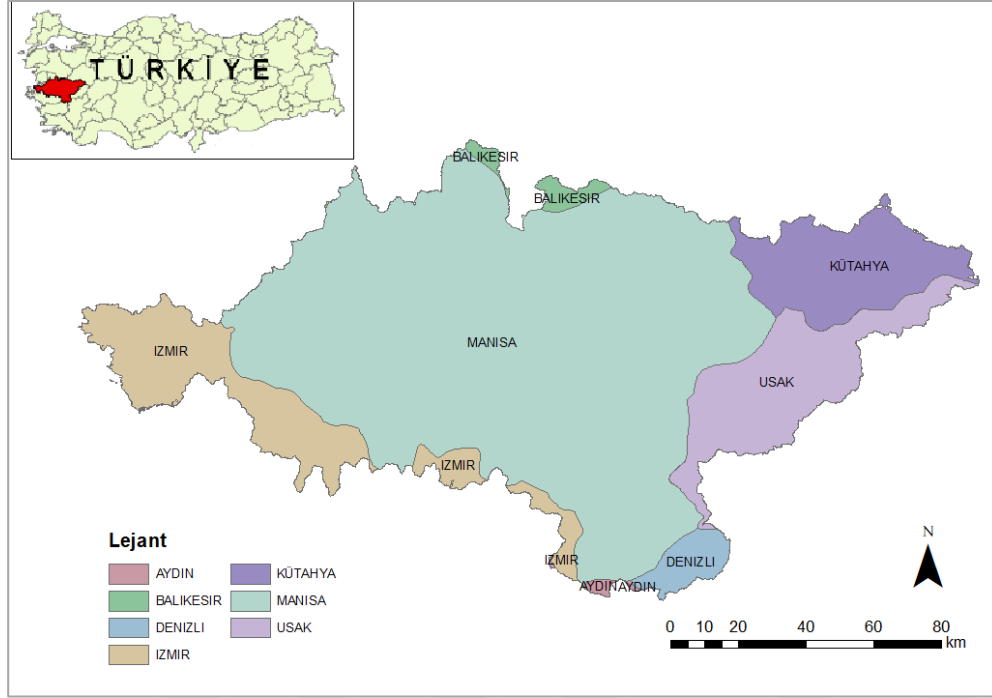
Bu tez çalışmasında YAS kalitesini değerlendirmek üzere YAS kaynaklarından içme-kullanma suyu ve tarımsal sulama amaçlı faydalanan Gediz Havzası çalışma alanı olarak seçilmiştir. Havzada sanayi alanlarının ve nüfusun yoğun olduğu illerin yer alması YAS kaynakları üzerinde kirletici baskılar oluşturmaktadır. Çalışmada havzadaki YAS kütlelerine ait kimyasal analiz verileri kullanılarak havzanın YAS kalitesi değerlendirilmiştir.

2.1 Çalışma Alanı

Gediz Havzası; Türkiye'nin batısında, coğrafi bakımdan 38°04'-39°13' kuzey enlemleri ile 26°42'-29°45' doğu boylamları arasında yer almaktadır. Ege bölgesine ait 7 il bu havzada bulunmaktadır ve en büyük alanı kapsayan Manisa ili havzanın %64' ünü oluşturmaktadır (Şekil 2.1). Havza 17.500 km² alanıyla Türkiye' de yer alan 25 havzadan biridir ve havza büyüklüğü bakımından 5. sırada yer almaktadır. Havzanın en büyük nehri 275 km uzunluğundaki Gediz Nehri olup birçok dere ile birleşerek Ege Denizi' ne dökülür (Şekil 2.2). Havzada içme suyu temini, tarımsal sulama, taşkın koruma, enerji üretimi maksatlı kurulan 5 baraj, 2 gölet ve 1 tane hidroelektrik santral bulunmaktadır (Tübitak MAM, 2018).

Havzada 19 ilçe bulunmaktadır ve toplam nüfusu 870.683' dür. Nüfusun büyük çoğunluğu, endüstriyel faaliyetler ve sulamalı tarım alanları ovalarda ve deltada yer almaktadır. Havzada arazinin %52' sini tarım alanları, %10' unu ise yerleşim alanları oluşturmaktadır. Geriye kalan %38' lik kısmı ise ormanlık ve çalılık alanlar ile göller ve tuzlalardan oluşturmaktadır (T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2019). Dolayısıyla

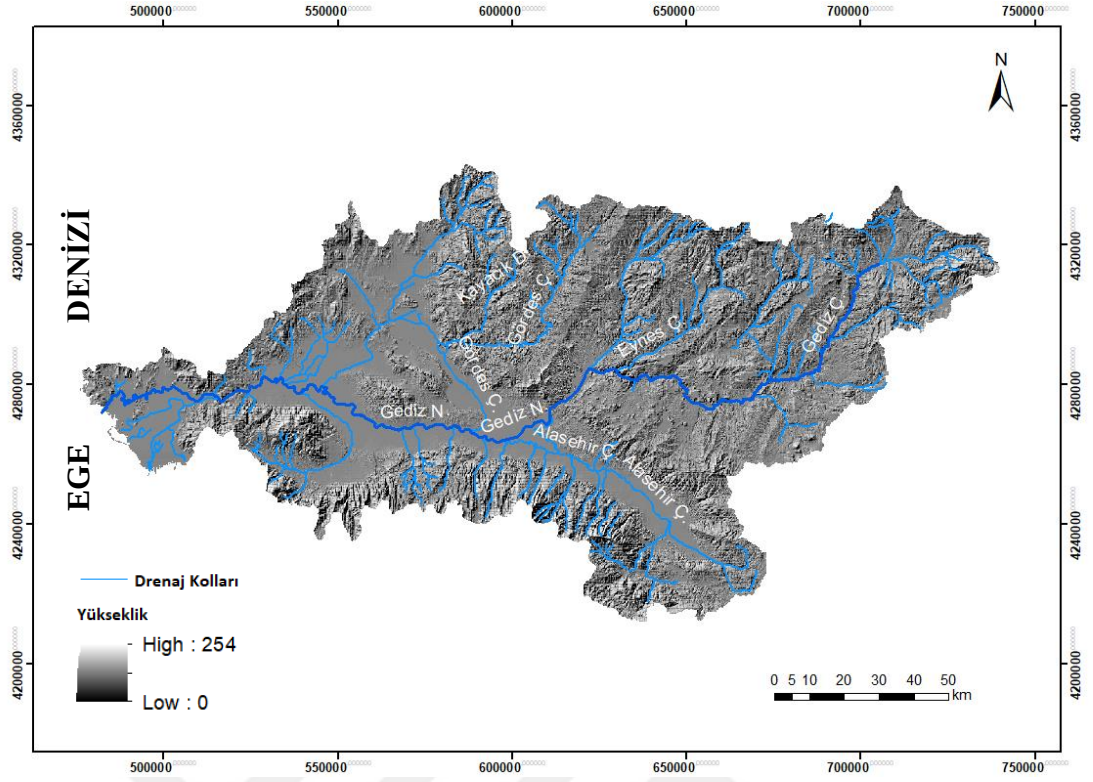
bölgedeki su ihtiyacının büyük bir kısmı tarımsal sulama amaçlıdır. Bu ihtiyacın büyük çoğunluğu Demirköprü, Gölarmara ve Afşar Barajlarından karşılandı, içme-kullanma suyu ve tarımsal sulama amaçlı olarak kullanılan yeraltı su kaynakları da kullanılmaktadır(Tubitak MAM, 2018).



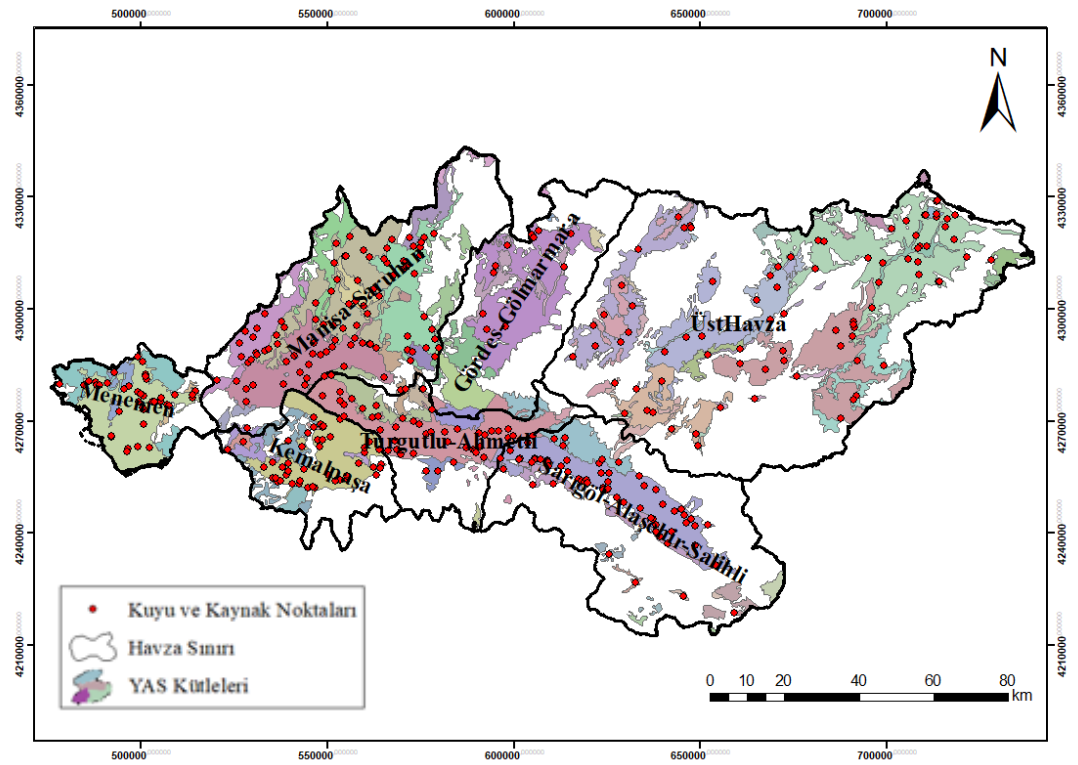
Şekil 2.1 : İllerin havzaya dağılımı.

Gediz Havzasının su bütçesine bakıldığında, yağışın %58,63'ünün buharlaşma ve terleme kaybına uğradığı, %13,15'inin yüzeysel akışa geçtiği ve % 28,22'sinin ise zemin suyu ve yeraltı suyu beslenimini oluşturduğu belirlenmiştir (Eser Mühendislik Müsavirlik A.Ş, 2014).

Bölgede endüstri de oldukça gelişmiş durumdadır. Gıda, elektronik, otomotiv, dericilik, tekstil, mobilya ve ağaç işleri gibi sektörlerin yer aldığı birçok organize sanayi bölgesi yer almaktadır. Havzadaki bu yoğun yerleşim, sanayi ve tarımsal faaliyetlerin neden olduğu atıklar yüzey ve yeraltı suyunda kirlenme riskini artırmaktadır. Bununla birlikte içme suyu, kullanma suyu ve tarımsal sulama amaçlı su talebinin bir kısmının YAS' dan karşılandığı bu bölgede, YAS kullanıma sunulmadan önce kalite değerlendirmesi yapmak önemlidir. Bu nedenle çalışma alanı olarak Gediz Havzası seçilmiştir.



Şekil 2.2 : Gediz havzası topoğrafyası ve Gediz Nehri (koyu mavi) drenaj alanı.



Şekil 2.3 : Yeraltı su kütleleri ile kuyu ve kaynak noktalarının havzadaki konumları.

Havzada içme-kullanma ve sulama amaçlı YAS çekimi en fazla Sarıgöl-Alaşehir ve Manisa-Saruhanlı alt havzalarındadır. Havzada 1 yılda toplam çekilen YAS miktarı 884,15 m³’ tür (Çizelge 2.1)

Çizelge 2.1 : Gediz Havzası yeraltı suyu kullanım miktarları (x10⁶ m³/yıl)
(Eser,2014).

Alt Havza	Üst Havza	Sarıgöl Alaşehir Salihli	Turgutlu Ahmetli	Gördes Gölmarmara	Manisa Saruhanlı	Kemalpaşa	Menemen	Tüm Havza
İçme-Kullanma Suyu	14,58	17,86	5,39	2,96	90,73	12,04	17,21	160,76
Sulama Suyu	106,78	124	71,63	41,86	168,19	60,76	57,57	630,78
Diğer(hayvan ihtiyacı, sanayi suyu)	5,35	1,94	0,37	0,59	27,86	47,54	8,97	92,61
Toplam	126,70	143,80	77,39	45,41	286,76	120,34	83,75	884,15

Havzada toplam 21.472 kuyu olup bu kuyuların % 89’unun tarımsal sulama amaçlı kullanıldığı, %8’inin kullanma suyu, % 2’sinin ise içme suyu temini amaçlı kullanılmaktadır. Havzadaki kuyuların çoğu DSİ Genel Müdürlüğü ve Özel İdare tarafından açılmıştır (Tübitak MAM, 2018). Bu çalışmada kullanılan kuyu ve kaynak noktaları Şekil 2.3 ‘de gösterilmiştir.

2.2 Veriler

Su; içmeden sulamaya, endüstriden enerji üretimine kadar birçok alanda kullanılmaktadır. Her bir kullanım amacına yönelik olarak, kullanılacak suda bulunması veya bulunmaması gereken elementler, mineraller ve maddeler vardır. Örneğin; sulama amaçlı kullanılacak bir suda Na⁺ (sodyum) iyonunun ve Bor elementinin fazlalığı bitkide ve toprakta çeşitli zararlar oluşturmaktadır (Dorak vd., 2019). İçme suyunda ise en belirgin kirleticiler jeolojik yapıdan kaynaklanan arsenik, demir gibi elementler ve tarımsal ilaçlardan kaynaklanan nitrat ve pestisitlerdir.

Gerek yüzey suları gerek yeraltı suları kirlenmeye oldukça eğilimlidirler. Dolayısıyla su kaynakları kullanılmadan önce gerekli kimyasal analiz ölçümleri yapılmalı ve bu analizler ile su kalitesi, suyun kullanım amacına göre belirlenerek değerlendirilmelidir.

Bu tez çalışması için gerekli olan yeraltı suyu kimyasal analiz verileri Su Yönetimi Genel Müdürlüğü Su Kalitesi Dairesi Başkanlığından temin edilmiştir. Devlet Su İşleri

tarafından Eser Mühendislik ve Müşavirlik'e yaptırılan "Gediz Havzası Yeraltı suyu Planlaması-Hidrojeolojik Etüt Yaptırılması"(2014) çalışması kapsamında kuyu ve kaynaklardan alınan su örneklerinin kimyasal analiz ölçüm değerleri kullanılmıştır. Bu ölçümler 3 dönem için (yağışlı-kurak-yağışlı) yapılmıştır. Bu dönemler Mart-Mayıs 2013 (1.dönem, yağışlı), Eylül-Kasım 2013 (2. dönem, kurak), Mart-Mayıs 2014 (3. dönem, yağışlı) şeklindedir. Bu çalışmada 1. döneme ait 392 noktada belirlenen parametreler için alınan su örneklerinin kimyasal analiz verileri kullanılmıştır. Kuyu ve kaynak noktalarının havzadaki konumları Şekil 2.3' de gösterilmiştir.

2.2.1 Kullanılan Parametreler

Havzadaki yeraltı suları çoğunlukla içme-kullanma suyu ve tarımsal sulama amaçlı kullanıldığından her iki kullanım açısından da önemli olan kalite parametreleri değerlendirilmek üzere seçilmiştir. Bu kapsamda Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, SKKY (Çevre ve Orman Bakanlığı, 2008)'de kıta içi su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterleri bölümünde belirtilen parametreler ile Sağlık Bakanlığı tarafından yayınlanan "İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik (2005)" de insan sağlığı açısından içme sularında olması gereken parametreler dikkate alınarak havzadaki Yeraltı Su (YAS) kalitesi değerlendirilmiştir.

Yukarıda belirtilen yönetmeliklere göre seçilen parametreler; Sodyum (Na^+), Potasyum (K^+), Kalsiyum (Ca^{++}), Magnezyum (Mg^{++}), Klorür (Cl^-), Sülfat (SO_4^-), Nitrat (NO_3^-)' dir. Ayrıca tarımsal sulamada su kalitesinde önemli bir gösterge olan Sodyum Adsorbsiyon Oranı (SAR) parametre olarak seçilmiştir. Parametrelere ilişkin Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ), Avrupa Birliği (AB) ve Türk Standartları Enstitüsü (TS266) tarafından belirlenen ve suda bulunması gereken limit değerler Tablo 2.1' de sunulmuştur.

Sudaki Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , Cl^- ve SO_4^- fazlalığı insan sağlığı üzerinde büyük risk oluşturmamakla birlikte belirlenen limit değerlerinin üzerine çıktığında suda tat problemleri oluşturur ve bazı durumlarda ishal yapıcı etkileri ortaya çıkabilir. Bu parametrelerin kaynağı genellikle içinden geçtikleri toprak yapıları ile endüstriyel ve kentsel deşarjlardır (Url-2). NO_3^- ün ise insan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri bulunmaktadır. Vücutta Nitrite dönüşerek kanserojenik etkiye neden olabileceği gibi bebeklerde Mavi Bebek sendromuna neden olabilir. Kaynağı tarımsal faaliyetler, kentsel ve endüstriyel atıklardır (Oğuz, 2015).

Çizelge 2.2 : Su kalite parametreleri ve limit değerleri.

Parametre	TS266	DSÖ	AB
Na ⁺ (mg/l)	200	200	200
K ⁺ (mg/l)	-	-	-
Ca ⁺⁺ (mg/l)	200	100	-
Mg ⁺⁺ (mg/l)	50	-	50
Cl ⁻ (mg/l)	250	250	250
SO ₄ ⁻ (mg/l)	250	500	250
NO ₃ ⁻ (mg/l)	50	50	50
SAR*			

*SAR ile ilgili değerlendirme aşağıda belirtilmiştir.

Tarımsal sulamada ise SAR önemli bir parametredir. Sodyum toprağın yapısını bozarak geçirgenliğini azaltır. Ayrıca sulama sonrası toprak üzerinde sert bir kabuk oluşmasına neden olduğundan bitki köklerinin hava almasını engeller ve bu nedenle bitkiler için zehirli bir ortam oluşturur. Topraktaki Ca⁺⁺ ve Mg⁺⁺ ile sodyumun yer değiştirme eğilimi olarak tanımlanabilir. SAR oranı denklem (2.1) kullanılarak hesaplanır. Burada r ; Na⁺, Ca⁺⁺ ve Mg⁺⁺'nin sudaki konsantrasyonlarını meq/l cinsinden ifade etmektedir (Şener ve diğ., 2015). SAR birimsiz bir parametre olup yüzde olarak değerlendirilmektedir.

$$SAR = \frac{rNa^+}{\sqrt{(rCa^{++} + rMg^{++})/2}} \quad (2.1)$$

SAR değeri yüzde 0-10 arasında ise az sodyumlu sular; yüzde 10-18 arasında ise orta tuzlu sular; yüzde 18-26 arasında ise yüksek tuzlu sular; yüzde 26-32 arasında ise çok yüksek tuzlu sular olarak değerlendirilmektedir. Az sodyumlu ve orta tuzlu sular tarımsal sulama için uygunken yüksek tuzlu sular ise çeşitli önlemlerden sonra kullanılabilir. Çok yüksek tuzlu sular ise tarımsal sulama için uygun değildir.

Tarımsal sulamada dikkat edilmesi gereken bir diğer parametre ise Cl⁻ dir Cl toprak tarafından absorbe edilmezse bitki köklerine ulaşır ve bitkilerde klor zehirlenmesi oluşur. Bu durum yapraklarda kurumaya neden olur. SO₄⁻ de tarımsal sulamada dikkate edilmesi gereken parametrelerden biridir.

Kalite parametreleri belirlendikten sonra seçilen parametrelerinin optimum interpolasyon teknikleriyle havzaya dağılımını belirlenmiş ve seçilen test noktaları için 3. Bölüm' de ayrıntılı olarak açıklanan yöntemler kullanılarak tahminler yapılmıştır.

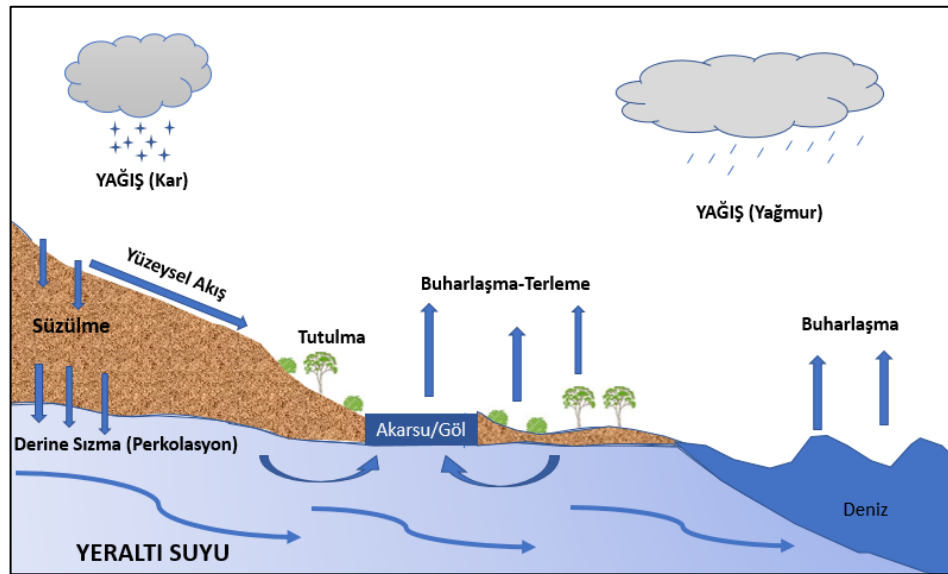
3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada optimum interpolasyon teknikleri ve modern yöntemler ile Gediz Havzası Yeraltı Su (YAS) noktalarından alınan kimyasal analiz verileri modellerenerek havza üzerindeki noktalar tahmin edilmiştir. Kullanılan yöntemler alt başlıklar halinde bu bölümde detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

3.1 Materyal

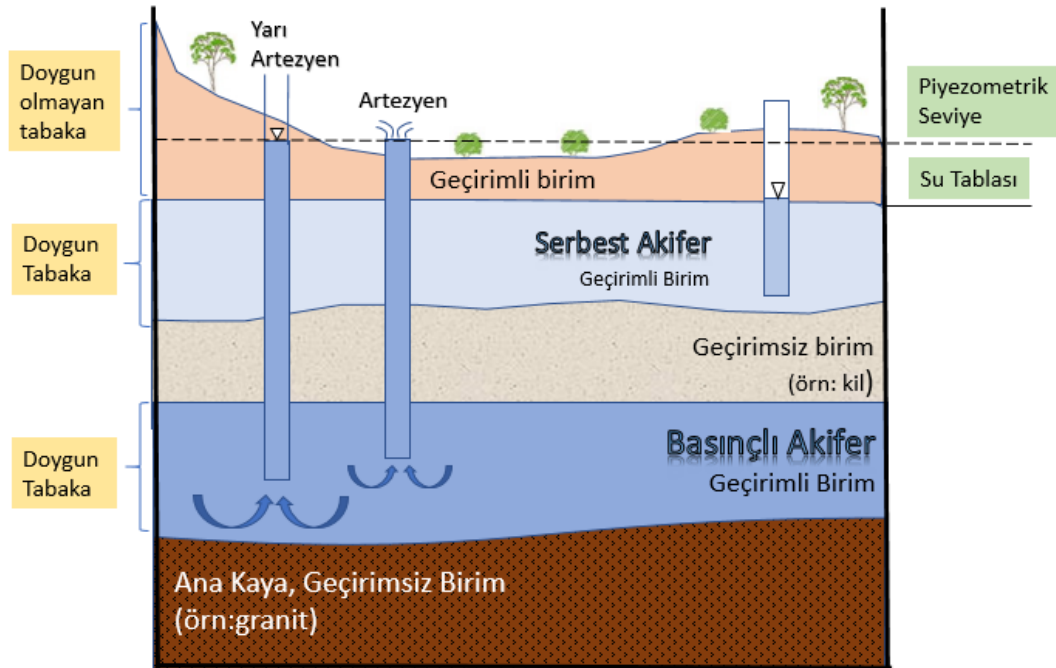
3.1.1 Yeraltı Suyu

Yeraltı suyu (YAS); hidrolojik çevrimin bir parçasıdır ve oluşumu yüzeyde zemin özelliklerine yeraltında ise litolojik birimlerin jeolojik özelliklerine bağlıdır. Yeryüzüne yağmur veya kar olarak düşen suyun bir kısmı yüzeysel akışa geçerken bir kısmı da topraktan süzülme (infiltrasyon) ile yeraltına doğru ilerler. Yüzey altına geçen su buradaki geçirimli birimler aracılığıyla yoluna devam ederek geçirimsiz bir kayaçla karşılaşana kadar ilerler, bu duruma perkolasyon denir. Su geçirimsiz bir katmanla karşılaştığında daha fazla ilerleyemez ve bu katman üzerinde bütün boşlukları doldurarak yükselir. Yeraltında oluşan bu bölgeye “Doygun Tabaka” denir ve içerisinde bulundurduğu su ise “Yeraltı Suyu” olarak adlandırılır.



Şekil 3.1 : Hidrolojik çevrim ve yeraltı suyu oluşumu.

Yeraltı suyu genellikle akifer denilen ortamlarda bulunur. Akifer; gözenekli yapısı sayesinde suyu tutabilme, geçirimli yapısıyla da suyu iletebilme özelliğine sahip olan litolojik birimlerdir (Şekil 3.2). Akiferler bu özellikleri sayesinde yenilebilir kaynaklar olarak gösterilirler. Yani bu birimlerden su çekildikten sonra beslenimine (yağış, akarsular, dereler vs.) ve hidrojeolojik özelliklerine göre (geçirimsizlik, gözeneklilik, hidrolik iletkenlik katsayısı, hidrolik eğim vs.) tekrar su ile dolar. Akiferlere en iyi örnek olarak; alüvyon, kumtaşı, çakıltası ve karstik kireçtaşları verilebilir.



Şekil 3.2 : Bir akiferin genel yapısı

Basınçlı akiferler; iki geçirimsiz tabaka arasında yer alan geçirimli birimde bulunan doygun tabakaya denir. Üstten geçirimsiz birim ile sınırlı olduğundan doğrudan beslenemez. Beslenmesi akiferin yeryüzü ile bağlantılı olan yüksek kesimlerinden gerçekleşir. Basınçlı akiferler yeryüzü ile bağlantılı olmadığından akiferin basıncı atmosfer basıncından yüksektir. Bu basınç sayesinde YAS ilave bir enerjiye gerek kalmadan piyezometrik seviyeye kadar yükselir. Piyezometrik seviye basınçlı akiferlerde yeraltı suyunun enerji düzeyini gösteren hayali çizgidir ve burada açılan bir kuyudan alınacak su piyezometrik seviyeye kadar kendi enerjisiyle çıkar. Eğer piyezometrik seviye yeryüzünün yukarısındaysa ilave bir enerjiye gerek kalmadan su kendiliğinden fışkırır. Bu tip kuyulara “Artezyen Kuyu” denir. Piyezometrik düzeyin yeryüzünün altında kaldığı kuyular ise “Yarı Artezyen” olarak adlandırılır.

Serbest akiferler ise tabandan geçirimsiz veya yarı-geçirimli birimle sınırlanmıştır ancak üst yüzeyi doygun olmayan bölge aracılığıyla yeryüzü ile bağlantılıdır. Bu nedenle serbest akiferlerde akifer basıncı atmosfer basıncına eşittir.. Serbest akiferlerdeki suyun enerjisini gösteren çizgi ise “Su Tablası” olarak adlandırılır ve yeraltı su seviyesini ifade eder. Dolayısıyla bu bölgede açılacak bir kuyuda YAS ancak su tablasına kadar yükselir. Bu nedenle serbest akiferlerden su alabilmek için pompa gibi ilave bir enerjiye gerek duyulur.

Yeraltı suyu sonsuz bir kaynak değildir ve verimli kullanılmadığı takdirde tükenebilir. Verimli kullanım, hem miktar hem de kalite açısından YAS’ın tehlikeye düşmemesidir. YAS kullanılırken emniyetli verimden fazla çekilecek su debileri kuyuda olması gerekenden fazla su seviyesi düşümüne neden olur ve böylece kuyudan su çekilemez. Ayrıca YAS yüzeyden sızma ile beslendiği için çeşitli kirleticilere de maruz kalarak kalite açısından zarar görebilir. Bu nedenle yeraltı sularından faydalanırken en verimli şekilde kullanabilmek için hem miktar hem de kalite açısından değerlendirilmesi gerekir. Bu değerlendirmeler yapılırken YAS’ a belli sınırlar çizerek birbirinden ayrılan YAS kütleleri dikkate alınır (Gültekin, 2015). Bu sınırlar çizilirken YAS’ ın bulunduğu yeraltı kayaçlarının hidrojeolojik özellikleri, yüzeysuyu ve ekosistemle olan ilişkisi, kalite ve miktar açısından maruz kaldıkları baskı ve etki analizleri dikkate alınır. Büyük havzalarda YAS çalışmaları yapılırken YAS kütleleri oluşturulması daha doğru sonuçlara ulaşmak açısından önemlidir.

3.1.2 Yeraltı Su Kirliliği ve Kalitesi

İnsani faaliyetlere bağlı olarak, YAS için kirletici kaynakları genellikle noktasal ve yayılı kirleticiler olmak üzere iki şekilde değerlendirilir. Noktasal kirleticiler kentsel, ve endüstriyel atıksu deşarjları, düzenli ve depolama sahalarından kaynaklanan sızıntı suları, madensel ve jeotermal etkilerden kaynaklanır. Tarımsal faaliyetler, hayvancılık faaliyetleri ve katı atık düzensiz depolama sahaları ise yayılı kirleticiler olarak değerlendirilir. Tüm bu kirletici kaynakları YAS için “baskı” olarak nitelendirilir. Kirleticilerin barındırdıkları zararlı bileşenler bırakıldıkları zeminden yeraltına doğru süzülerek bir zaman sonra yeraltı suyuna ulaşır. Yeraltı suyunda görülen bu kirleticiler nedeniyle su kalitesinin bozulması ve buna bağlı olarak canlıların sağlığının kötü yönde etkilenmesi “etki” olarak nitelendirilir. Bu değerlendirmelerin geneli ise “Baskı ve Etki Analizi” olarak adlandırılır (Fugro-Sial, 2017; Tübitak MAM, 2018). Baskı ve

etki analizi ile hem YAS hemde yüzey sularında insan faaliyetler nedeniyle oluşabilecek riskli durumlar incelenir. Bu analiz sırasında pek çok disiplin birlikte çalışır (Tübitak MAM, 2014).

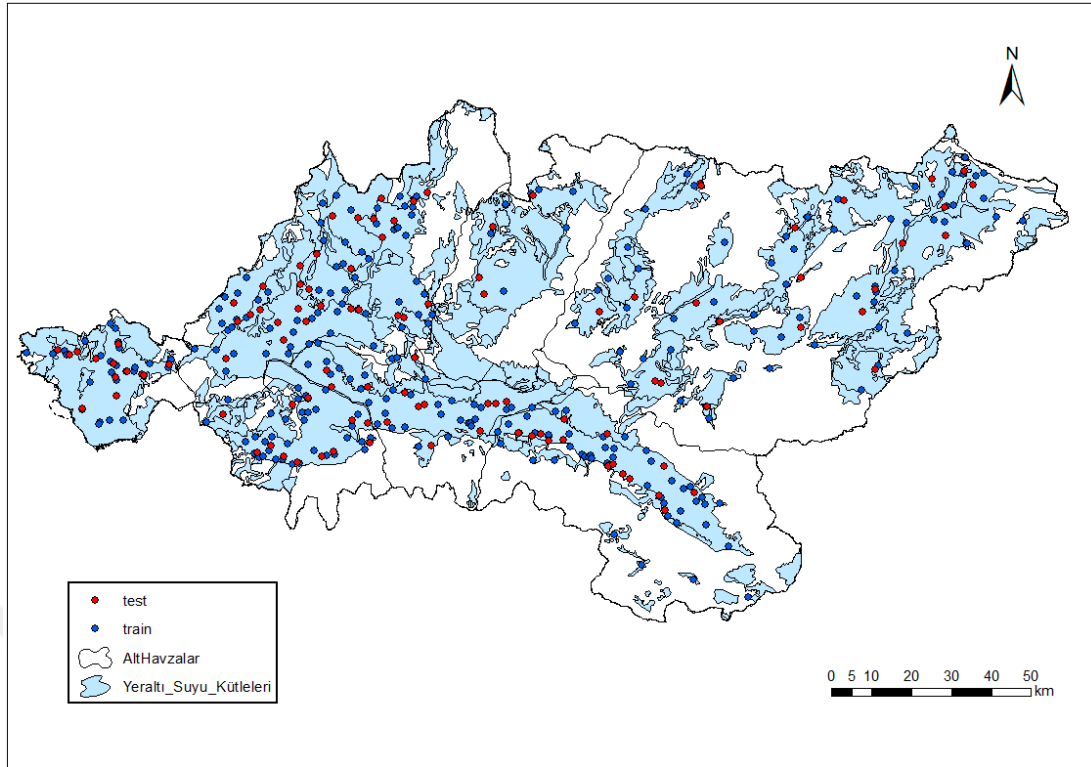
YAS kirliliği sadece insani faaliyetlerden kaynaklanmaz aynı zamanda bulunduğu akiferin jeolojik yapısında YAS kirliliğine neden olan ve kalitesini düşüren diğer bir etmendir. Örneğin bor, arsenik gibi YAS’ da istenmeyen ve insan sağlığı açısından oldukça zararlı olan elementler jeolojik yapıdan kaynaklanan kirleticilerdir.

3.2 Yöntem

Su yönetimi çalışmalarında bir havzada her noktadan su örnekleri alınarak incelemelerin yapılması pek mümkün olmadığından bu çalışmalarda çeşitli interpolasyon metotlarıyla oluşturulan tahmin modelleri önemli ve kullanışlı bir araç olarak karşımıza çıkar.

Zamana ve mekana bağlı olarak değişkenlik gösteren olaylarda günümüz veya gelecek için öngörülerin yapılabilmesi için modelleme çalışmaları önemlidir. Bu modeller interpolasyon yöntemleri ile oluşturulur. Örneğin bir havzaya düşen yağış için bütün noktalarda yağış ölçümü yapmak imkansızdır. Bu durumda havzayı temsil eden birkaç noktada ölçümler yapılır ve bu ölçümlere dayalı olarak çeşitli deterministik, istatistiksel ve jeostatistiksel yöntemlerle ölçüm noktalarının mekana bağlı değişimleri ve birbirlerine bağlı değişimleri belirlenir.

Bu tez çalışmasında Gediz Havzasının YAS kalitesini değerlendirmek amacıyla çeşitli kalite parametreleri dikkate alınarak jeostatistiksel bir yöntem olan Kriging yöntemi ve Altunkaynak (2016) tarafından geliştirilen Tahmin Haritası (Prediction Map) yöntemi kullanılmıştır. Çalışma için gerekli olan YAS kalite parametrelerinin kimyasal analiz değerleri Eser (2014)’ den temin edilmiştir. Eldeki toplam verinin (392 nokta) yaklaşık %70 i (277 nokta) modelin eğitimi/kalibrasyonu (train), %30 u (115 nokta) ise modelin doğrulaması/validasyonu (test) için kullanılmıştır (Şekil 3.3). Modellerin optimizasyonunda oluşan tahmin hatasını azaltmak için ise Tahmin Haritası yönteminin bir aracı olarak yine Altunkaynak (2016) tarafından geliştirilen “İteratif Hata Eğitimi Tekniği” (Iterative Error Training Procedure) kullanılmıştır.



Şekil 3.3 : Eğitim ve test noktalarının havzaya dağılımı.

Modellerde eğitim verileri kullanılarak tüm havzadaki gözlem noktalarında tahmin değerleri elde edilmiştir. Elde edilen tahmin değerleri ile gözlem noktalarındaki ölçüm değerlerinin birbirleriyle uyumları incelenmiş (Çapraz Doğrulama) ve bu inceleme her iki modelde de Kök Ortalama Kare Hata (KOKH) ve Nash–Sutcliffe Verimlilik Katsayısı (VK) performans değerlendirme kriterleri kullanılarak yapılmıştır. Kullanılan yöntemler detaylı olarak alt başlıklar halinde bu bölümde açıklanmıştır.

3.2.1 Optimum İnterpolasyon Yöntemleri

Bir alanda, seçilen örnekleme alanının içinde kalan bilinmeyen noktaların, bilinen noktalar kullanılarak çeşitli yöntemlerle tahmin edilmesi işlemine interpolasyon, dışında kalan noktaların tahmin edilmesine ise enterpolasyon denir ve bu işlemler deterministik ve jeostatistiksel (stokastik) yöntemlerle yapılır (Rutter ve diğ., 1991). Her iki yöntemde de bilinmeyen noktaların tahmini için matematiksel fonksiyonlar kullanılarak interpolasyonlar gerçekleştirilir. Deterministik yöntemlerde bir noktadaki değişken değerinin tahmini için o nokta ve o noktaya komşu noktalar arasında sadece aralarındaki mesafeye bağlı bir ilişki kurulurken jeostatistiksel yöntemlerde verilerin istatistiksel özellikleri, konumsal bağımlılıkları, alansal dağılımı ve mekansal analizi de dikkate alınır (Adhikary ve Dash, 2017). En sık kullanılan deterministik

interpolasyon yöntemleri; Ters Mesafe Ağırlıklılığı (Inverse Distance Weightening) ve En Yakın Komşu Yöntemi (Nearest Neighbor) dir. En sık kullanılan jeostatistik yöntem ise Kriging Yöntemidir ve Simple Kriging, Ordinary Kriging, Universal Kriging, Block Kriging gibi çeşitleri vardır.

Jeoistatistik; zamanda ve/veya uzayda dağılmış olan verilerin istatistiksel özellikleri, gözlem noktalarının konumsal bağımlılığı ve noktalar arasındaki varyansı dikkate alarak işlem yapar. Uygulamalı istatistiğin bir dalıdır ve ilk olarak maden mühendisi Danie Gerhardus Krige (Krige, 1952) tarafından ortaya atılmıştır (Rutter ve diğ., 1991). İlk olarak cevher rezervleri çalışmalarında kullanılsada günümüzde jeoloji, hidrojeoloji, meteoroloji, maden, coğrafya, jeodezi ve daha birçok alanda kullanılmaktadır.

Jeoistatistik; veri kümelerinin mekansal analizlerini yaparak kolayca tahminler oluşturulmasını sağlar. Klasik istatistik yöntemlerden farklı olarak değişkenlerin konumsal bağımlılığı, birbirlerine göre konumları ve aralarındaki korelasyon da dikkate alınır. Buna göre pilot noktasına (tahmin noktasına) yakın noktaların uzak noktalara göre tahmin üzerindeki ağırlığı daha fazladır (Altunkaynak, 2009; Çıtakoğlu ve diğ., 2017). Ancak tahmin ve ölçüm noktaları arasındaki ilişkiyi sadece birbirlerine yakınlık veya uzaklık etkilemez aynı zamanda bulundukları konumlarda ilişkili olabilirler. Matheron (1963) bu soruna çözüm getirmek amacıyla “Bölgesel Değişken Teorisi (Regional Variable)’ ni ortaya koymuştur ve bu kuram Journel ve Huijbreghts(1978) ve Cressie(1992) tarafından geliştirilerek günümüze ulaşmıştır.

Bölgesel değişkenler; her yerde her zaman örnek alınması mümkün olmayan, mekansal süreklilik gösteren ve coğrafi dağılımı (örn. yer yüzeyinin yüksekliği) olan olayları tanımlar. Yer bilimlerinde karşılaşılan değişkenlerin çoğu bölgesel değişkenler olarak kabul edilir (Şen, 2016). Bölgesel değişkenler zaman ve uzaydaki konumu bilinen rastgele değişkenler olarak tanımlanabilir. Uzayda sürekli değişen değişkenlerin konumsal bağımlılığının ölçülmesini sağlayan bölgesel değişkenler teorisi, jeostatistikte kullanılan en önemli araçtır ve temelini semivariyogramlar oluşturur (Altunkaynak, 2015; İmamoğlu ve diğ., 2011; Sertel ve diğ., 2007).

Günümüzde su yönetimi ile ilgili mühendislik çalışmalarının yapılabilmesi için büyük veri setlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu verilerin analizlerinin yapılması sırasında büyük maliyet ve zaman kaybı ortaya çıkar. Bunun yerine, sahayı temsil eden birkaç

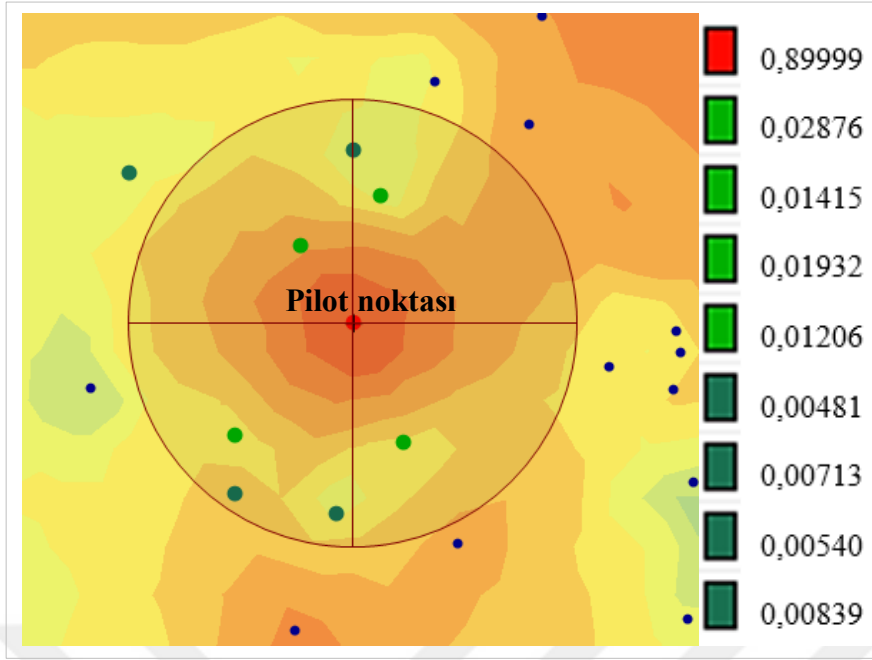
noktadan örnekler alınarak interpolasyon yöntemleriyle sürekli bir yüzey boyunca her noktada değerler oluşturulur. Böylece değişkenin mekansal olarak nasıl dağıldığı belirlenmiş olur. Mekansal analiz, yapılacak çalışmanın coğrafi uygunluğunu değerlendirmek, alanda yer alan unsurların birbirleriyle etkileşimlerini anlamak, bölgesel değişkenleri yorumlamak ve bunların ışığında çeşitli tahminler ve kestirimler elde etmek için etkili bir araçtır (Url-2). Mekansal analiz bilgisayar ortamında SURFER ,ArcGIS gibi programların sahip oldukları yazılımlar yardımıyla kolayca gerçekleştirilebilir. Bu çalışmada yapılan tahminler için SURFER programı kullanılmıştır

Jeoistatistiksel yöntemler mekansal analizler için kullanışlı ve pratik yöntemlerdir. Geoistatistik analizlerin en önemli aşaması semivaryogram (SV) analizleridir. Bu çalışmada da uygulanacak Kriging yönteminde semivaryogram analizleri kullanılmıştır. Tahmin Haritası yönteminde (Altunkaynak, 2016) ise semivaryogram analizine benzer bir uygulama olan Bağımlılık Fonksiyonu (Dependency Fuction) kullanılmıştır.

3.2.2 Kriging Yöntemi

Kriging yöntemi; maden mühendisi Danie Gerhardus Krige (1952) tarafından geliştirilen ve bir bölgesel değişkenin verisi olmayan noktalardaki değerinin tahmin edilmesini sağlayan geoistatistiksel bir optimum interpolasyon yöntemidir. Kriging yönteminin genel formülü Matheron (1970) tarafından geliştirilmiştir (Hartkamp ve diğ. 1999).

Genel olarak Kriging yöntemi, herhangi bir noktadaki (pilot noktası) değişkenin değerinin yine o nokta çevresindeki değişken değerleri kullanılarak matematiksel işlemlerle tahmin edilmesi yöntemidir. Bu işlem yapılırken gözlem noktaları arasındaki korelasyon kullanılarak her bir nokta için ağırlıklandırma yapılır ve bu ağırlıklar semivaryogram (SV) analizleri ile belirlenir(Altunkaynak, 2009; Altunkaynak ve Wang, 2010). Bahsedilen ağırlıklar pilot noktaya komşu noktaların pilot noktası üzerindeki etkisini belirtmektedir. Pilot noktasından uzaklaştıkça komşu noktalara verilen ağırlık değeri de azalır. Kriging yönteminde ağırlıklar SV fonksiyonunun doğrudan bir fonksiyonudur. SV analizleriyle ilgili detaylı bilgi bir sonraki başlıkta detaylı olarak açıklanmıştır.



Şekil 3.4 : Kriging yöntemine genel bakış.

Şekil 3.4’ de Kriging yöntemine ait genel bir bakış sunulmuştur. Burada dairenin merkezi tahmin noktasını (pilot noktası), daire içinde kalan noktalar ise tahminde kullanılan komşu noktaları göstermektedir. Sağ tarafta yer alan renk skalasında ise Kriging yönteminin SV analizleri sonucu komşu noktalara atadığı ağırlıklar yer almaktadır. Şekil incelendiğinde tahmin noktasından uzaklaştıkça ağırlıkların azaldığı görülmektedir.

Kriging yöntemlerini deterministik yöntemlerden ayıran en önemli özelliklerden biri de tahmin için kullanılacak noktaların pilot noktasına olan uzaklığını ve bölgesel değişkenliğini dikkate almasıdır (Altunkaynak, 2009). Deterministik yöntemlerde tahmin noktasına aynı uzaklıktaki noktalara eşit ağırlık değerleri verilirken Kriging de bu noktaların uzaklıkla değişimi ve bölgesel değişkeni de dikkate alınarak farklı ağırlıklar belirlenir.

$$\sum_{i=1}^N W_i = 1 \quad (3.1)$$

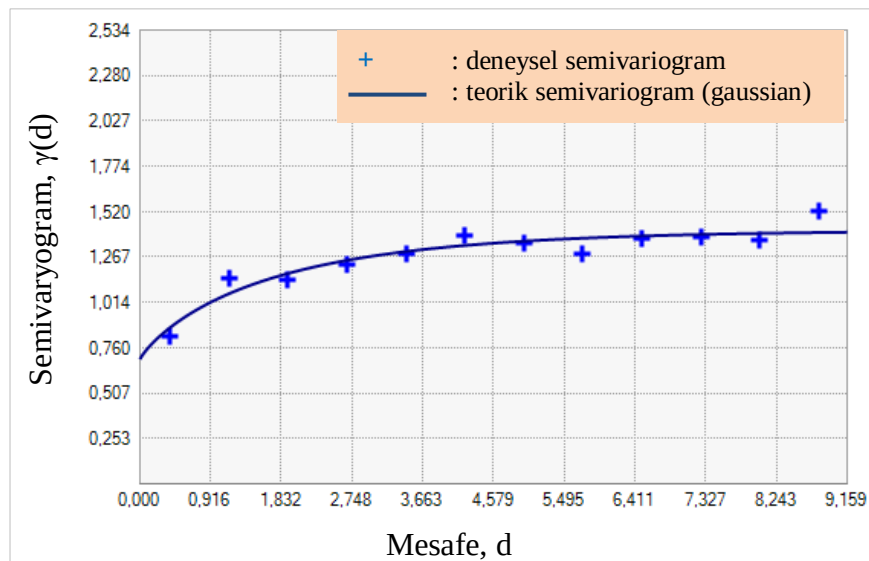
Kriging yönteminde SV analizlerinde tahmin hatalarını minimuma indirecek şekilde ağırlıklar belirlenir. Bu nedenle matematiksel olarak En İyi Yansız Hesaplayıcı (Best Linear Unbiased Estimator, BLUE) olarak bilinir (Altunkaynak, 2016; Yeşilkanat ve diğ., 2014; Sonmez ve Bizimana, 2018). Yansız tahmin yapabilmesi için ağırlıkların toplamının 1’e eşit olması gerekir (3.1).

3.2.3 Semivaryogram analizi

Jeoistatistik çalışmaların en önemli bileşeni olan bölgesel değişkenler teorisinin uygulamalarında esas araç semivaryogramlardır. Semivaryogramlar; bölgesel değişkenlerin değerleri arasındaki farkların uzaklığa bağlı değişimlerini belirler ve değişkene ait gözlem noktaları arasındaki korelasyonun ölçülmesini sağlar (Altunkaynak, 2015; Altunkaynak ve Wang, 2010; Altunkaynak, 2016; Theodoridou vd., 2017). Semivariogram (SV) bölgesel değişkenlerin mekansal bağımlılığının bir ölçüsüdür ve ölçüm noktalarının mekansal otokorelasyonunu ifade etmektedir.

Mekansal dağılıma sahip verilerde aralarında d kadar mesafe bulunan bütün veri çiftleri arasındaki ilişki, bu veri çiftlerinin arasındaki farkların karesinin ortalaması olarak ifade edilir (Denklem 3.1) ve bu büyüklüğe Semivaryogram (γ) denir. Semivaryogram (SV); gözlem noktalarındaki bölgesel değişkenin birbirleri arasındaki bağımlılığı gösteren bir fonksiyondur. SV değerinin yüksek olması veri çiftleri arasındaki ilişkinin az olduğunu gösterir. Veri çiftleri arasındaki uzaklık arttıkça noktalar arasındaki ilişki ve benzerlik azalacağından SV değeri artar ve azaldıkça azalır. Yani korelasyon ile SV ters orantılıdır. Dolayısıyla SV ortalama mekânsal değişimin belirlenmesinde pratik bir yöntemdir (Şen, 2016).

Özetle; SV' ler örnek çiftlerinin varyansı ile mesafe arasındaki ilişkiyi fonksiyonel olarak ifade eden ve mekânsal bağımlılığı tanımlayan araçlardır. SV grafikleri iki aşamada oluşturulur. İlk aşama deneysel SV oluşturulması, ikinci aşama ise deneysel SV' a en uygun teorik SV' nin belirlenmesidir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 : Deneysel ve teorik semivariogram örnek gösterimi.

Semivaryogram analizlerinde öncelikle gözlem değerleri kullanılarak denklem 3.2 ve denklem 3.3 ile Semivaryogram-Mesafe dağılım grafiği oluşturulur ve bu “*Deneysel Varyogram*”ı ifade eder. Denklem 3.2 ile birbirlerine d kadar uzaklıkta bulunan değişken değerleri arasındaki semivaryogram değeri hesaplanır. Burada; $K(x+d)$ ve $K(x)$ birbirinden d kadar uzaklıktaki iki gözlem noktasındaki (gözlem çifti) değişken değerlerini, $N(d)$; aralarında d kadar mesafe olan gözlem çifti sayısını ifade eder. $\gamma(d)$ ise semivaryogram değerini ifade etmektedir.

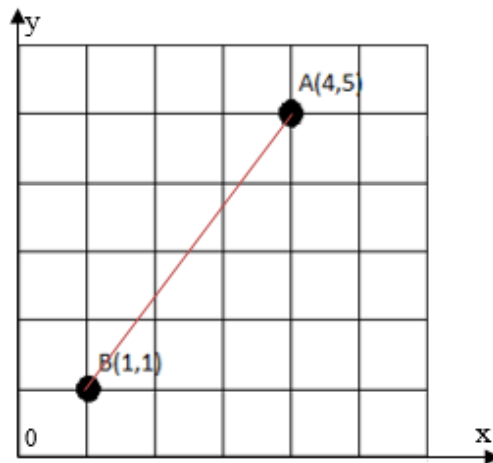
Denklem 3.3 gözlem çiftleri arasındaki d mesafesinin belirlenmesini sağlar. Burada; d_{ij} tahmin noktaları arasındaki yatay uzaklığı (öklid uzaklığı); x_i ve x_j ; i ve j noktalarının x düzlemindeki konumlarını; y_i ve y_j ise noktaların y düzlemindeki konumlarını belirtmektedir.

Şekil 3.5’ de örnek olarak gösterilen Semivaryogram-Mesafe grafiğinde “+” ile gösterilen değerler iki nokta arasındaki mesafenin aynı olduğu nokta çiftlerinin semivaryogram değerlerinin ortalamasını ifade eder ve deneysel varyogramı oluşturur.

$$\gamma(d) = \frac{1}{2N(d)} \sum_{i=1}^{N(d)} [K(x+d) - K(x)]^2 \quad (3.2)$$

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (3.3)$$

d_{ij} iki nokta arasındaki Öklid uzaklığını (Euclidean Distance) belirtmektedir. İki nokta arasındaki en kısa mesafeyi düz bir çizgi şeklinde belirten ölçüme öklid uzaklığı denir. Öklid uzaklığına kuş uçuşu uzaklık da denebilir. Şekil 3.6’ daki örneğe bakılacak olursa A ve B arasındaki öklid uzaklığı denklem 3.3’ den $S = \sqrt{(1-4)^2 + (1-5)^2} = 5$ birim olarak hesaplanır.



Şekil 3.6 : Öklid uzaklığı örnek gösterimi.

Deneyisel SV belirlendikten sonra elde edilen bu deneyisel SV yapısına, hatayı en aza indirecek şekilde bir matematiksel fonksiyon eğrisi uydurulur. Buna “*Teorik Semivaryogram*” denir. Şekil 3.5’ de örnek bir deneyisel ve teorik SV gösterilmiştir. Elde edilen deneyisel SV’ ye en uygun teorik SV’ yi sağlayacak birçok teorik model geliştirilmiştir (Lineer, Gaussian, Küresel, Dairesel vs). Bu modeller başlık 3.2.3.1 de açıklanmıştır.

Deneyisel SV’ ye en uygun teorik SV modeli seçildikten sonra denklem 3.4’ de belirtilen matris, teorik SV fonksiyonundan yararlanılarak çözülür ve elde edilen ağırlıklar ($W_1, W_2, W_3...$) denklem 3.5’ de yerine yazılarak tahmin değerleri elde edilir.

$$\begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \vdots \\ W_n \\ \mu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} & \vdots & \gamma_{1n} & 1 \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} & \vdots & \gamma_{2n} & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \gamma_{n1} & \gamma_{n2} & \vdots & \gamma_{nn} & 1 \\ 1 & 1 & \vdots & 1 & 0 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \gamma_{10} \\ \gamma_{20} \\ \vdots \\ \gamma_{n0} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

Burada γ_{ij} ; tahminde kullanılacak her bir nokta çifti için noktalar arasındaki semivaryogram değerini, γ_{i0} ; tahminde kullanılacak nokta ile pilot noktası arasındaki semivaryogram değerini eder. μ ise denklem sayısını bilinmeyen sayısına eşitleyen Lagrange çarpanıdır.

$$K(t_i) = \sum_{i=1}^N W_i K(x_i) \quad (3.5)$$

$$\sum_{i=1}^N W_i = 1 \quad (3.6)$$

Denklem 3.5’ de $K(x_i)$; tahminde kullanılan noktanın gözlem değerini, W_i ; tahminde kullanılan noktanın tahmine etkisini gösteren ağırlık değerini, $K(t_i)$ ise istenilen tahmin noktasının tahmin değerini ifade etmektedir.

Kriging yönteminde tahminlerin yansız olması için ağırlıkların toplamı 1’ e eşit olacak şekilde ağırlıklandırma işlemi yapılır (3.6). Bu nedenle Kriging yöntemi En İyi Yansız Hesaplayıcı yöntemi olarak bilinir.

3.2.3.1 Semivaryogram modelleri

Deneyisel semivaryograma en uygun teorik semivaryogram modelini belirleyen ve tahmin sonuçlarını etkileyen menzil, eşik, nugget, yapısal varyans gibi parametreler vardır. Bu parametreler bölgesel değişken verilerinin varyans, izotropi, homojenlik

gibi bazı özelliklerine göre değişmektedir. Bu nedenle her veri kümesine uygun teorik semivaryogram modeli farklıdır.

Bu parametreler Şekil 3.7’ de bir Gauss SV modeli üzerinde gösterilmiştir. Burada SV model çizgisinin düzleşmeye başladığı noktanın y eksenine olan uzaklığı “Menzil” olarak adlandırılır ve “a” ile gösterilir. Nokta çiftleri arasındaki bağımlılığın en son hangi mesafeye (d) kadar devam ettiğinin bir göstergesidir. Kısaca birbiriyle ilişkili olan iki nokta arasındaki en büyük uzaklık olarak tanımlanabilir. Menzil içerisindeki alanda veriler birbiriyle ilişkiliyken menzil noktasından sonra veriler korelasyonsuzdur. Şekil 3.7 ‘de verilen örnekte Menzil değeri 30’dur. Bu da demektir ki; iki veri çifti arasındaki adım aralığı 30’ dan fazla olduğunda veriler arasındaki benzerlik ve ilişki çok azdır.

Teorik SV modelleri arasındaki farkları yukarıda bahsedilen parametreler oluşturmaktadır. Her veri seti için uygun farklı SV modelleri olmakla birlikte en sık kullanılan SV modelleri Küresel, Gauss, Üstel ve Linner modellerdir. Bu modeller ve modellere ait formüller Çizelge 3.1 de gösterilmiştir.

Bu çalışmada uygulanan Kriging yönteminde elde edilen SV modelleri ve bu modellere ait parametre değerleri 4. Bölümde ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Bu parametreler Şekil 3.7’ de bir Gauss SV modeli üzerinde gösterilmiştir. Burada SV model çizgisinin düzleşmeye başladığı noktanın y eksenine olan uzaklığı “Menzil” olarak adlandırılır ve “a” ile gösterilir. Nokta çiftleri arasındaki bağımlılığın en son hangi mesafeye (d) kadar devam ettiğinin bir göstergesidir. Kısaca birbiriyle ilişkili olan iki nokta arasındaki en büyük uzaklık olarak tanımlanabilir. Menzil içerisindeki alanda veriler birbiriyle ilişkiliyken menzil noktasından sonra veriler korelasyonsuzdur. Şekil 3.7 ‘de verilen örnekte Menzil değeri 30’dur. Bu da demektir ki; iki veri çifti arasındaki adım aralığı 30’ dan fazla olduğunda veriler arasındaki benzerlik ve ilişki çok azdır.

Bölgesel değişkenlerin konumları arasındaki mesafe (adım aralığı) arttıkça SV değeri de artar ki bu durum iki nokta arasındaki ilişkin/benzerliğinin yani korelasyonun azaldığının göstergesidir. SV değeri belli bir noktaya kadar artar ve bir noktadan sonra sabitleşir. Bu noktanın x eksenine olan uzaklığına yani bu noktadaki semivaryans değerine ise “Eşik” denir ve “S” olarak gösterilir. Bu noktadan sonra veriler korelasyonsuzdur

Çizelge 3.1 : Semivaryogram Modelleri.

Semivaryogram Modeli	Semivaryogram Grafiği
Küresel $\gamma(d) = C \left(\frac{3d}{2a} - \frac{1}{2} \frac{d^3}{a^3} \right) + C_o$ $d \leq a$ $\gamma(d) = C + C_o$ $d > a$	
Gauss $\gamma(d) = C \left(1 - e^{-3\left(\frac{d}{a}\right)^2} \right)$	
Üstel $\gamma(d) = C_o + C \left(1 - e^{-\frac{3d}{a}} \right)$	
Lineer $\gamma(d) = C(d/a) + C_o$ $d \leq a$ $\gamma(d) = C + C_o$ $d > a$	

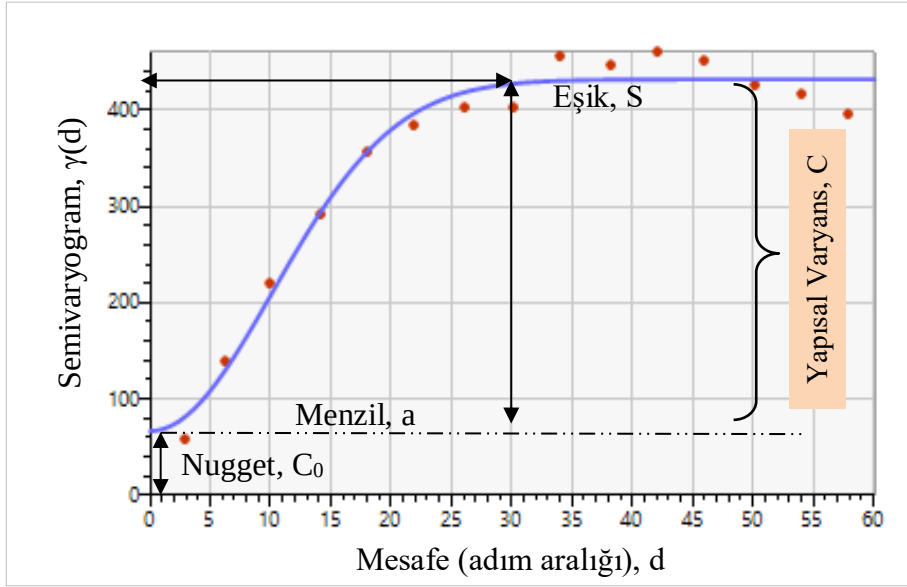
Burada;

d (Mesafe); Nokta çiftleri arasındaki mesafeyi, (adım aralığı da denebilir)

a (Menzil); Nokta çiftlerinin birbiriyle ilişkili (korelasyonlu) olduğu en son uzaklığı

C_o (Nugget); SV modelinin y eksenini kestiği noktayı

C (Yapısal Varyans); Eşik değeri ile nugget arasındaki farkı göstermektedir.



Şekil 3.7 : Semivaryogram parametreleri.

Nugget etkisi (C_0) değişken değerlerinin mekansal olmayan değişimlerinden kaynaklanır ve nokta çifti belirlemenin mümkün olmadığı çok kısa mesafelerde (sıfıra yakın) ortaya çıkar. Bu değer yüksek olması gözlem noktalarının seçiminin ve veri kalitesinin iyi olmadığını bir göstergesidir. Veri kalitesinin iyi olduğu ideal bir durumda nugget değerinin sıfır olması beklenir (Hartkamp ve diğ., 1999). Nugget değeri ile eşik değeri arasındaki fark ise yapısal varyans olarak ifade edilir ve “C” olarak gösterilir. (Kaya ve Sertel, 2006).

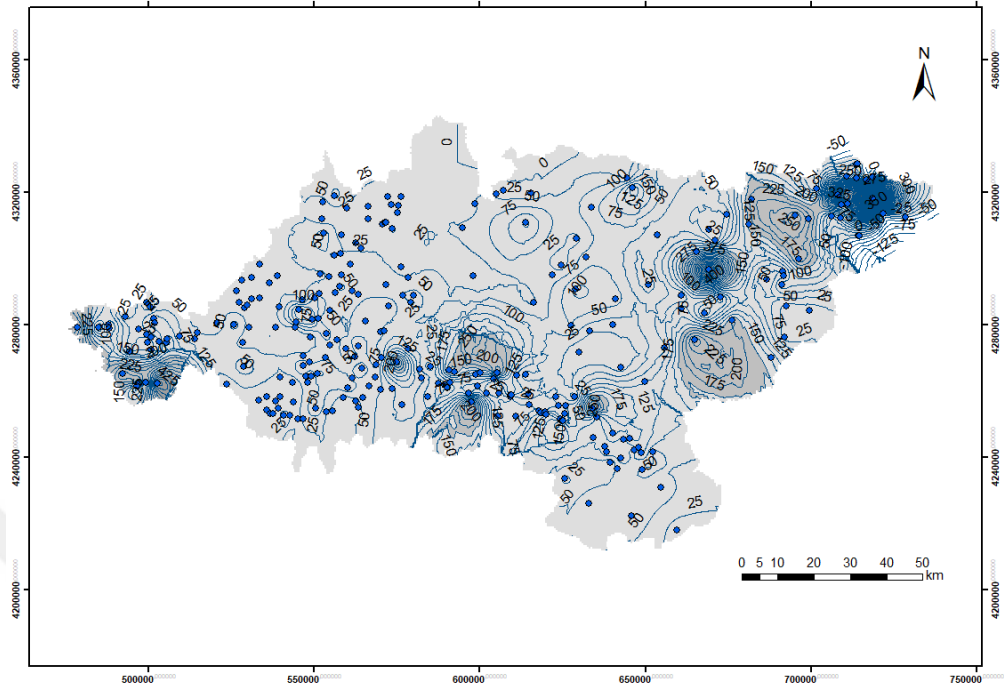
Bahsedilen parametreler teorik varyogramlar arasındaki farkı oluşturur. Dolayısıyla her veri seti için varyogram yapıları bu parametrelere bağlı olarak farklı olacaktır.

3.2.4 Üçlü Diyagram Metodu

Üçlü Diyagram Metodu (Triple Diagram Method, (Altunkaynak ve diğ. (2003)) üç değişkenin (iki bağımsız değişken ve bir bağımlı değişken) varyasyonu aynı anda tek bir eş yükselti haritası üzerinde gösteren ve bu harita üzerinden tahminler yapılmasını sağlayan bir yöntemdir. Eş yükselti haritaları, bağımlı ve bağımsız değişkenlerin 3 boyutta gösterilmesidir. Eş yükselti eğrileri harita boyunca bir değişkenin eşit değerlerini çizgiler şeklinde gösterir (Golden Software, 2014). Bunun için genellikle bir değişken ve bu değişkenin bulunduğu enlem ve boylam değerleri kullanılır.

ÜDM yönteminde klasik eş yükselti haritalarından farklı olarak değişkene ait enlem ve boylam değerleri yerine değişkenin geçmiş değerleri kullanılarak veya üç farklı

değişken aynı anda kullanılarak eş yükselti haritaları oluşturulur (Altunkaynak ve diğ., 2003; Altunkaynak ve Wang, 2010).



Şekil 3.8 : SO₄ konsantrasyonunun havzaya dağılımını gösteren üçlü diagram

TDM yöntemi temelde Kriging yöntemine dayanır. Öncelikle iki bağımsız değişken (tahmin için kullanılacak değişkenler) kullanılarak eş yükselti haritası oluşturulur ve bu eş yükselti haritalarına Kriging yöntemiyle interpolasyon yapılmış bağımlı değişkenin değerleri eklenir. (Altunkaynak ve diğ., 2003; Altunkaynak ve Wang, 2010). Bu yöntemde de Kriging yönteminde olduğu gibi öncelikle deneysel ve teorik semivaryogramlar belirlenir.

Bu yöntemde jeostatistiksel modellerde gerekli olan, verilerin normal dağılıma uygunluğu, lineerlik, durağanlık, varyansın sabitliği gibi çeşitli istatistiksel kabullerden muafdir (Altunkaynak ve Wang, 2010). Bu nedenle aşırı dağınık verilerde bile yorum yapmaya yardımcı olur. Ancak TDM haritalarının oluşturulması için kullanılacak değişkenlerin birimleri aynı olmak zorundadır.

3.2.5 Tahmin Haritası Yöntemi

Altunkaynak (2016) tarafından geliştirilen ve ilk olarak doğal akarsularda uzunlama dispersiyon katsayısının tahmininde kullanılan Tahmin Haritası (Predicition Map)

Yöntemi genel yapısı itibariyle Kriging ve ÜDM yöntemlerine benzeyen bir tahmin ve haritalama yöntemi olup bununla birlikte bu yöntemlerden ayrılan yönleri de vardır. Bunlardan en önemlisi şudur ki; Kriging ve ÜDM yöntemlerinde sadece pilot noktası (tahmini yapılacak nokta) çevresindeki değişken değerleri dikkate alınırken Tahmin Haritası yönteminde herhangi iki değişken değeri kullanılabilir. Kriging ve ÜDM yöntemleri bölgesel değişkenler teorisine bağlı iken Tahmin Haritası yönteminde herhangi bir rassal değişken ele alınabilir. Yani değişkenlerin konumsal bağımlılığı yoktur. ÜDM yönteminde olduğu gibi iki bağımsız ve bir bağımlı değişken kullanılarak yapılacak bir çalışmada eş yükselti haritaları oluşturulurken enlem ve boylam değerleri yerine bu bağımsız değişkenler eklenebilir.

İstatistiksel tahmin yöntemlerinde doğru sonuçların elde edilebilmesi için verilerin lineerlik, homojenlik, normal dağılıma uygunluk gibi çeşitli istatistiksel kabullere uyması gerekirken Tahmin Haritası yönteminde bu tür istatistiksel kabuller mevcut değildir.

Tahmin Haritası modeli hazırlanırken öncelikle bağımsız değişkenler kullanılarak Kriging yöntemiyle eş yükselti haritaları oluşturulur. Burada bağımsız değişkenler yatay ve dikey ekseninde ele alınır. Oluşturulan eş yükselti haritalarına ÜDM yönteminde olduğu gibi Kriging interpolasyonu uygulanan bağımlı değişken değerleri eklenir. Böylece değişkenler arasındaki korelasyonun yorumlanmasına ve bağımlı değişkenin tahmininin yapılmasına yardımcı olan “Tahmin Haritası” oluşturulmuş olur.

Burada önemli olan nokta ise yukarıda bahsedilen adımlar uygulanmadan önce modeli birimlerden kurtarmak için denklem 3.7’ de verilen formül ile verilerin standartlaştırılmasıdır. Eş yükselti haritalarında eş çizgiler birbirine eş değerleri ifade ettiğinden kullanılacak bağımsız değişkenlerin birimlerinin aynı olması veya birimden bağımsız olması gerekir.

$$X_{std} = \frac{x - \bar{x}}{\sigma_x} \quad (3.7)$$

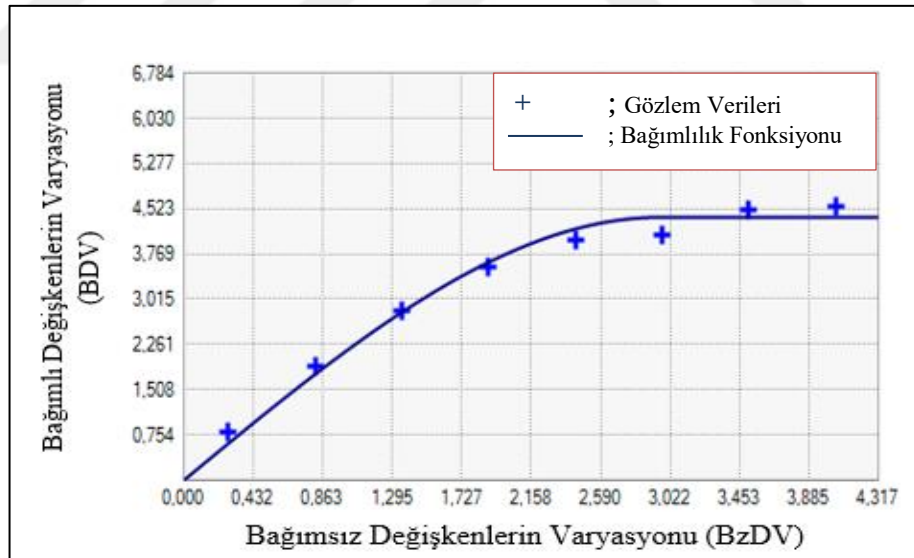
Burada x ; değişkenin her bir noktadaki veya t anındaki değerini, $\bar{x}$; değişken değerlerinin ortalamasını, σ_x ; değişken değerlerinin standart sapmasını ve X_{std} standartlaştırılmış değişken değerlerini göstermektedir. Bu işlem sonucunda elde edilen X_{std} değerleri birimsizdir.

Tahmin Haritası yönteminde, Kriging yönteminin temel aracı semivaryograma benzer bir fonksiyon olan “Bağımlılık Fonksiyonu (B_f)” tanımlanır. B_f , Bağımlı Değişkenlerin Varyansı (BDV) ve Bağımsız Değişkenlerin Varyansı (BzDV) arasındaki ilişkinin matematiksel bir ifadesidir (Altunkaynak, 2016). BDV ve BzDV değerleri denklem 3.7 ve denklem 3.8 ile hesaplanır. BDV ve BzDV hesaplandıktan sonra eğitim verileri kullanılarak BDV-BzDV dağılım grafiği çizilir ve daha sonra SV analizlerinde olduğu gibi bu grafiğe en uygun teorik model olarak Bağımlılık Fonksiyonu B_f seçilir (Şekil 3.9).

$$BzDV = \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2} \quad (3.8)$$

$$BDV = \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^N [K_{i+1} - K_i]^2 \quad (3.9)$$

Burada N; nokta çifti sayısını, K_i ve K_{i+1} ; tahminde kullanılacak iki noktadaki değişken değerlerini (bu çalışmada kalite parametrelerinin konsantrasyon değerlerini), $x_{(i)}$, $x_{(i+1)}$, $y_{(i)}$ ve $y_{(i+1)}$; standartlaştırılmış bağımsız değişken değerlerini (bu çalışmada tahminde kullanılacak iki noktanın sırasıyla x ve y koordinatlarındaki konumlarını) ifade etmektedir.



Şekil 3.9 : Bağımlılık fonksiyonunun belirlenmesi.

Çizilen grafikten test noktaları için BzDV ye denk gelen BDV değerleri okunur. Okunan bu değer denklem 3.10’ da Bf_{ij} yerine konur. Bf_{i0} yerine de okunan test değerleri yazılır. Bu matrisin çözümü sonucunda tahminde kullanılan bağımsız değişkenlerin tahmin noktası üzerindeki etkisine göre ağırlıklar belirlenir (W_1 , W_2 , W_3 ,....).

$$\begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Bf_{11} & Bf_{12} & \cdot & Bf_{1n} \\ Bf_{21} & Bf_{22} & \cdot & Bf_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Bf_{n1} & Bf_{n2} & \cdot & Bf_{nn} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} Bf_{10} \\ Bf_{20} \\ \vdots \\ Bf_{n0} \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

Burada; Bf_{ij} ($Bf_{11}, Bf_{12}, Bf_{21} \dots Bf_{nn}$) tahmin yaparken kullanılacak nokta çiftleri arasındaki varyansı, Bf_{i0} ise pilot noktasıyla tahminde kullanılan noktalar arasındaki varyansı göstermektedir.

$$K_t = \sum_{i=1}^{N-1} W_i K_i \quad (3.11)$$

Elde edilen ağırlık değerleri denklem 3.11 da yerine yazılır ve Bf fonksiyonuna bağlı olarak oluşturulan Tahmin Haritası modeli ile tahmin değerleri elde edilmiş olur. Denklem 3.11’ de K_i ; tahminde kullanılan gözlem noktasındaki değişken değerini, W_i ; tahminde kullanılan nokta için belirlenen ağırlık değerini (3.10), K_t ; Tahmin Haritası modeli ile elde edilen tahmin değerini ifade etmektedir.

3.2.6 İteratif Hata Eğitim Tekniği

Bu yöntemde asıl amaç tahmin hata değerini en aza indirerek tahminlerin doğruluğunun artırılmasıdır. Bunun için hata değerleri kullanılarak model optimize edilir ve doğru tahmin değerleri üretilir. Tahmin Haritası yönteminin bir algoritması olan ve Altunkaynak (2016) tarafından geliştirilen İteratif Hata Eğitim Tekniği (İHET) ile ilk tahmin modeli oluşturulduktan sonra tahmin değerinden gözlem değerinin çıkarılmasıyla elde edilen hata terimleri kullanılarak yeni model kurulur ve tekrar tahmin yapılır. Süreç iterasyon edilerek modele devam edilir. Hata terimi istenilen seviyeye gelene kadar iterasyona devam edilir (Altunkaynak, 2016).

İHET uygulanırken şu adımlar takip edilir; öncelikle tahmin haritası yöntemi kullanılarak ilk tahmin değerleri elde edilir. Hesaplanan bu tahmin değerleri değişkenin gerçek değerlerinden (gözlem değeri) çıkarılır. Böylece ilk hata terimi ϵ_1 denklem 3.12 de tanımlandığı gibi belirlenmiş olur.

Burada tahmin değerleri $T=(T_1, T_2, T_3 \dots T_n)$ olsun. Tahmindeki hata değeri tahmin yapılan noktadaki gözlem değeri ile tahmin değeri arasındaki farktır. Tahmin değerleri $T_1, T_2, T_3 \dots T_n$, gözlem değerleri $G_1, G_2, G_3, \dots, G_n$ ve hata terimi $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3, \dots, \epsilon_n$ olarak gösterilirse ilk hata terimi denklem 3.12 deki gibi hesaplanır.

$$\varepsilon_1 = T_1 - G_1 \quad (3.12)$$

$$T_1 = \varepsilon_1 + G_1 \quad (3.13)$$

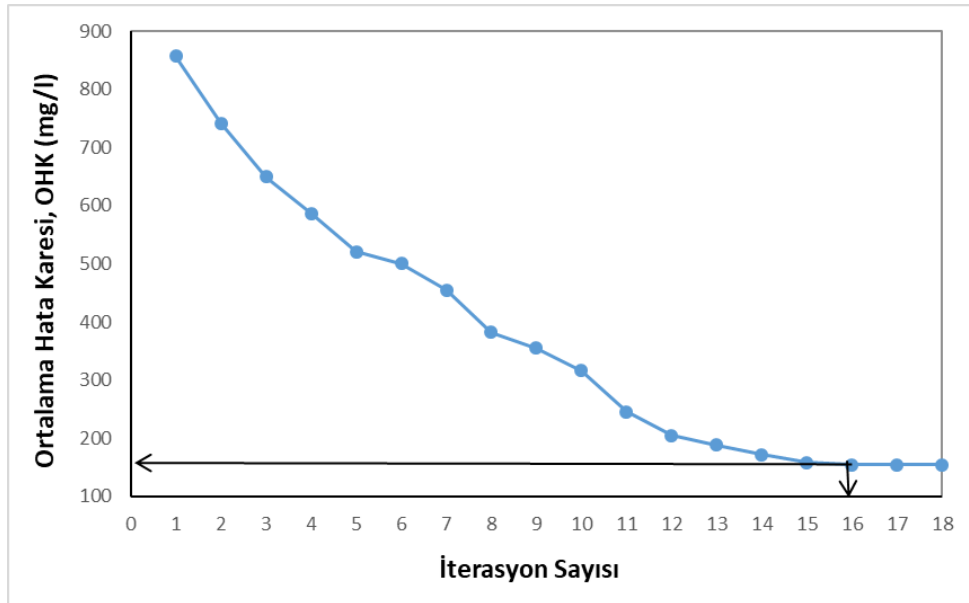
İlk hata değeri ε_1 belirlendikten sonra bu hata değeri bir diğer noktanın tahmini için kullanılır (3.13). Elde edilen tahmin değeri gözlem değerinden çıkarılarak ikinci hata terimi ε_2 bulunmuş olur. Dikkat edilecek olursa ilk model Tahmin Haritası yöntemi ile kurulmuş ve model İHET kullanılarak optimize edilmiştir.

Bu noktadan sonra hata terimi en küçük değerini alana kadar işlem İHET ile devam eder. Hata terimleri denklem 3.14’ de belirtilen Ortalama Hata Karesi (OHK) kullanılarak her iterasyon için hesaplanır ve OHK - İterasyon Sayısı grafiği çizilir.

$$OHK = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (G_i - T_i)^2 \quad (3.14)$$

OHK; tahmin ve gözlem değerleri arasındaki farkların karelerinin ortalamasıdır. Burada N; gözlem noktaları sayısını, G_i ; gözlem değerlerini ve T_i ise tahmin değerlerini belirtmektedir.

Şekil 3.10’ da bu çalışmada kullanılan NO_3 parametresi için modellerin optimize edildiği İHET sonucuna ait OHK-İterasyon sayısı grafiği gösterilmektedir. Burada OHK değerinin 16. iterasyondan sonra sabitleştiği görülmektedir ki bu da 16 iterasyondan sonra tahmin hata değerlerinin en az olacağını göstermektedir.



Şekil 3.10 : İterasyon sayısı-OHK grafiği (Altunkaynak, 2016).

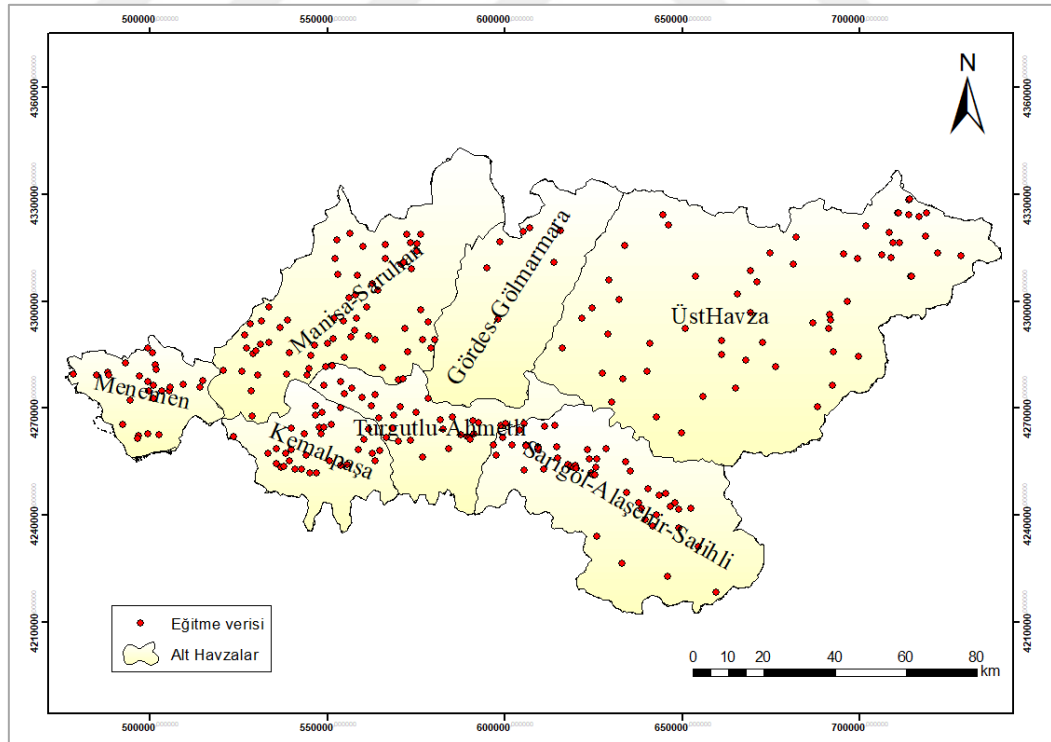
Şekil 3.10' da görüldüğü üzere tahmin hatası OHK'nin en küçük değere ulaştığı adımda model doğru sonuçlar üreterek iterasyon sonlandırılır. Bu aşamada elde edilen tahmin değerleri modelin vereceği en iyi sonuçlardır.



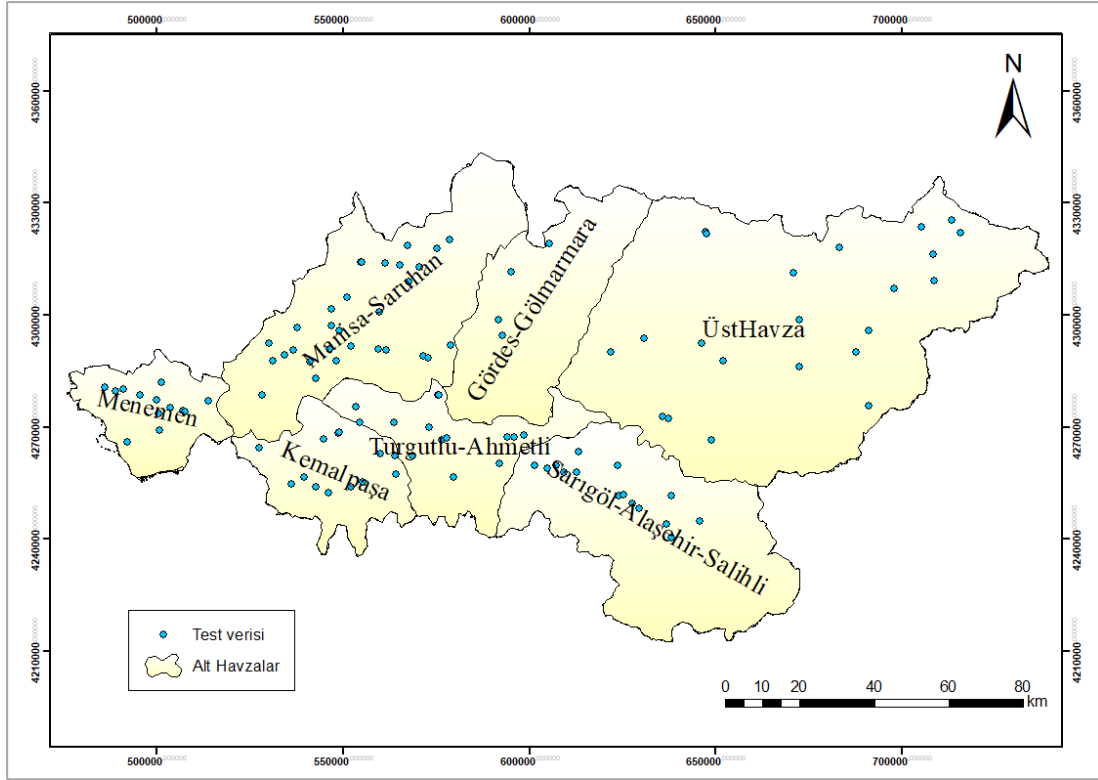
4. UYGULAMA

Bu çalışmada Gediz Havzası YAS kütelleri üzerinde bulunan kuyu ve kaynaklardan alınan su örneklerine ait çeşitli parametrelerin kimyasal analiz değerleri kullanılarak tahmin modelleri geliştirilmiştir. Modelleme yöntemleri olarak Kriging ve Tahmin Haritası yöntemleri kullanılmıştır. Bu modellerinin oluşturulmasındaki asıl amaç bilinen noktalardaki değerleri kullanarak ölçümü olmayan noktaların değerlerini belirlemektir. Kriging ve Tahmin Haritası yöntemlerinin uygulamasında SURFER 18 yazılımından faydalanılmıştır.

SURFER 18 programı kolayca ve hızlıca haritalar oluşturulmasını sağlayan bir yazılımdır. Izgara tabanlı bir haritalama programıdır ve düzensiz aralıklı XYZ verilerini düzenli aralıklı bir ızgaraya interpolate eder. tahmin noktalarını zgara düğüm noktalarına yerleştirerek interpolasyon yapar.



Şekil 4.1 : Eğitim veri noktalarının havzaya dağılımı.



Şekil 4.2 : Test veri noktalarının havzaya dağılımı.

Tahmin Modelleri oluşturulmadan önce her parametreye ait toplam verinin %70 i (277 nokta) ile model eğitilmiş (öğrenme verisi) ve %30 ‘u (115 nokta) ile model tahmin yaparak test (test verisi) edilmiştir. Eğitim ve test verileri ratgele seçilerek iki gruba ayrılmıştır ancak veri setlerindeki maksimum ve minimum değerlerin eğitime veri setinde kalmasına ve gözlem noktalarının konumlarının havzaya eşit dağılımlı olmasına dikkat edilmiştir (Şekil 4.1, Şekil 4.2). Verilerin bu şekilde ayrılmasındaki temel amaç eğitime verileri ile modelleri eğitmek ve geliştirilen modellerle test noktalarında kestirimlerde bulunmaktır.

Bu çalışmada Gediz Havzası Yeraltı suyu (YAS) kalitesi değerlendirmesi için 8 parametre seçilmiştir. Her bir parametre için verilerin en büyük, en küçük, ortalama, standart sapma gibi temel istatistik özellikleri Çizelge 4.1, ve Çizelge 4.2 de sunulmuştur.

Uygulama aşamasında her iki yöntemde de asıl amaç aynıdır. Amaç öncelikle eğitime verileri kullanılarak tahmin modelleri geliştirmek ve daha sonra test noktası olarak seçilen noktalar için geliştirilen modellerden tahmin değerleri üretmek modellerin tahmin performansları test etmektir. Model performansı testinde model tahmin

sonuçları ile karşı gelen test noktalarındaki gözlem değerleri karşılaştırılır. Modellerin gözlem değerlerine yakın tahmin sonuçları vermesi beklenir.

Çizelge 4.1 : YAS kalite parametrelerinin eğitim grubuna ait temel istatistiksel özellikleri.

Parametre	Veri Sayısı	En büyük	En küçük	Ortalama	Std. Sapma
Na	277	1261,68	0,93	49,24	106,27
K	277	109,50	0,00	6,14	8,75
Ca	277	323,41	2,26	72,98	35,94
Mg	277	276,45	1,41	37,15	30,31
Cl	277	2748,32	1,32	44,56	177,32
SO4	277	1541,39	0,96	71,78	128,51
NO3	277	231,03	0,00	20,76	26,84
SAR	277	35,63	0,03	1,30	2,99

Çizelge 4.2 : YAS kalite parametrelerinin test grubuna ait temel istatistiksel özellikleri.

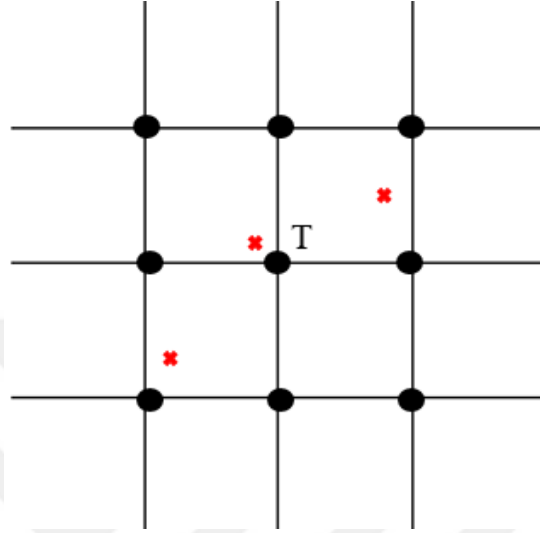
Parametre	Veri Sayısı	En büyük	En küçük	Ortalama	Std. Sapma
Na	95	1043,65	2,62	76,06	165,06
K	115	66,28	0,85	7,97	10,18
Ca	115	218,39	7,51	76,08	44,81
Mg	115	257,76	1,96	42,11	31,41
Cl	115	1148,36	2,09	55,88	136,69
SO4	115	713,08	2,12	73,54	123,58
NO3	115	227,52	0,02	28,37	40,47
SAR	115	21,11	0,1	1,39	2,86

Geliştirilen modellerin tahmin performansının değerlendirilmesinde modellerin ürettiği sonuçlar ile gözlem değerleri arasındaki uyumu anlamak amacıyla istatistiksel performans kriterleri hesaplanmıştır. Bu çalışmada değerlendirmeler Kök Ortalama Kare Hata (KOKH) ve Nash–Sutcliffe Verimlilik Katsayısı (VK) performans kriterleri baz alınarak yapılmıştır. Ayrıca modellerin ürettiği tahmin değerlerine karşılık gelen gözlem değerlerinin 45° lik diyagonal doğru üzerindeki dağılımını gösteren Daigonal Doğru Diyagramları oluşturulmuştur. Bu grafikler EK A' da sunulmuştur.

4.1 Kriging Yöntemi

Kriging yönteminin uygulaması sırasında SURFER 18 programından yararlanılmıştır. Programın çalışma şekli çalışmada kullanılan YAS kalite parametrelerinden biri olan SAR parametresi üzerinden işlem sırasıyla bu bölümde açıklanmıştır. Diğer parametrelere ait semivaryogram grafikleri Şekil 4.6' da, model sonuçlarını gösteren tahmin-gözlem grafikleri ise EK A' da sunulmuştur.

SURFER yazılımı, Kriging yöntemiyle veri setine en uygun semivaryogram (SV) modeli belirleyerek tahminler yapar ve görsel olarak ilgi çekici haritalar üretir. SURFER’da Kriging interpolasyonu ızgara tabanlı bir metoddur. Tahmin noktaları ızgara düğüm noktalarına denk gelecek şekilde ızgara blokları oluşturularak interpolasyonlar yapılır (Şekil 4.3).



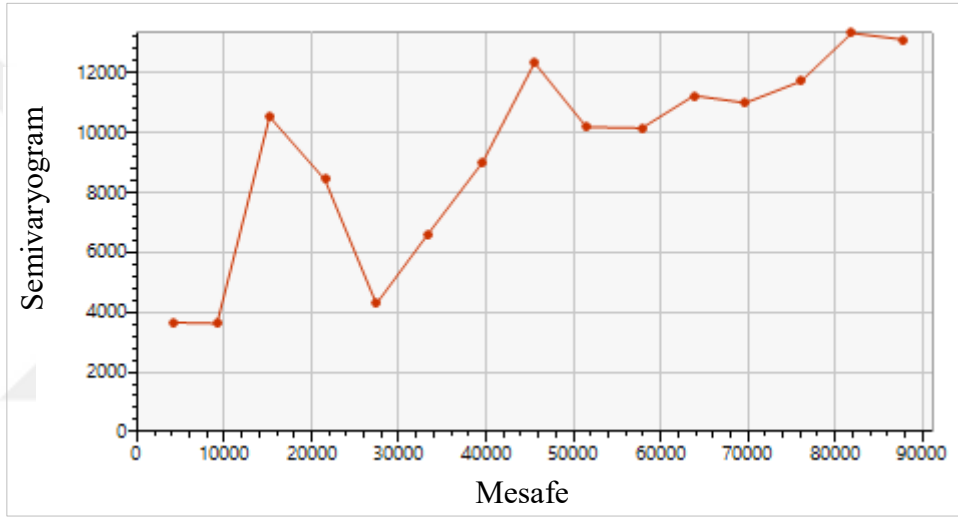
Şekil 4.3 : Kriging interpolasyonunda kullanılan ızgara düğüm bloğu.

Programda interpolasyon yapılırken Nokta Kriging ve Blok Kriging olmak üzere iki farklı Kriging yöntemi seçeneği vardır. Nokta Kriging ızgara düğüm noktalarındaki değerleri tahmin ederken Blok Kriging ızgara düğüm noktası merkezli dikdörtgen blokların ortalama değerlerini tahmin eder. Şekil 4.3 bir ızgara düğüm bloğu görülmektedir. Burada siyah noktalar ızgara düğüm noktalarını (yani tahmini yapılacak noktayı), kırmızı noktalar ise veri (gözlem) noktalarını temsil etmektedir. Şeklin merkezindeki T noktası için interpolasyon yapılırken Nokta Kriging kullanılırsa T noktasına en yakın veri noktasına en büyük ağırlık değeri verilir. T noktasının interpolasyonunda Blok Kriging kullanılırsa üç veri noktasının ortalaması alınır ve ortalama göre ağırlık verilir. T merkezli dikdörtgen bir bloğun ortalama bir tahmin değeri üretilir. Bu çalışmada veri noktaları arasındaki mesafe arttıkça ilişki azaldığından Nokta Kriging yöntemi kullanılması daha doğru bulunmuştur.

Kriging işlemi yapılırken öncelikle iki bağımlı ve bir bağımsız değişken X,Y,Z girdileri olarak programa girilir. Burada X ve Y bağımsız değişkenleri; Z ise bağımlı değişkeni ifade etmektedir. Bu tez çalışmasında X ve Y girdisi olarak verilerin bulunduğu x ve y koordinatları; Z girdisi olarak her bir parametreye ait konsantrasyon

değerleri girilmiştir. Bu veriler kullanılarak Kriging yöntemiyle eş yükselti haritaları oluşturulmuştur.

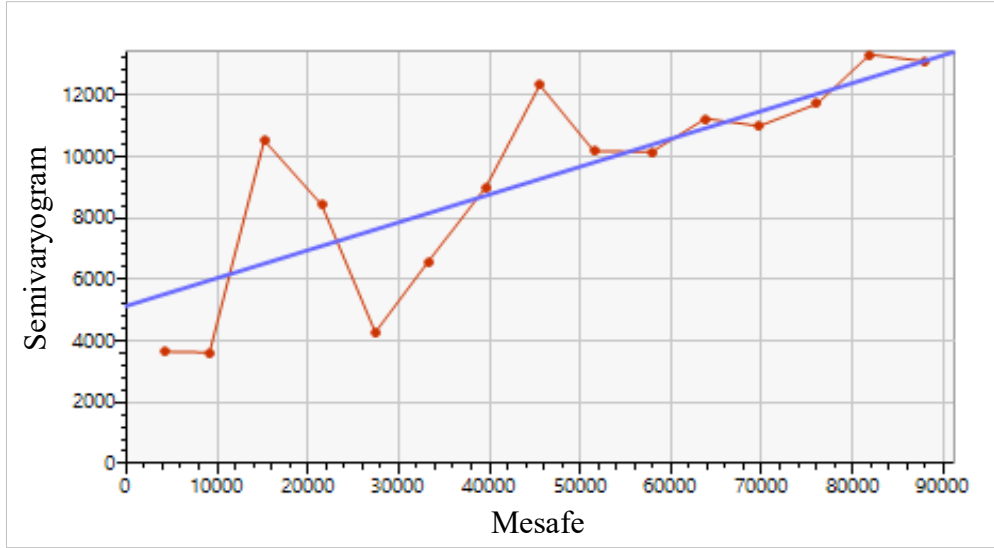
Kriging haritaları oluşturulurken öncelikli olarak deneysel ve teorik SV'lerin belirlenmesi gerekir. Bu aşamada öncelikle verilere ait deneysel SV oluşturulur. Burada adım genişliği (mesafe) ve adım sayısı program tarafından dağılıma en uygun olacak şekilde belirlenir. Adım genişliği; her bir varyogram noktası için adım aralığını yani iki nokta arasındaki mesafeyi belirtirken adım sayısı ise hesaplanan deneysel varyogram noktalarının sayısını belirtir. Şekil 4.4'e bakılırsa adım genişliği arttıkça varyogram değerlerinin de arttığı görülecektir. Bu da noktalar arasındaki ilişkinin ve benzerliğin azaldığı anlamına gelmektedir.



Şekil 4.4 : Gözlem verileriyle oluşturulmuş deneysel semivaryogram.

Deneysel SV belirlendikten sonra en uygun teorik SV belirlenir (Şekil 4.5). Bu örnekte en uygun teorik varyogram modeli olarak Lineer Varyogram modeli belirlenmiştir ve buna bağlı olarak nugget değeri bu örnekte 5140' tır.

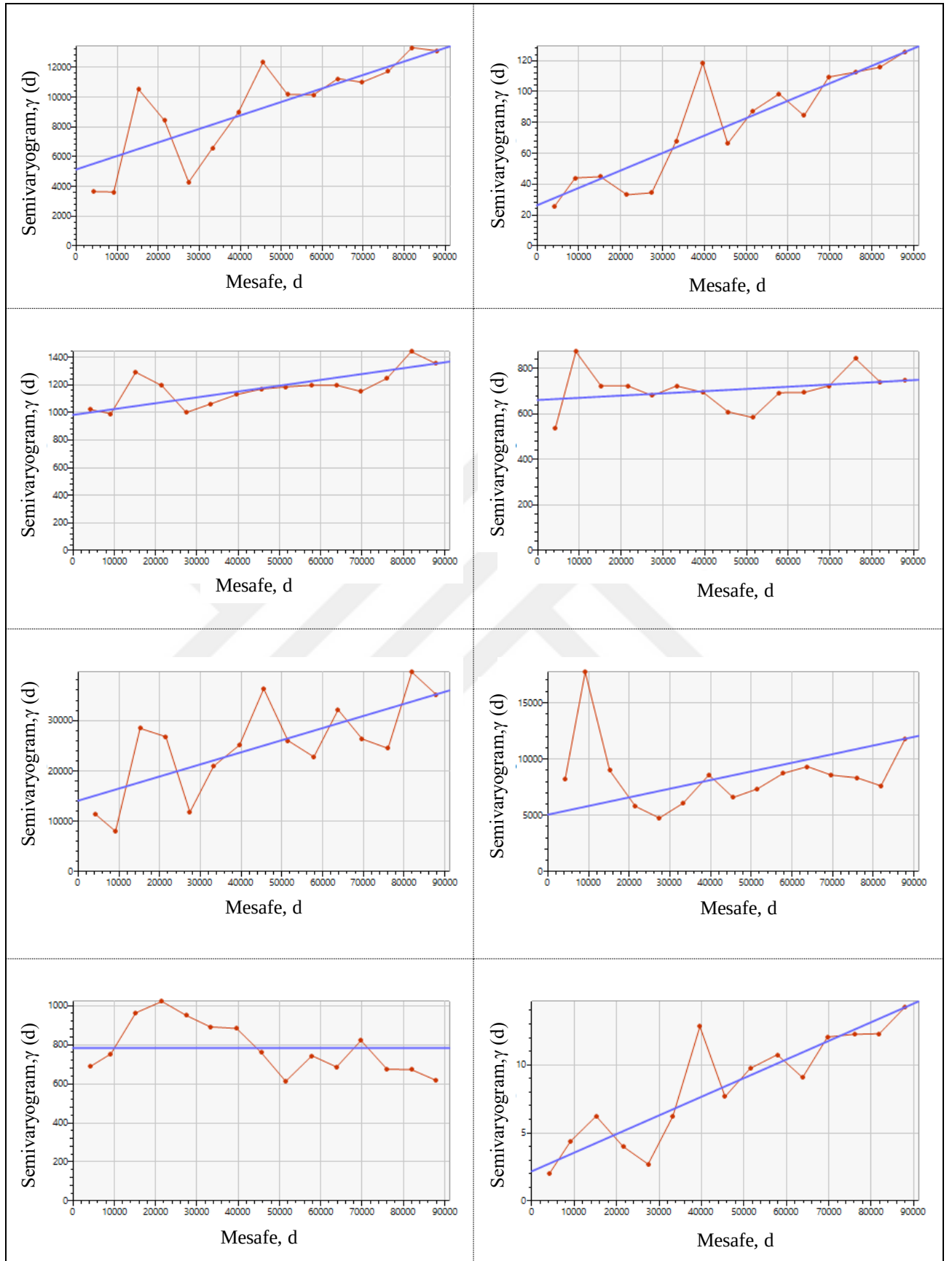
Teorik SV modeli oluşturulduktan sonra tahminde kullanılacak nokta sayısının (komşu noktaların) belirlenmesi gerekir. Burada çapraz doğrulama sırasında en az hata değerini veren 10 komşu nokta seçilmiştir. Şekil 4.4 üzerinden anlatırsak T noktasının tahmini için ızgara düğüm bloğunun içinde kalan 10 nokta kullanılır. Ayrıca yukarıda bahsedildiği üzere Nokta Kriging ve Blok Kriging olmak üzere iki tip Kriging seçeneği sunulmuştur. Bu çalışmada Nokta Kriging seçilmiştir.



Şekil 4.5 : Lineer semivaryogram modeli.

Son aşama çapraz doğrulama aşamasıdır. Çapraz doğrulama ile, üretilen tahmin değerlerine karşılık gelen gözlem değerleri arasındaki uyuma bakarak hata değerleri belirlenir ve böylece oluşturulan teorik SV modelinin kullanılan veri için uygunluğunun değerlendirilmesinde kullanılır. Bu çalışmada çapraz doğrulama sonuçları doğrultusunda bütün parametreler için Linner SV modeli en uygun model olarak belirlenmiştir. Her bir parametreye ait SV grafiği Şekil 4.6’ da sunulmuştur.

Tüm bu işlemlerden sonra KR haritası oluşturulmuş olur. Oluşturulan bu harita ile değişken değerlerinin havzada tüm noktadaki değerleri oluşturulmuş olur ve havzadaki dağılımı kolay bir şekilde gözlemlenebilir.



Şekil 4.6 : Parametrelerin semivaryogram modelleri (Lineer): (a)Na. (b) K. (c) Ca (d) Mg. (e) Cl. (f) SO_4 . (g) NO_3 . (h)SAR

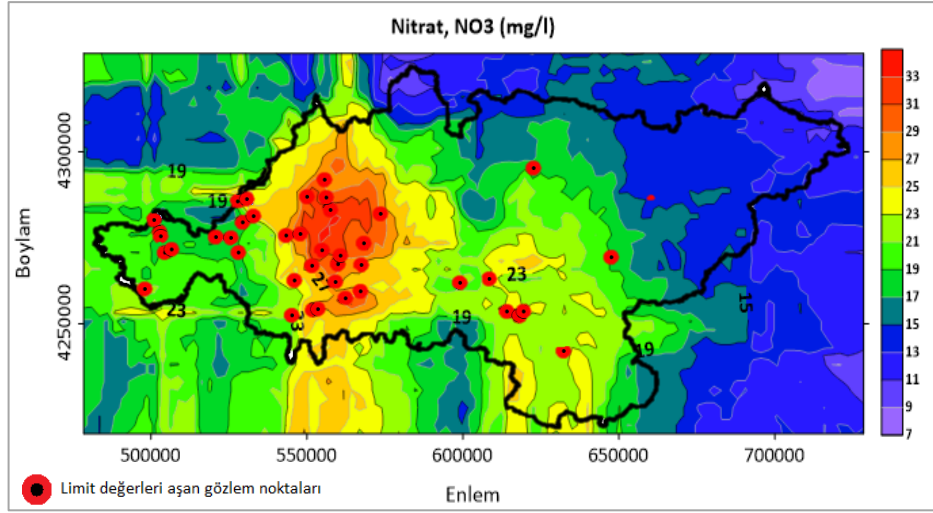
4.2 Tahmin Haritası Yöntemi

Bu yöntemde de SURFER 18 yazılımından faydalanılmıştır. Uygulama sırasında akış sırası aşağıdaki gibidir.

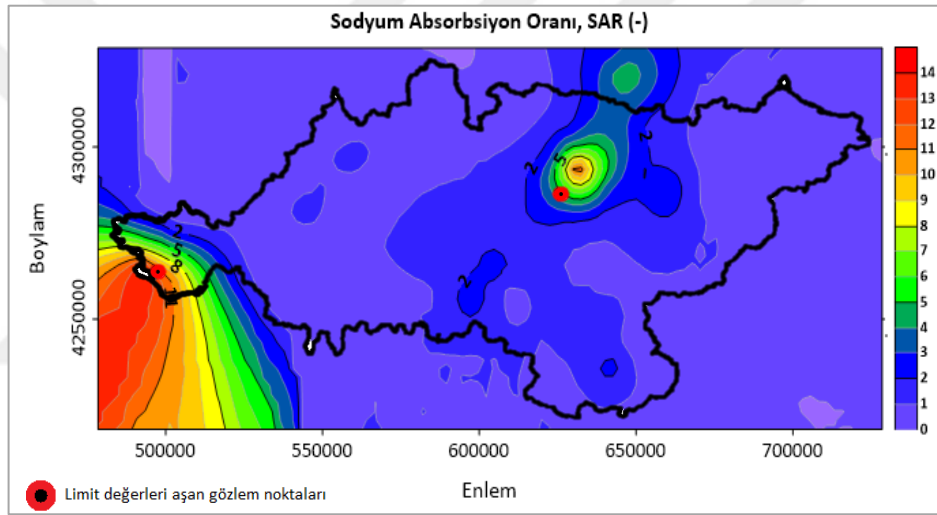
- a) Model üç değişkenle oluşturulacaksa öncelikle modeli değişken birimlerinden kurtarmak için bağımsız değişken değerlerinin standartlaştırılması işlemi yapılır. Ancak bu çalışmada bağımsız değişkenler zaten birimsiz olan x ve y koordinatları olduğu için bu işleme gerek duyulmamıştır.
- b) Veri seti eğitime ve test olacak şekilde iki gruba ayrılır. Eğitim verileri ile modelin kalibrasyonu yapılırken test verileri modelin doğrulaması için kullanılır.
- c) Eğitim verileri kullanılarak sırasıyla bağımsız ve bağımlı değişkenlere ait Bağımlı Değişkenlerin Varyansı (BDV) ve Bağımsız Değişkenlerin Varyansı (BzDV) değerleri denklem 3.8 ve denklem 3.9 kullanılarak hesaplanır.
- d) BDV-BzDV dağılım grafiği oluşturulur ve bu dağılıma uygun Bağımlılık Fonksiyonu (B_f) belirlenir (Şekil 3.9).
- e) Oluşturulan B_f ' ye bağlı olarak denklem 3.10 çözümlenir ve tahminde kullanılacak noktalar için ağırlıklar belirlenir.
- f) Elde edilen bu ağırlık değerleri denklem 3.11' de yerine yazılarak tahmin değerleri belirlenmiş olur.

Yukarıdaki adımlar takip edilerek geliştirilen model sonucunda belirlenen test noktaları için tahmin değerleri elde edilmiştir. Bu sonuçlar gözlem değerleriyle karşılaştırılmış ve uyumları Verimlilik Katsayısı (VK) ve Kök Ortalama Kare Hata (KOKH) performans değerlendirme kriterleri ile incelenmiştir. Ayrıca oluşturulan model ile havza genelinde YAS kalite parametrelerinin konsantrasyonlarının havzaya dağılımını gösteren Tahmin Haritaları üretilmiştir. Bu Haritalar EK B' de sunulmuştur.

Şekil 4.7 ve Şekil 4.8' de gösterilen Kriging yöntemi tabanlı Tahmin Haritaları sırasıyla SAR ve NO₃ konsantrasyonlarının havza genelindeki yayılımını gösterilmektedir. Maviden kırmızıya doğru gidildikçe konsantrasyon değeri artmaktadır. Şekiller incelendiğinde iki parametre arasında mekansal dağılım olarak büyük farklılık gözlenmektedir. Buna neden olan etken değişken değerlerinin mesafeye bağlı varyasyonlarını ölçen semivaryogramlardır.



Şekil 4.7 : NO₃ parametresi için oluşturulan üçlü diagram modeli



Şekil 4.8 : SAR parametresi için oluşturulan üçlü diagram modeli

Şekil 4.6'de verilen SV grafikleri incelendiğinde SAR parametresine ait SV grafiğinde (h) lineer varyogram modelinin beklendiği üzere mesafe arttıkça arttığı yani noktalar arasındaki ilişkinin azaldığı görülmektedir. Dolayısıyla Tahmin Haritasında mesafeye bağlı ani değişimlerin olmadığı görülmektedir. NO₃ 'e ait SV grafiğine bakıldığında ise nugget etkisinin ve semivaryogram değerlerinin çok yüksek olduğu yani veri çiftlerinin birbirleriyle ilişki ve benzerliğinin az olduğu görülmektedir. Yani veri noktaları arasındaki mesafe arttıkça verilerin birbirine benzerliği çok azalmaktadır. Dolayısıyla NO₃ Tahmin Haritasına baktığımızda kısa mesafelerde değişimin ani ve pürüzlülüğün fazla olduğu gözlenmektedir.

EK B' de sunulan Tahmin Haritaları üzerinde havza sınırı ve havzada her parametre için limit değerleri aşan ölçüm noktaları gösterilmiştir. Haritalara bakıldığında limit değerleri aşan noktalar ve çevresinde Tahmin Haritası modelinde yüksek değerler aldığı görülmektedir (Şekil 4.7, Şekil 4.8).

4.3 Performans Değerlendirmesi

Tahmin çalışmalarında tahmin yöntemlerinin verdiği sonuçların doğruluğunu değerlendirmede çeşitli performans kriterleri kullanılır. Kök Ortalama Kare Hata (KOKH), Ortalama Hata Karesi (OHK), Nash ve Sutcliffe, (1970) Verim Katsayısı (VK) ve Belirtme katsayısı (R^2) gibi kriterler bu tip çalışmalar için kullanılabilir. Bu çalışmada modellerin tahmin başarısını değerlendirmek için sırasıyla denklem 4.1 ve denklem 4.2 de belirtilen VK ve KOKH performans kriterleri kullanılmıştır.

- **VK**; Hidrolojik modellerde modelin tahmin başarısını belirlemede genellikle kullanılır ve $-\infty$ ile 0 arasında değer alır. VK' nin 1'e eşit olması modelin mükemmel tahminlerde bulunduğunu gösterir. Yani VK değeri 1'e yaklaştıkça modelin sonuçları ile ona karşı gelen gözlem değerleri arasındaki uyum artar. VK' nin 0.65' den büyük olması model performansının iyi olduğunu yani değişkenin tahmin değerleri ile gözlem değerlerinin birbirine yakın olduğunu bir göstergesidir. (Ritter ve Muñoz-Carpena, 2013)

$$VK = \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^N (K_{(ti)} - K_{(xi)})^2}{\sum_{i=1}^N (K_{(xi)} - K_a)^2} \right] \quad (4.1)$$

- **KOKH**; Modelin başarısını değerlendirmek için sıklıkla kullanılan istatistiksel bir kriterdir. Burada VK'nin tersine KOKH değeri 0 yaklaştıkça model performansı artmaktadır. RMSE tahmin hatalarının standart sapmasıdır.

$$KOKH = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (K_{(ti)} - K_{(xi)})^2} \quad (4.2)$$

Her iki formülde de $K_{(ti)}$; tahmin değerlerini, $K_{(xi)}$; gözlem değerlerini, K_a ; verilerin ortalamasını ve N; toplam veri sayısını ifade etmektedir.

Bu çalışmada Kriging ve Tahmin Haritası yöntemleriyle geliştirilen modellerde kullanılan her bir parametre için elde edilen tahmin değerleri ile gözlem değerleri arasındaki uyum KOKH ve VK performans kriterleri kullanılarak karşılaştırılmıştır. Eğitim ve test verileri için elde edilen KOKH ve VK sonuçları çizelge 4.2 ve çizelge

4.3’de özetlenmiştir. Ayrıca iki modelde elde edilen hata değerlerinin kıyaslanması bakımından daha kolay yorum yapabilmek adına hata değerleri sütun grafikler halinde gösterilmiştir. VK değerinin 0.65’den büyük KOKH değerinin ise sıfıra en yakın olduğu modelin tahmin değerleri üretmede başarılı olduğu söylenir. Şekil 4.9 - Şekil 4.12 incelenecek olursa Tahmin Haritası modelinin hem eğitim hem de test veri setleri için VK ve KOKH performans değerlendirme kriterlerine göre Kriging modelinden daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.

Çizelge 4.3 : Eğitim verileri için tahmin modelleri performans değerlendirme sonuçları.

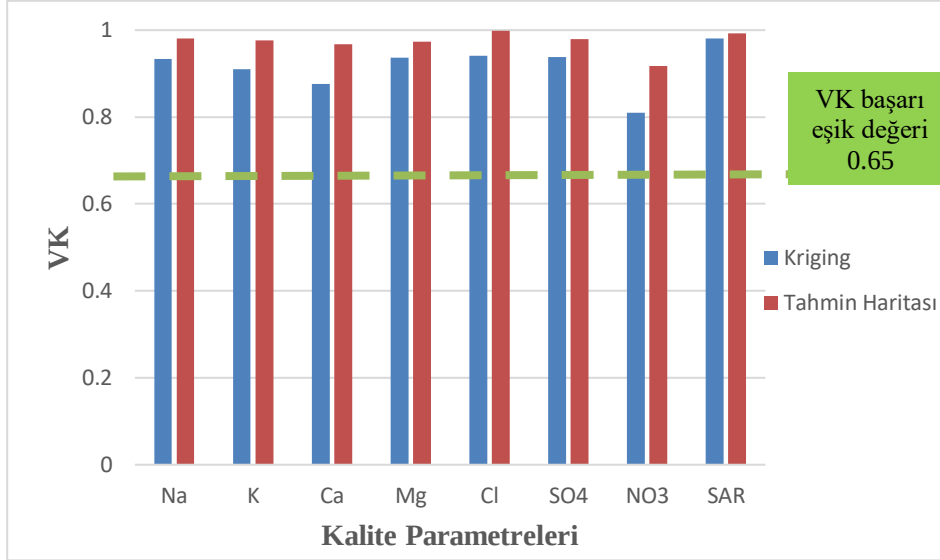
Parametre	Kriging		Tahmin Haritası	
	VK	KOKH	VK	KOKH
Na	0.934	1.645	0.981	0.885
K	0.909	0.158	0.977	0.080
Ca	0.876	0.759	0.968	0.252
Mg	0.936	0.461	0.974	0.296
Cl	0.941	2.593	0.999	0.408
SO4	0.938	1.924	0.979	1.120
NO3	0.810	0.703	0.917	0.465
SAR	0.9808	0.025	0.992	0.016

Çizelge 4.4 : Test verileri için tahmin modelleri performans değerlendirme sonuçları.

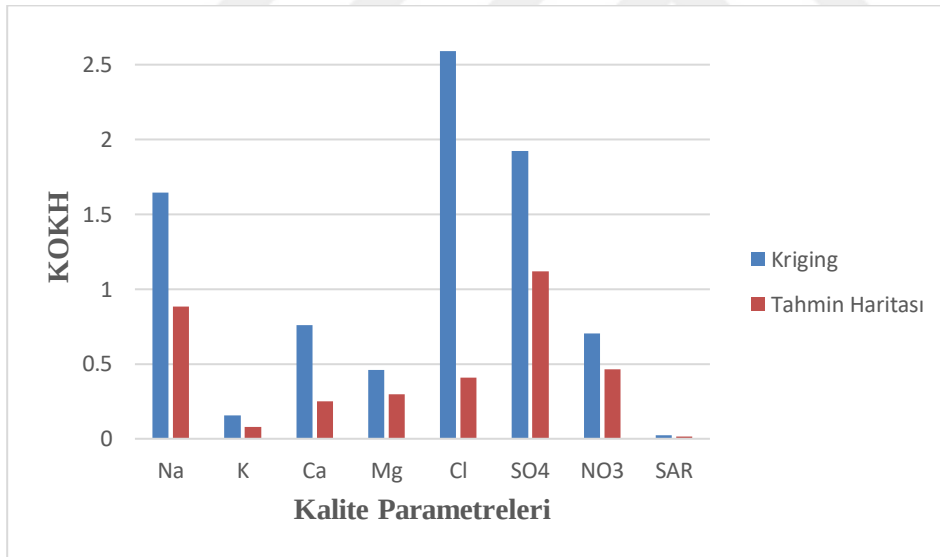
Parametre	Kriging		Tahmin Haritası	
	VK	KOKH	VK	KOKH
Na	0.239	14.622	0.976	2.586
K	0.126	0.887	0.902	0.298
Ca	-0.069	4.320	0.903	1.298
Mg	0.276	2.492	0.908	0.887
Cl	0.151	11.748	0.960	2.534
SO4	0.052	11.217	0.928	3.097
NO3	0.476	2.731	0.906	1.158
SAR	0.948	0.061	0.952	0.058

Çizelge 4.3’teki eğitim verileriyle geliştirilen model sonuçları incelenecek olursa eğitim veri seti için VK değerlerine bakıldığında her iki modelde de sonuçların yukarıda bahsedilen 0.65 değerinden büyük olduğu hatta 1’ e oldukça yakın oldukları görülmektedir. Bu nedenle hem Kriging hem de Tahmin Haritası modellerinin tahmin sonuçlarının çok iyi derecede olduğu görülmüştür. Bununla birlikte Tahmin Haritası yöntemi her parametre için Kriging modelinden daha iyi sonuçlar vermiştir. KOKH değerleri incelendiğinde sonuçların 0’ a yakın olması model performansının iyi olduğunu gösterdiğinden her iki yönteminde tahmin değerleri üretmede başarılı olduğu

ancak Tahmin Haritası modelinin Kriging modeline göre çok daha başarılı olduğu görülmektedir.



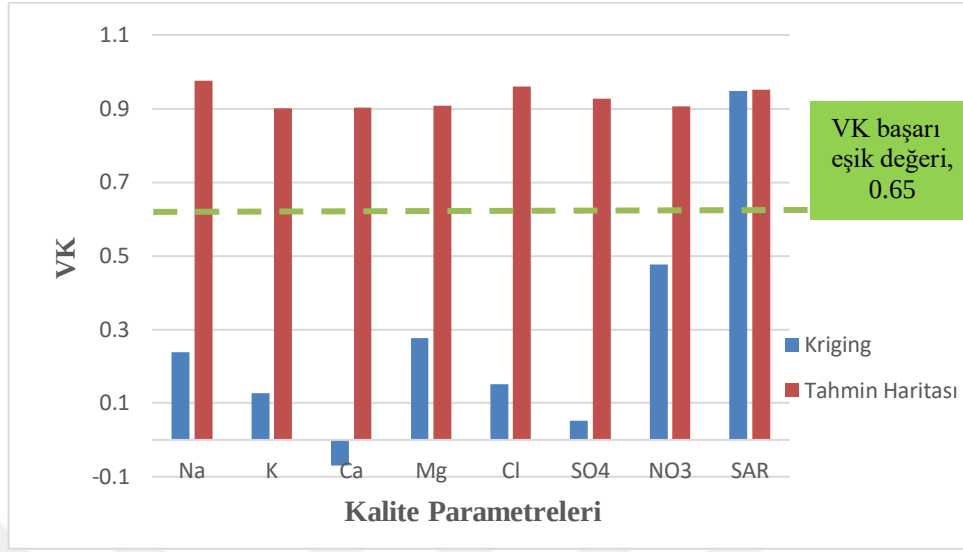
Şekil 4.9 : Eğitim verileri için VK değerleri sütun grafiği.



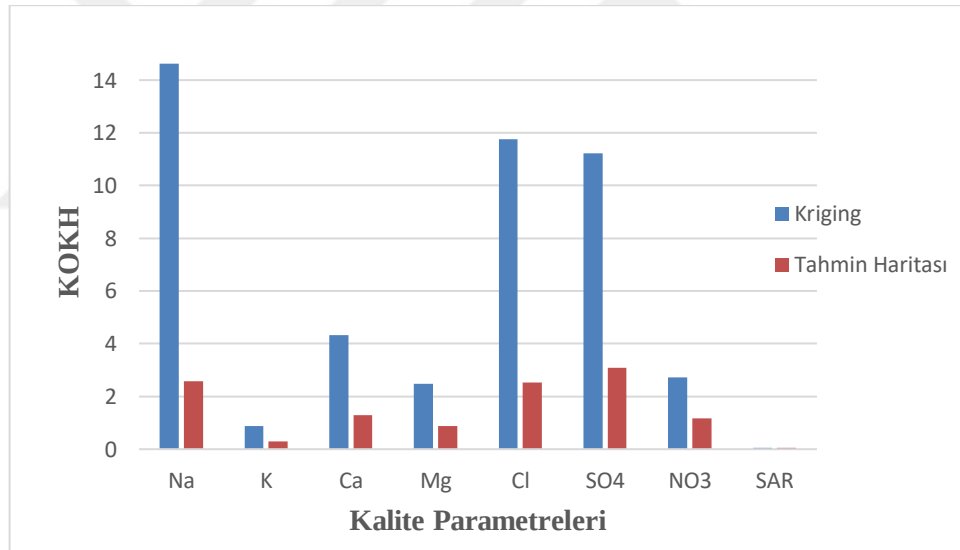
Şekil 4.10 : Eğitim verileri için KOKH değerleri sütun grafiği.

Şekil 4.9 ve Şekil 4.10' e bakarak karşılaştırmalı olarak daha kolay bir değerlendirme yapmak mümkündür. Şekillere bakılırsa VK performans kriterine göre her iki modelinde birbirine yakın sonuçlar verdiği ve başarı çizgisinin çok üzerinde kalarak mükemmel bir başarı elde ettiği görülmektedir. KOKH kriterine göre her iki modelde de KOKH değerinin 0' a yakın olduğu ve iyi performans sergiledikleri görülmektedir.

Bununla birlikte Tahmin Haritası modelinin Kriging modelinden daha iyi sonuçlar verdiği de görülmektedir.



Şekil 4.11 : Test verileri için VK değerleri sütun grafiği.



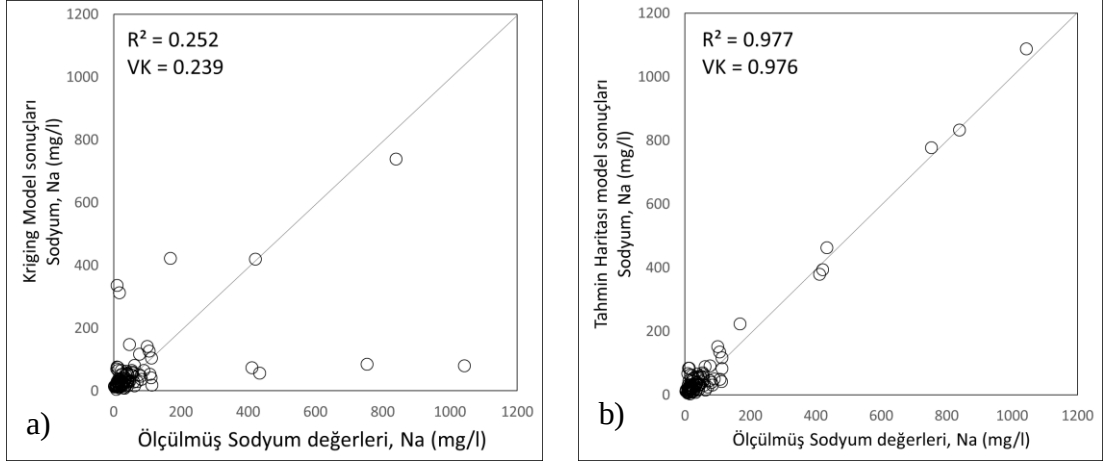
Şekil 4.12 : Test verileri için KOKH değerleri sütun grafiği.

Test noktaları için oluşturulan model sonuçları (Çizelge 4.4) VK kriterine göre incelenecek olursa Kriging modelinin SAR parametresi hariç diğer tüm parametreler için 0.65 değerinin altında kalarak oldukça kötü sonuçlar verdiği görülmektedir. KOKH kriterine göre incelendiğinde ise K ve SAR parametreleri dışındaki parametreler için sıfıra uzak değerler aldığı görülmektedir. Tahmin Haritası yönteminin VK değerlerine bakıldığında bütün parametreler için 0.9'dan büyük değerler alarak çok iyi performans gösterdiği ve KOKH kriterine göre sıfıra yakın değerler alarak oldukça iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.

Şekil 4.11 ve Şekil 4.12 üzerinden değerlendirme yaparsak test verileri için Kriging yöntemi ile oluşturulan model sonuçlarının VK kriterine göre SAR parametresi hariç bütün parametrelerde başarı çizgisinin altında kaldığı görülmektedir. Aynı şekilde KOKH performans değerlendirme kriterine göre de K ve SAR parametreleri hariç diğer altı parametrede 0'dan oldukça uzak değerler alarak kötü bir performans sergilediği görülmektedir. Tahmin Haritası yönteminin ise VK değerine göre tüm parametrelerde mükemmel sonuçlar elde ettiği, KOKH kriterine göre Kriging yöntemine nispeten daha iyi sonuçlar elde ettiği görülmektedir.

Test veri grubunda Kriging modelinin performansının çok düşük olmasının nedeni modelin ekstrapolasyon yapması yani tahmin için kullanılan noktalar dışındaki noktaları tahmin etmeye çalışmasıdır. Model geliştirilirken eğitme verileri kullanıldığından eğitme verilerinin tahmininde model başarılı sonuçlar verirken test noktalarında başarısız olmuştur. Bu da geliştirilen Kriging modellerinin SAR parametresi hariç diğer tüm parametrelerde test noktalarının tahmininde uygun olmadığını göstermektedir. Modelin SAR parametresinde iyi sonuçlar vermesinin nedeni ise SAR verilerinin normal dağılıma uygun olmasıdır.

Geliştirilen modellerin doğrulaması aşamasında seçilen test noktalarındaki gözlem değerleri (ölçüm değerleri) ile Kriging ve Tahmin Haritası modellerinden test noktaları için elde edilen tahmin değerleri arasındaki uyumu belirlemek için diyagonal (köşegen) doğru grafikleri oluşturulmuştur. Diyagonal doğru diyagramları model performansını değerlendirmek için kullanılan, gözlem değerleri ve model tahmin değerlerinin yer aldığı dağılım diyagramlarıdır. 1:1' lik bir dağılım grafiğinde 45° lik köşegen çizgisi en iyi model çizgisidir ve dağılım noktalarının bu çizgi üzerinde yer alması modelin mükemmel performans sergilediğini gösterir. Bu çizgiden sapmalar arttıkça modelin tahmin üretmedeki başarısı düşmektedir. Şekil 4.14' te Na parametresine ait Kriging ve Tahmin Haritası modelleri diyagonal doğru diyagramları verilmiştir. Diğer parametrelere ait Kriging ve Tahmin Haritası diyagonal doğru diyagramları EK A' da sunulmuştur.



Şekil 4.13 : Diyagonal doğru diyagramları (a) Kriging modeli, Na (b) Tahmin Haritası yöntemi

Diyagonal doğru grafikleri incelendiğinde her parametre için diyagonal doğruya sapmaların Kriging modellerinde daha fazla olduğu görülmektedir. Bu sapmalar ekstrem değerlerde görülmektedir. Örneğin Şekil 4.13’ de verilen Sodyuma ait Kriging diyagonal doğru grafiğinde ölçülmüş değeri 400 mg/l ve üzerinde olan 5 noktada saçılım fazladır. Aynı şekilde sıfıra yakın değerlerde de sapmalar fazladır. Test veri grubunda Na ortalama değeri 76.06’ dır (Çizelge 4.2). Yani ortalamadan çok büyük ve çok küçük değerlerde sapmalar görülmektedir. Bu sapmalara bağlı olarak model performansları düşerek VK değerleri azalmaktadır. Tahmin Haritası yönteminin ise bu ekstrem değerlerden etkilenmediği görülmektedir.

4.4 Yeraltı Su Kalitesi Değerlendirmesi

Gediz Havzısında yeraltı suyu (YAS) kaynaklarından çoğunlukla içme-kullanma ve tarımda sulama suyu maksatlı olarak yararlanılmaktadır. Aynı zamanda havzada gelişen tarım, endüstri ve kentsel yoğunluk YAS kütelleri üzerinde kirletici baskılar oluşturmaktadır. Bu çalışmada Gediz Havzası YAS kalitesi değerlendirilmesi için Sodyum (Na^+), Potasyum (K^+), Kalsiyum (Ca^{++}), Magnezyum (Mg^{++}), Klorür (Cl^-), Sülfat (SO_4^-), Nitrat (NO_3^-) ve Sodyum Adsorbsiyon Oranı (SAR) parametreleri seçilmiştir. Değerlendirme yapılırken seçilen parametrelerin kimyasal analiz değerlerinin Çizelge 4.5’ de verilen TS 266 limit değerlerini aşıp aşmadığına dikkat edilecektir (Çizelge 4.5). K^+ parameteresi için hem TS266 hemde Dünya Sağlık Örgütü ve Avrupa Birliği tarafından herhangi bir limit değeri belirlenmediği için değerlendirmeye alınmamıştır.

Bu çalışmada Gediz Havzası için içme-kullanma suyu kalitesi değerlendirmesi yukarıda bahsedilen parametreler baz alınarak Çizelge 4.5’ de verilen TS266’ ya göre yapılmıştır. Bu çalışmada kullanılan 392 kuyu-kaynak düşünülürse tüm ölçüm noktalarının %25’ inde limit değeri aşan Mg^{++} hariç limit değerleri aşan çok az ölçüm noktası bulunmaktadır.

Çizelge 4.5 : Kalite parametreleri limit değerleri ve limit değerleri aşan nokta sayısı.

Parametre	TS266	Limiti aşan nokta sayısı ve % değeri
Na^+	200	16 (%4)
Ca^{++}	200	6 (%1,5)
Mg^{++}	50	98 (%25)
Cl^-	250	10 (%2,5)
SO_4^-	250	22 (%5,6)
NO_3^-	50	45 (%11,5)

Gediz Havzasının yaklaşık %50’ sini tarım alanları oluşturmakta ve havzadaki Yeraltı su (YAS) kaynakları da tarımsal sulamada birçok yerde kullanılmaktadır. Bu nedenle sulama suyu kalite değerlendirmesi yapmak önemlidir.

Yeraltı suyunun sulama suyu olarak kullanımının değerlendirilmesinde Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Esaslar (SKKY, 1991) ‘da yer alan Sulama Suyu Sınıflaması kullanılmıştır (Çizelge 4.6). Sınıflamada, kullanılan parametrelerden olan SAR, SO_4^- ve Cl^- parametreleri için değerlendirme yapılmıştır.

Havzadaki toplam 392 noktanın 383’ünde SAR parametresi değeri % 0-10 arasındadır. Çizelge 4.6’ ya göre 1.Sınıf sular olarak değerlendirilir ve sulama için uygundur. 6 nokta 2.sınıf sular niteliğindedir ve kaba bünyeli ve geçirgenliği iyi olan topraklarda kullanılabilir. 2 nokta ise 3. sınıf su olup suya organik madde ekleme veya fazla yıkama gibi yapılacak belli işlemlerden sonra kullanıma sunulabilir. 1 nokta ise 4. sınıf sular arasındadır ve sulamada kullanımı uygun değildir. SAR parametresine göre havzadaki YAS tarımsal sulama için büyük oranda uygundur.

SO_4^- parametresi 364 noktada 0-192 arası değer alıp 1. Sınıf sulara girerken, 15 noktada 2. Sınıf sular, 7 noktada 3. Sınıf sular kapsamına girmektedir. 5 noktada 4. Sınıf sular kapsamına girmekte ve 1 noktada 5.sınıf sular olarak kullanılamaz niteliktedir.

Çizelge 4.6 : Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Esasları (1999)’nda yer alan Sulama suyu sınıflandırılması.

Parametre	1. sınıf (çok iyi)	2.sınıf (iyi)	3.sınıf (kullanılabilir)	4.sınıf (ihtiyatla kullanılabilir)	5.sınıf (kullanılamaz)
SAR (%)	<10	10-18	18-26	>26	-
SO ₄ (mg/l)	0-192	192-336	336-575	575-960	>960
Cl ⁻ (mg/l)	0-142	142-249	246-426	426-710	>710

Cl⁻ parametresi ise 378 noktada 1 .sınıf kategorisindedir. 4 noktada 2.sınıf, 4 noktada 3. sınıf , 3 noktada 4. sınıf, 3 noktada 5.sınıf sular niteliğindedir. Bu sonuçlara göre Gediz havzası yeraltı suları tarımsal sulamada birkaç YAS kaynağı hariç uygundur.

Sonuçlar değerlendirildiğinde YAS kalitesinin her parametre için birkaç nokta hariç içme-kullanma ve tarımsal sulama amaçlı kullanıma uygun olduğu görülmüştür. Ancak Fugro-Sial (2017) tarafından Gediz Havzasında yapılan çalışmada YAS kütleleri üzerinde insani aktivitelerden kaynaklı olarak kirliliği artıracak baskıların olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle kirliliği daha çok belli edecek daha fazla parametre kullanılarak değerlendirmelerin yapılması daha doğru olacaktır.

Kalite parametre konsantrasyonlarının havzaya dağılımı, geliştirilen tahmin haritalarında kolaylıkla izlenmektedir. Bahsedilen tahmin haritaları EK B’ de sunulmuştur. Tahmin haritalarına bakıldığında parametrelere ait konsantrasyonların hangi noktalarda yüksek, hangi noktalarda limit değerleri aştığı veya limit değerlere yaklaştığı kolaylıkla görülebilmektedir.



5. SONUÇLAR

Yeraltı suyu (YAS) içme-kullanma ve tarımsal sulama maksatlı kullanılan bir su kaynağıdır ve bu kullanım amaçlarına belli kalite standartlarını sağlaması gerekir. Bununla birlikte YAS kaynakları yüzeyden bırakılan kirleticiler sebebiyle kirlenmeye de açık kaynaklardır. Bu çalışmada kentsel ve endüstriyel anlamda gelişmiş, nüfusun fazla olduğu ve buna bağlı olarak da YAS kaynakları üzerinde kirletici baskıların yoğun olduğu Gediz Havzasın YAS kalitesi değerlendirilmeye çalışılmıştır. Bu değerlendirme optimum interpolasyon teknikleri kullanılarak tahmin yöntemleri ile yapılmıştır. Kriging ve Tahmin Haritası yöntemleri kullanılarak tahmin modelleri geliştirilmiştir.

YAS kalitesinin değerlendirilmesi için Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY, 2008) , İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik (2005) ve Türk Standartları Enstitüsü (TS266) tarafından belirlenen limit değerler dikkate alınarak 8 parametre belirlenmiştir (Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , Cl^- , SO_4^- , NO_3^- , SAR).Yapılan çalışmada kullanılan Eser, (2014)' e ait veriler Su Yönetimi Genel Müdürlüğünden temin edilmiştir. Gediz Havzasında bulunan 392 kuyu ve kaynak noktalarından alınan su örneklerine ait kimyasal analiz verileri ele alınmıştır.

Bu çalışmada yukarıda bahsedilen kalite parametreleri kullanılarak Kriging ve Tahmin Haritası yöntemleriyle tahmin modelleri oluşturulmuştur. Geliştirilen tahmin modelleriyle havzada bilinen noktaları kullanarak bilinmeyen noktaların tahmininin yapılabilirliği araştırılmıştır. Ayrıca modellerin tahmin sonuçları ile veri noktalarındaki ölçüm değerleri karşılaştırılarak modellerin performans değerlendirmesi yapılmıştır.

Modeller geliştirilmeden önce 392 veri noktasının yaklaşık %70 'i (277 nokta) eğitime verisi ve %30'u (115 nokta) test verisi olacak şekilde ikiye ayrılmıştır. Eğitime ve test veri grupları oluşturulurken her parametreye ait maksimum ve minimum değerlerin eğitime veri grubu içinde kalmasına ve veri noktalarının havzaya dengeli bir şekilde dağılmasına dikkat edilmiştir. Her iki yöntemde aynı veriler kullanılmıştır. Tahmin haritası yönteminde hatanın en aza indirilmesi amacıyla geliştirilen İteratif Hata

Eğitim Tekniği kullanılarak modellerin tahmin performansı arttırılmıştır. Geliştirilen Kriging ve Tahmin Haritası modellerinde İteratif Hata Eğitim Tekniğinin seçilen her parametre için tahmin perfromansını arttırdığı görülmüştür.

Model tahmin sonuçların değerlendirilmesi aşamasında Verimlilik Katsayısı (VK) ve Kök Ortalama Kare Hata (KOKH) performans değerlendirme kriterlerinden yararlanılmıştır. VK ve KOKH değerlerine bakıldığında hem eğitime hem de test veri setleri için Tahmin Haritası yönteminin her parametrede Kriging yönteminden daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Özellikle test verilerinin tahmininde Kriging modeli SAR parametresi hariç diğer tüm parametrelerde çok düşük performans gösterirken Tahmin Haritası yönteminin bütün parametrelerde oldukça başarılı sonuçlar aldığı görülmüştür. Eğitime veri seti için her iki model de VK ve KOKH değerlendirme kriterlerine göre başarılı sonuçlar vermiştir. Bununla birlikte Tahmin Haritası yöntemi çoğu parametrede 0.97-0.99 arasında aldığı VK değerleriyle mükemmel performans göstermiştir.

Eğitime verileri ile kalibre edilen modellerden test noktaları için elde edilen tahmin değerleri ve test noktaları ölçüm değerleri diyagonal doğru diyagramları üzerinde dağılım grafiği olarak sunulmuştur. Tahmin Haritası yöntemi her parametrede en iyi model performansını temsil eden diyagonal doğru çizgisine yakın değerler alarak Kriging yöntemine göre daha iyi sonuçlar vermiştir.

Kriging yönteminin özellikle test veri grubunda başarısız olması modellerin eğitime veri grubuyla eğitilmesi dolayısıyla test noktaları için ekstrapolasyon yapması olarak değerlendirilmiştir. Yani modeller geliştirilirken kullanılan veri noktalar dışındaki noktaların tahminin yapılmamıştır. Ayrıca veri setlerindeki ortalama değerden çok yüksek veya çok düşük olan ekstrem değerler de model performansını olumsuz etkilemiştir. Tahmin haritası yönteminin ise bu değerlerden etkilenmediği ve oldukça başarılı bir performans sergilediği görülmüştür.

Gediz Havzası YAS kalitesi hem içme-kullanma hem de tarımsal sulama amaçlı kullanılabilirliği açısından değerlendirilecek olursa; bu çalışmada kullanılan kalite parametreleri açısından kuyu-kaynak noktalarından alınan örneklerin kimyasal analizlerine göre çoğu noktanın TS266, DSÖ ve EC tarafından belirlenen limit değerlerin altında kaldığı sadece birkaç noktada limit değerlerin üzerinde olduğu görülmektedir. Ayrıca sulama suyu kalitesini değerlendirmek için SKKY Teknik

Usuller Tebliği'nde yer alan sulama suyu sınıflaması kriterlerine göre yine çoğu noktanın 1. ve 2. Sınıf Sulama sınıfında yer aldığı görülmektedir. Toplam 392 noktanın sadece 12' si belirlenen limit değerleri aşmaktadır. Bu da Gediz Havzasındaki YAS' ın içme-kullanma ve tarımsal sulamada kullanılabilir olduğunu göstermektedir. Ancak yapılan önceki çalışmalarda (Fugro-Sial, 2017; Tübitak MAM, 2018) havzadaki YAS kütlelerin tarımsal faaliyetler, kentsel aktiviteler, katı atık depoları, endüstriyel faaliyetler nedeniyle kirletici baskısı altında olduğu belirlenmiştir. Bu baskılara bağlı olarak havzadaki toplam 76 YAS kütlesinin 23' ünün etki gösterdiği belirtilmiştir. Dolayısıyla YAS' da kirliliği gösterecek daha fazla parametre kullanılarak değerlendirmelerin yapılması daha doğru olacaktır.





KAYNAKLAR

- Adhikary, P. P., & Dash, C. J. (2017).** Comparison of deterministic and stochastic methods to predict spatial variation of groundwater depth. *Applied Water Science*, 7(1), 339–348. <https://doi.org/10.1007/s13201-014-0249-8>
- Altunkaynak, A., Özger, M., & Sen, Z. (2003).** Triple diagram model of level fluctuations in Lake Van, Turkey. *Hydrology and Earth System Sciences*, 7(2), 235–244. <https://doi.org/10.5194/hess-7-235-2003>
- Altunkaynak, A. (2016).** Prediction of longitudinal dispersion coefficient in natural streams by prediction map. *Journal of Hydro-Environment Research*, 12, 105–116. <https://doi.org/10.1016/j.jher.2016.05.001>
- Altunkaynak, A. (2009).** Streamflow estimation using optimal regional dependency function. *Hydrological Processes*. <https://doi.org/10.1002/hyp.7446>
- Altunkaynak, A. (2015).** Prediction of significant wave height using spatial function. *Ocean Engineering*, 106, 220–226. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2015.06.028>
- Altunkaynak, A., & Wang, K. H. (2010).** Triple diagram models for prediction of suspended solid concentration in Lake Okeechobee, Florida. *Journal of Hydrology*, 387(3–4), 165–175. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.03.035>
- Arslan, H. (2014).** Estimation of spatial distribution 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*. <https://doi.org/10.1007/s10661-014-3764-z>
- Başbozkurt, H., Öztaş, T., Karalibrahimoğlu, A., & Gündoğan, R. (2013).** Toprak Özelliklerinin Mekânsal Değişim Desenlerinin Jeostatistiksel Yöntemlerle Belirlenmesi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 44(2), 169–181. <https://doi.org/10.17097/zfd.23582>
- Çevre ve Orman Bakanlığı. (2008).** Su Kirliliği ve Kontrolü Yönetmeliği. Resmi Gazete.
- Çıtakoğlu, H., Çetin, M., Çobaner, M., & Haktanır, T. (2017).** Mevsimsel Yağışların Jeostatistiksel Yöntemle Modellenmesi ve Gözlemi Olmayan Noktalarda Tahmin Edilmesi, 7725–7746.
- Cressie, N. (1992).** Statistics for Spatial Data. *Terra Nova*, 4(5), 613–617. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3121.1992.tb00605.x>
- Dorak, S., Aşık, B. B., & Özsoy, G. (2019).** Tarımda Su Kalitesi ve Su Kirliliğinin Önemi : Bursa Nilüfer Çayı Örneği The Importance of Water Quality and Water Pollution in Agriculture : Case of Nilüfer Creek in Bursa, 33(1), 155–166.
- Du, D., Yan, S., Yang, F., Zhu, Z., Song, Q., & Yang, G. (2018).** Kriging interpolation for evaluating the mineral resources of cobalt-rich crusts on magellan seamounts. *Minerals*, 8(9), 9–16. <https://doi.org/10.3390/min8090374>

- Eser (2014).** *DSİ 02 Bölge Gediz Havzası Yeraltısu Yönetimi Planlanması-Hidrojeolojik Etüt Yaptırılması Ara Raporu*. Eser Mühendislik Müşavirlik A.Ş.
- Fugro-Sial. (2017).** *Yeraltı Sularının Miktar ve Kalite Özelliklerinin Ortaya Konması Ve Değerlendirilmesi Konusundaki Uygulamalar: Gediz Havzası Örnek Çalışması*. Fugro Sial Müşavirlik ve Mühendislik LTD.ŞTİ.
- Güler, C., Kurt, M. A., Alpaslan, M., & Akbulut, C. (2012).** Assessment of the impact of anthropogenic activities on the groundwater hydrology and chemistry in Tarsus coastal plain (Mersin, SE Turkey) using fuzzy clustering, multivariate statistics and GIS techniques. *Journal of Hydrology*, 414–415, 435–451. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.11.021>
- Gültekin, O. Ş. (2015).** Yeraltı Suyu Miktarındaki Değişimin Yeraltı Suyu Kalitesine Etkileri ve Çözüm Önerileri. *T.C. ORMAN VE SU İŞLERİ BAKANLIĞI*, (Uzmanlık Tezi).
- Hartkamp, D. A., De Beurs, K., Stein, A., & White, J. W. (1999).** *Interpolation Techniques for Geographic Information Systems*.
- İmamoğlu, M. Z., Sertel, E., Kurucu, Y., & Örmeci, C. (2011).** Jeostatistik Yöntemler Kullanılarak Farklı Toprak Özelliklerine Ait Haritaların Oluşturulması ve CBS İle Analizi. Ankara: II.Ulusal Toprak ve Su Kaynakları Kongresi.
- Journel, A.G., Huijbregts, Ch.J., 1978.** Mining Geostatistic. Academic Press, London.
- Kahraman, S., & Ünsal, Ö. (2014).** *ArcGIS Spatial Analiz*. Esri Bilgi Sistemleri Mühendislik ve Eğitim Ltd. Şti.
- Kaya, Ş., & Sertel, E. (2006).** Uzaktan algılanmış verilerin semivariogram modeli. *İçinde 1. Uzaktan Algılama ve CBS Çalıştay ve Paneli* (ss. 1–6).
- Kebaili Bargaoui, Z., & Chebbi, A. (2009).** Comparison of two kriging interpolation methods applied to spatiotemporal rainfall. *Journal of Hydrology*, 365(1–2), 56–73. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.11.025>
- Krige, D. G. (1952).** A Statistical Approach to Some Basic Mine Valuation Problems on the Witwatersrand. *Journal of the Chemical, Metallurgical and Mining Society of South Africa*. <https://doi.org/10.2307/3006914>
- Ly, S., Charles, C., & Degré, A. (2011).** Geostatistical interpolation of daily rainfall at catchment scale: The use of several variogram models in the Ourthe and Ambleve catchments, Belgium. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(7), 2259–2274. <https://doi.org/10.5194/hess-15-2259-2011>
- Mair, A., & Fares, A. (2011).** Comparison of rainfall interpolation methods in a mountainous region of a tropical island. *Journal of Hydrologic Engineering*, 16(4), 371–383. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000330](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000330)
- Nas, B., & Berktaş, A. (2010).** Groundwater quality mapping in urban groundwater using GIS. *Environmental Monitoring and Assessment*, 160(1–4), 215–227. <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0689-4>
- Nash, J. E., & Sutcliffe, J. V. (1970).** River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 10(3), 282–290. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(70\)90255-6](https://doi.org/10.1016/0022-1694(70)90255-6)

- Oğuz, T. C. (2015).** İçme Suyu Arıtımında Yaygın Olarak Karşılaşılan Su Kalite Problemleri ve Arıtımı İçin Çözüm Önerileri. *T.C. ORMAN VE SU İŞLERİ BAKANLIĞI*, (UZmanlık Tezi).
- Orman ve Su İşleri Bakanlığı. (2012).** Yeraltı Sularının Kirlenmeye Ve Bozulmaya Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik. *Resmi Gazete*.
- Orman ve Su İşleri Bakanlığı. (2014).** Yüzeysel Sular Ve Yeraltı Sularının İzlenmesine Dair Yönetmelik. *Resmi Gazete*.
- Orman ve Su İşleri Bakanlığı. (2016).** *Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği*. Resmi Gazete.
- Prakash, M. R., & Singh, V. S. (2000). Network design for groundwater monitoring - A case study. *Environmental Geology*. <https://doi.org/10.1007/s002540050474>
- Ritter, A., & Muñoz-Carpena, R. (2013).** Performance evaluation of hydrological models: Statistical significance for reducing subjectivity in goodness-of-fit assessments. *Journal of Hydrology*. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.12.004>
- Rutter, C. M., Isaaks, E. H., & Srivastava, R. M. (1991).** An Introduction to Applied Geostatistics. *Journal of the American Statistical Association*. <https://doi.org/10.2307/2290613>
- Sağlık Bakanlığı. (2005).** İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik. *Resmi Gazete*.
- Sen, Z. (2016a).** *Spatial modeling principles in earth sciences, second edition. Spatial Modeling Principles in Earth Sciences, Second Edition*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-41758-5>
- Sen, Z. (2016b).** *Spatial Modeling Principles in Earth Sciences* (Second edi). Springer.
- Şener, Ş., & Güneş, D. (2015).** Water Quality and Hydrogeochemical Characteristics of Surface Water and Groundwaters in Aksu (Isparta) Plain. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 21(6), 260–269. <https://doi.org/10.5505/pajes.2014.85547>
- Şener, Ş., Şener, E., & Davraz, A. (2017).** Evaluation of water quality using water quality index (WQI) method and GIS in Aksu River (SW-Turkey). *Science of the Total Environment*, 584–585(September), 131–144. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.102>
- Sertel, E., Demirel, H., & Kaya, S. (2007).** Mekansal Analiz İçin Jeo-İstatistiksel Yaklaşım. İstanbul: Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği IV. Sempozyumu.
- SKKY, (1991)** Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği, Çevre ve Orman Bakanlığı, 7 Ocak 1991 tarih ve 20748 sayılı Resmi Gazete.
- Software, G. (2014).** Surfer 12 Full User's Guide (s. 41). Golden Software.
- Sonmez, O., & Bizimana, H. (2018).** Flood hazard risk evaluation using fuzzy logic and weightage based combination methods in Geographic Information System (GIS). *Scientia Iranica*, 0(0), 0–0. <https://doi.org/10.24200/sci.2018.21037>
- Srivastava, P. K., Pandey, P. C., Petropoulos, G. P., Kourgialas, N. N., Pandey,**

- V., & Singh, U. (2019).** GIS and remote sensing aided information for soil moisture estimation: A comparative study of interpolation techniques. *Resources*, 8(2). <https://doi.org/10.3390/resources8020070>
- Theodoridou, P. G., Varouchakis, E. A., & Karatzas, G. P. (2017).** Spatial analysis of groundwater levels using Fuzzy Logic and geostatistical tools. *Journal of Hydrology*, 555, 242–252. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.10.027>
- Theodossiou, N., & Latinopoulos, P. (2006).** Evaluation and optimisation of groundwater observation networks using the Kriging methodology. *Environmental Modelling and Software*. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2005.05.001>
- Tobin, C., Nicotina, L., Parlange, M. B., Berne, A., & Rinaldo, A. (2011).** Improved interpolation of meteorological forcings for hydrologic applications in a Swiss Alpine region. *Journal of Hydrology*, 401(1–2), 77–89. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.02.010>
- TS 266.** Türk Standartları Enstitüsü. “Sular-İnsani Tüketim Amaçlı Sular”. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye, TS-266, 2005
- Tübitak MAM. (2014).** *Havza Koruma Eylem Planları-Gediz Havzası*.
- Tübitak MAM. (2018).** *Gediz Havzası Nehir Havza Yönetim Planının Hazırlanması Projesi* (C. 5168604). Tarım ve Orman Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü.
- Varol, S., & Davraz, A. (2015).** Evaluation of the groundwater quality with WQI (Water Quality Index) and multivariate analysis: a case study of the Tefenni plain (Burdur/Turkey). *Environmental Earth Sciences*, 73(4), 1725–1744. <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3531-z>
- Varouchakis, E. A., & Hristopulos, D. T. (2017).** Comparison of spatiotemporal variogram functions based on a sparse dataset of groundwater level variations. *Spatial Statistics*. <https://doi.org/10.1016/j.spasta.2017.07.003>
- Wagner, P. D., Fiener, P., Wilken, F., Kumar, S., & Schneider, K. (2012).** Comparison and evaluation of spatial interpolation schemes for daily rainfall in data scarce regions. *Journal of Hydrology*, 464–465, 388–400. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.07.026>
- World Water Assessment Programme. (2009).** *The United Nations World Water Development Report 3: Water in a Changing World. The United Nations World Water Development Report 3. Paris: UNESCO, and LONDON: Earthscan.* <https://doi.org/10.3390/w3020618>
- Yaprak, S., & Arslan, E. (2008).** Kriging Yöntemi ve Geoit Yüksekliklerinin Enterpolasyonu. *Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*, 98, 36–42.
- Yeşilkanat, C. M., Kobya, Y., Taşkın, H., & Çevik, U. (2014).** Jeostatistik Tahmin ve Simulasyon Yöntemleri ile Artvin İlindeki Doğal Kaynak Suları için Toplam Alfa ve Toplam Betanın Ara Değer Modellemesi ve Haritalanması. *Science Science Journal (CSJ)*, 35(4). Tarihinde adresinden erişildi <http://dergi.cumhuriyet.edu.tr/ojs/index.php/fenbilimleri>

Yidana, S. M., Banoeng-Yakubo, B., & Akabzaa, T. M. (2010). Analysis of groundwater quality using multivariate and spatial analyses in the Keta basin, Ghana. *Journal of African Earth Sciences*, 58(2), 220–234. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2010.03.003>

Zheng, Q., Ma, T., Wang, Y., Yan, Y., Liu, L., & Liu, L. (2017). Hydrochemical Characteristics and Quality Assessment of Shallow Groundwater in Xincai River Basin, Northern China. *Procedia Earth and Planetary Science*, 17, 368–371. <https://doi.org/10.1016/j.proeps.2016.12.093>

Url-1<<https://www.esri.com/arcgis-blog/products/product/analytics/how-to-perform-spatial-analysis/>> erişim tarihi 01.04.2020

Url-2 <<https://dobisu.marmara.edu.tr/orta-menu/yararli-bilgiler/icme-kullanma-suyu-parametrelerinde-bulunan-iyonların-fazlalığının-insan-sağlığı-üzerindeki-etkileri>> erişim tarihi 07.05.2020

Url-3<<https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/geostatistical-analyst-toolbox/cross-validation.htm>> erişim tarihi 10.04.2020

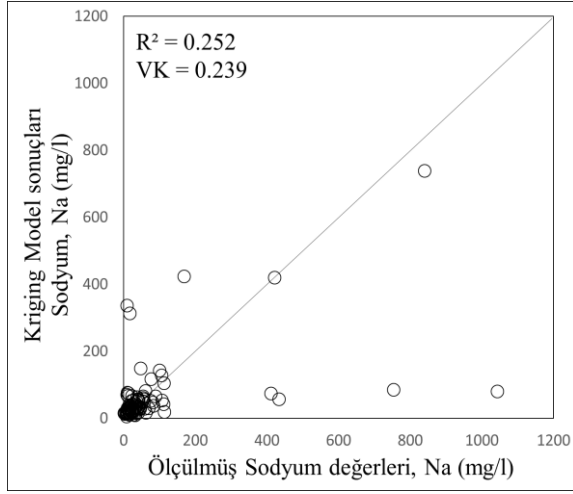


EKLER

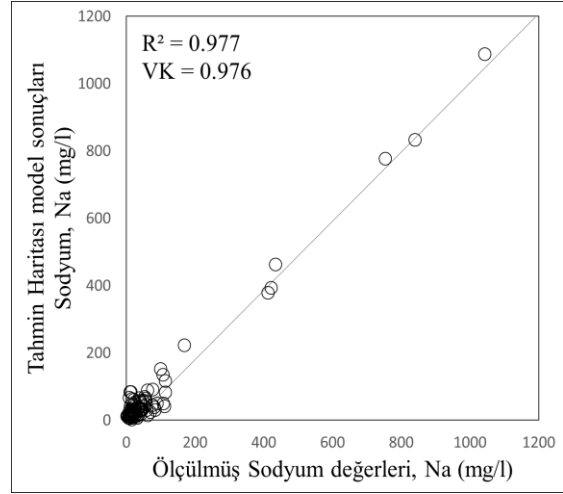
EK A : Diyagonal Doğru Diyagramları



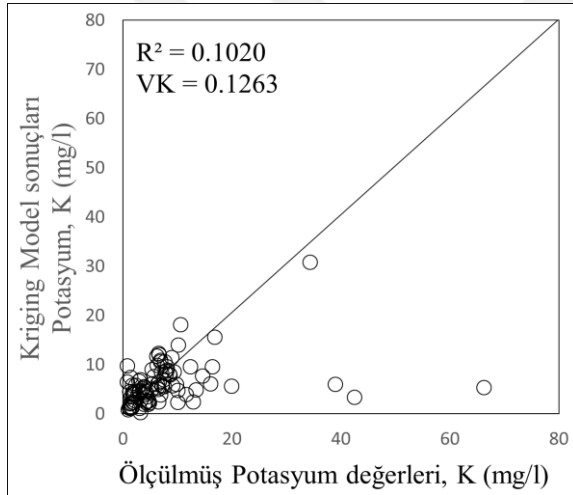
EK A



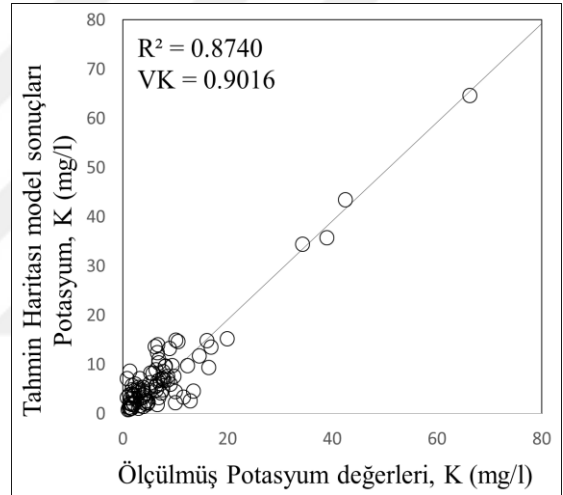
a)



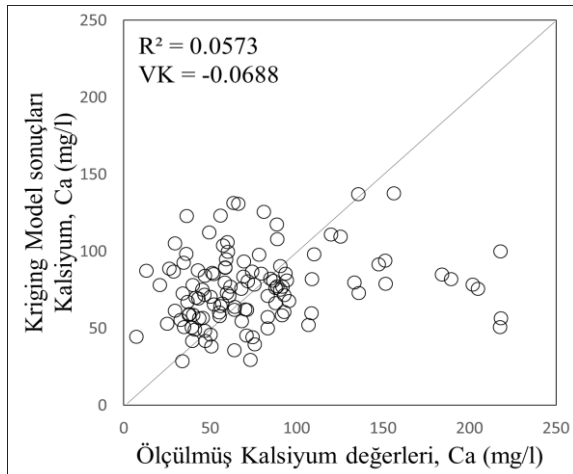
b)



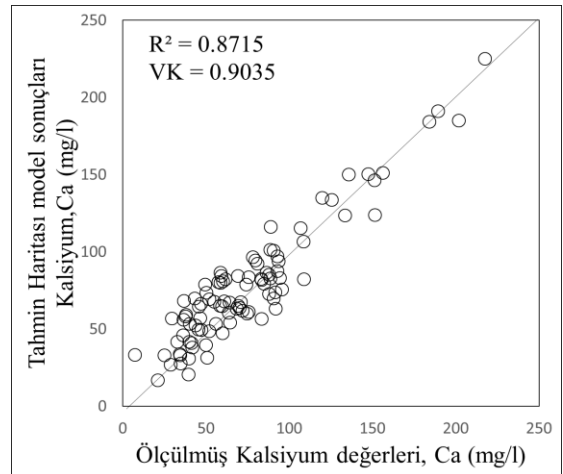
c)



d)

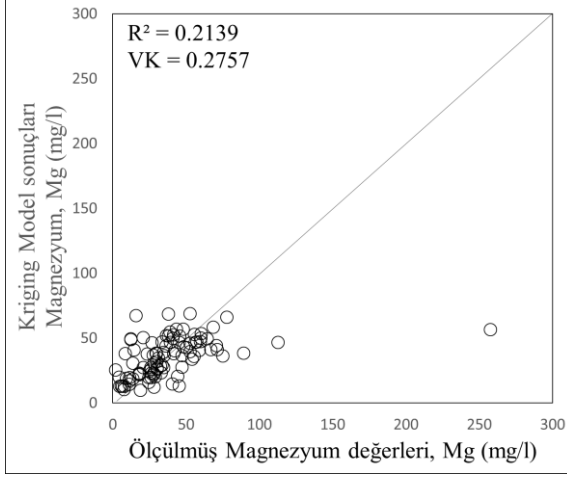


e)

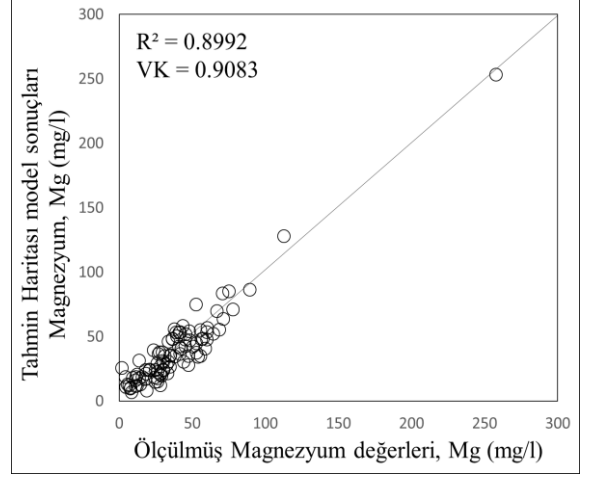


f)

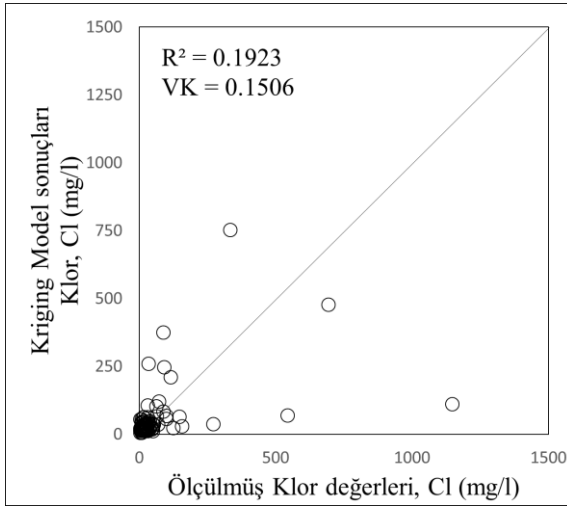
Şekil A.1 : Diyagonal doğru diyagramları: (a)Na için Kriging modeli. (b)Na için Tahmin Haritası modeli. (c)K için Kriging modeli. (d)K için Tahmin Haritası modeli. (e)Ca için Kriging modeli. (f)Ca için Tahmin Haritası modeli.



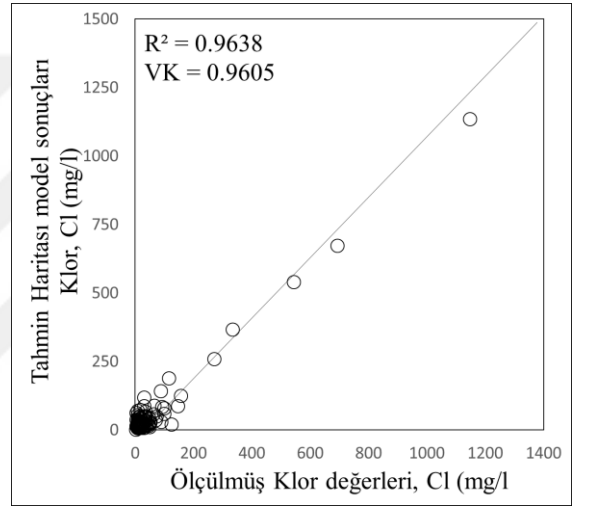
(g)



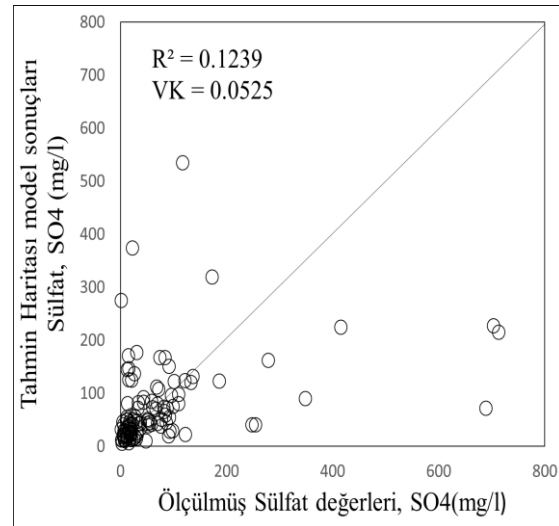
(ğ)



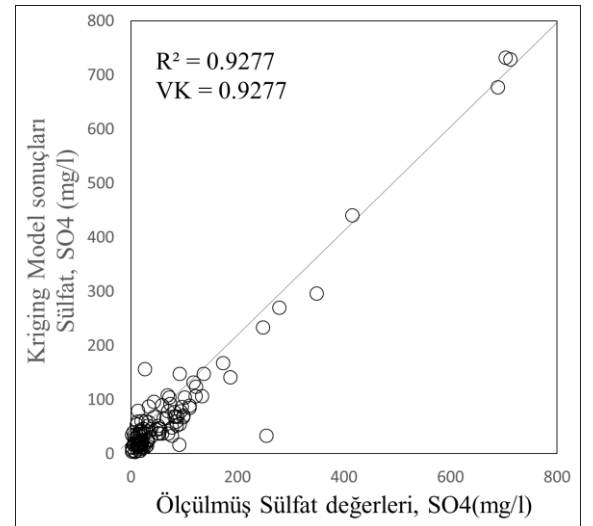
(h)



(ı)

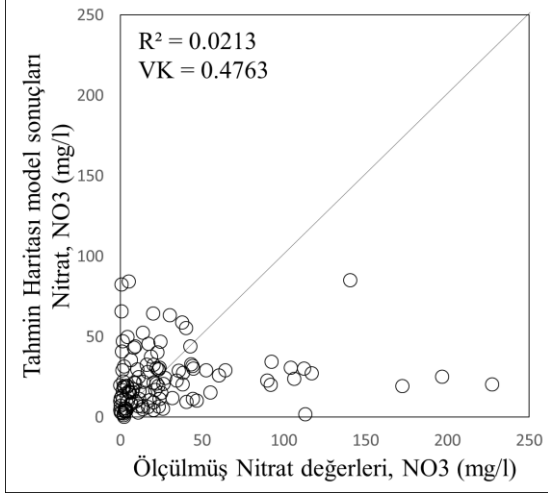


(i)

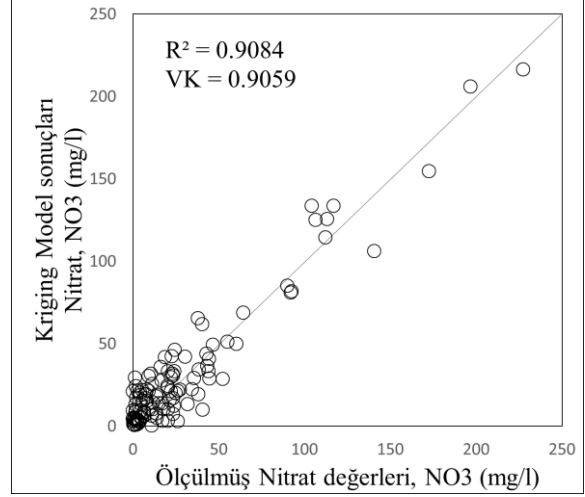


(j)

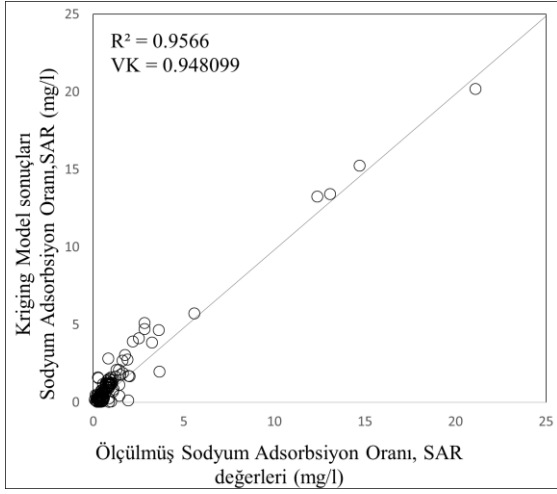
Şekil A.1 : (devam) Diyagonal doğru diyagramları : (g)Mg için Kriging modeli. (ğ)Mg için Tahmin Haritası modeli. (h)Cl için Kriging modeli. (ı)Cl için Tahmin Haritası modeli. (i)SO₄ için Kriging modeli. (j)SO₄ için Tahmin Haritası modeli.



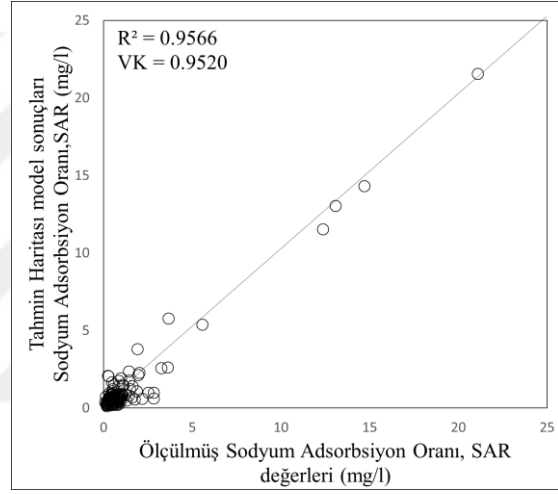
(k)



(l)



(m)



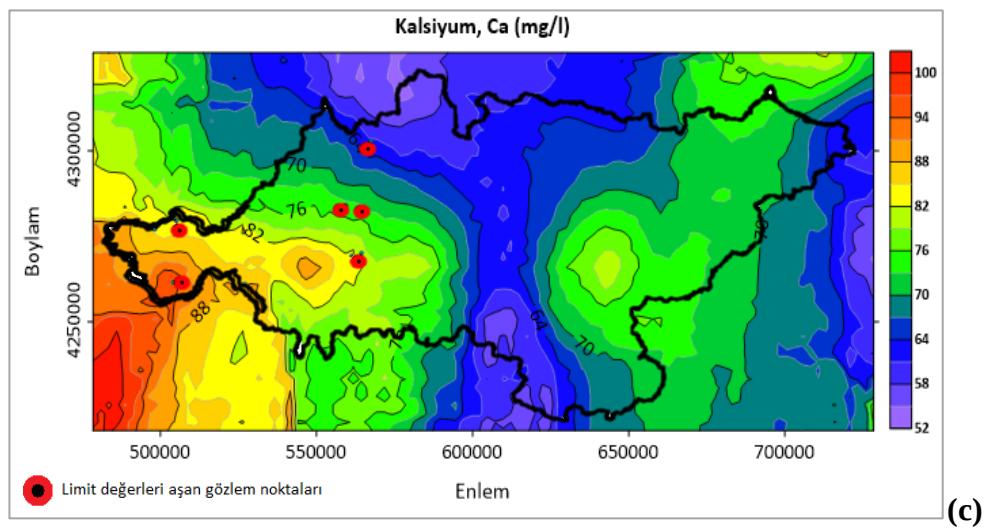
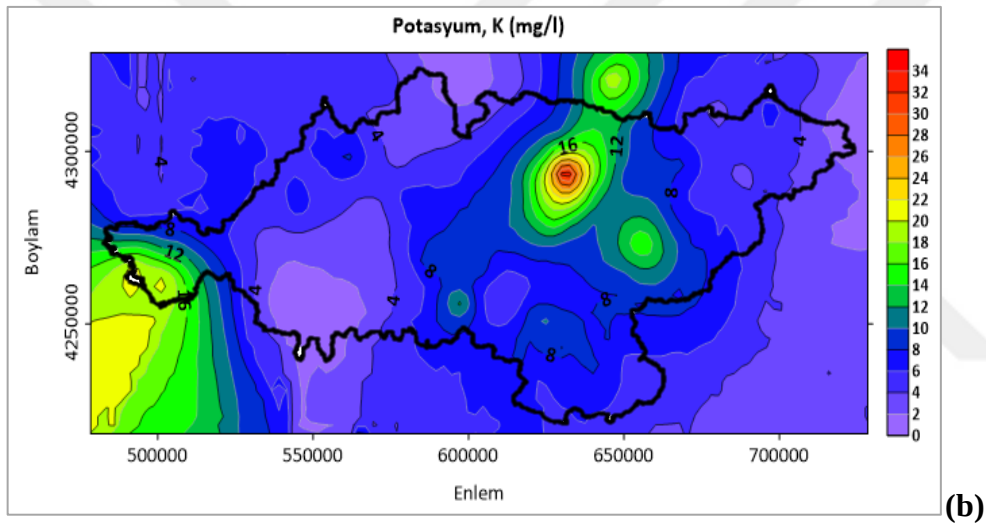
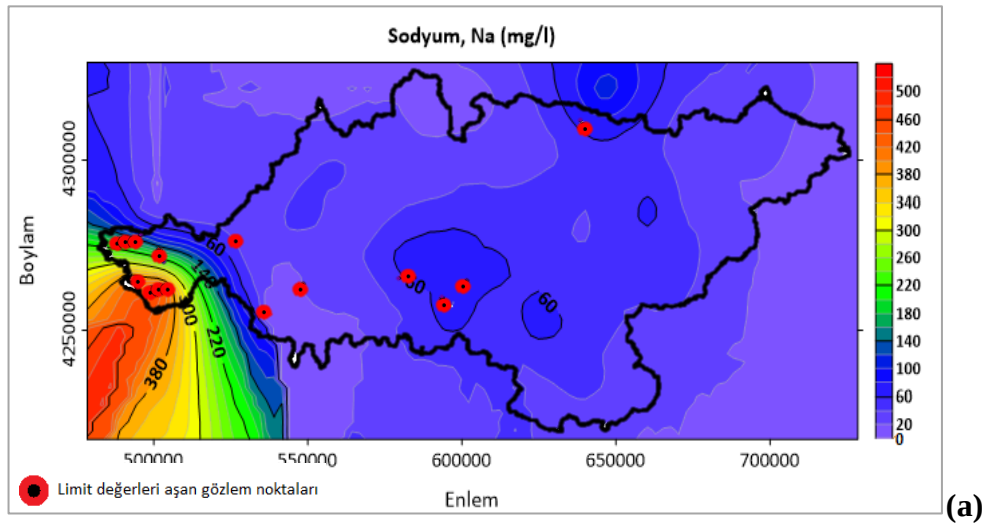
(n)

Şekil A.1 : (devam) Diyagonal doğru diyagramları: (k)NO₃ için Kriging modeli. (l)NO₃ için Tahmin Haritası modeli. (m)SAR için Kriging modeli. (n)SAR için Tahmin Haritası modeli. modeli.

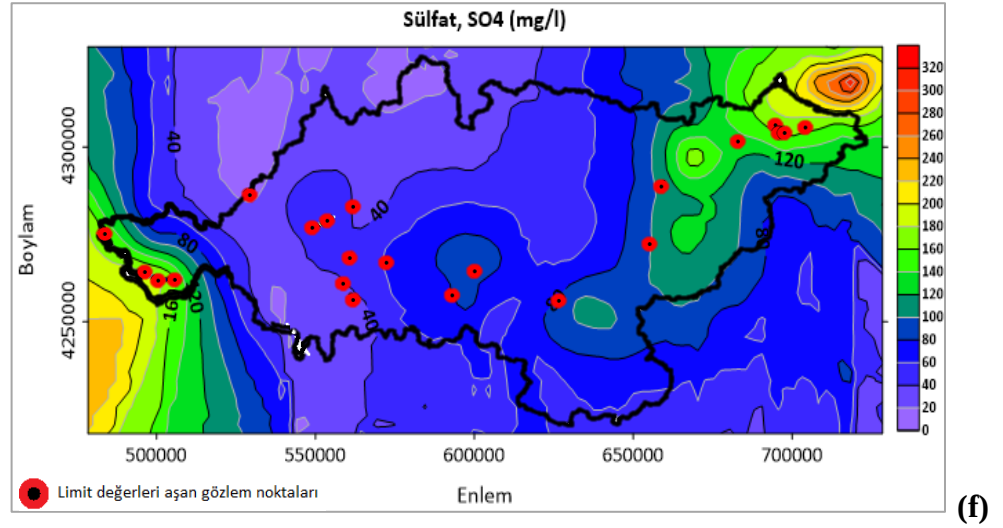
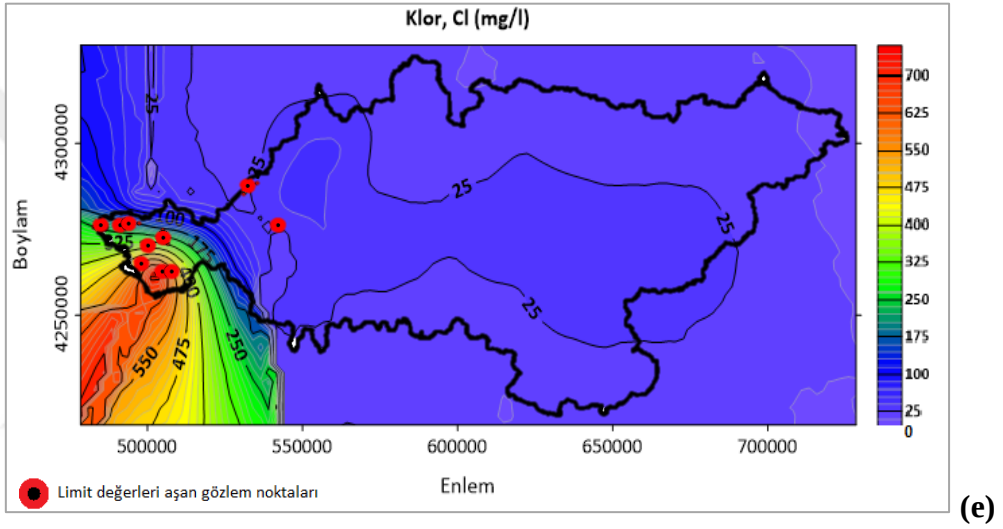
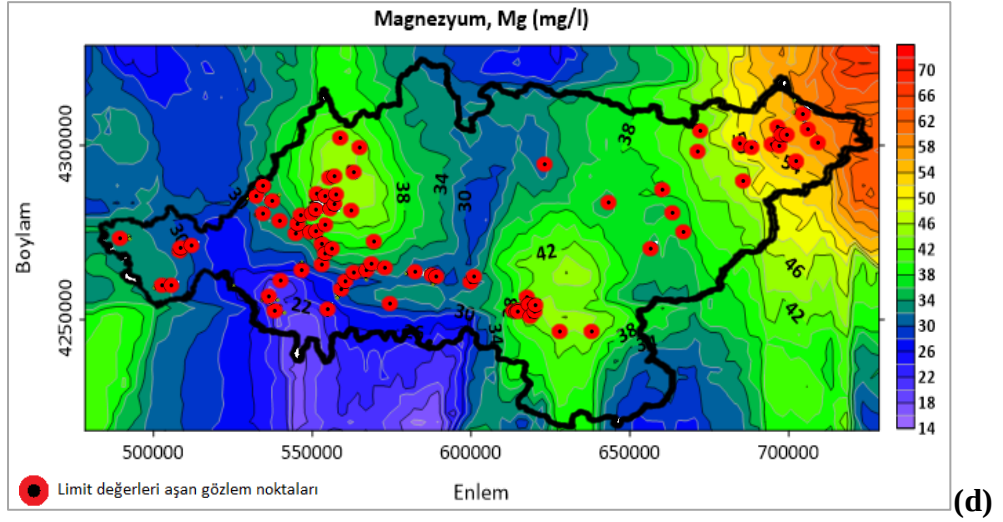
EK B: Tahmin Haritaları



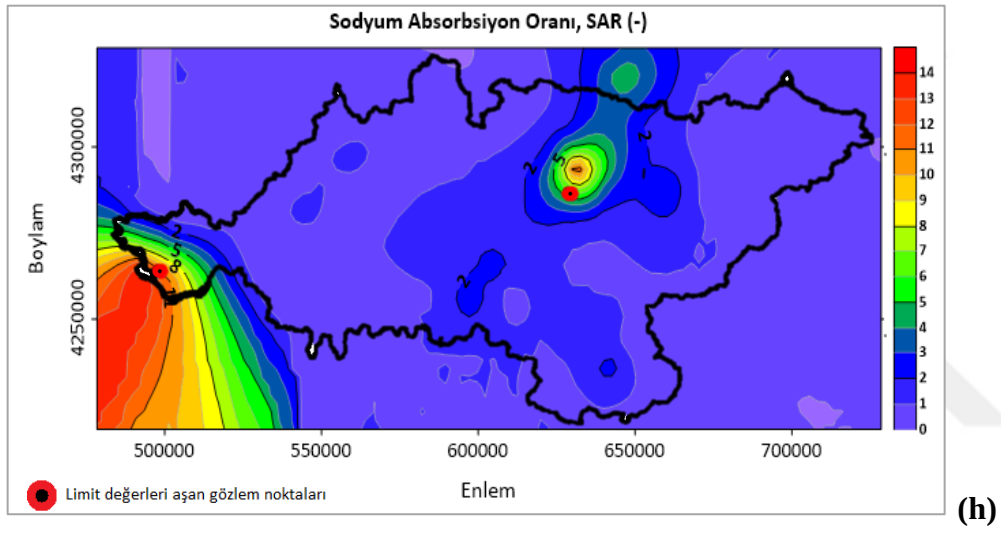
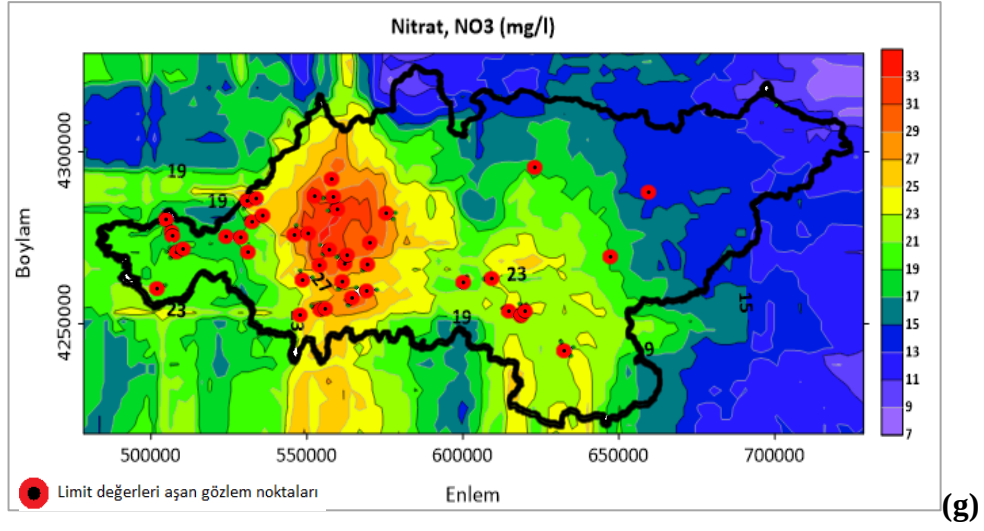
EK B



Şekil B.1 : Tahmin Haritaları : (a)Na için Tahmin Haritası. (b) K için Tahmin Haritası. (c) Ca için Tahmin Haritası



Şekil B.1 (devam): Tahmin Haritası modeli ile oluşturulan tahmin haritaları : (d) Mg için Tahmin Haritası. (e) Cl için Tahmin Haritası. (f) SO₄ için Tahmin Haritası



Şekil B.1 (devam) : Tahmin Haritası modeli ile oluşturulan tahmin haritaları : (g) NO₃ için Tahmin Haritası. (h) SAR için Tahmin Haritası.

ÖZGEÇMİŞ

VEŞİKALIK
FOTO

Ad-Soyad : Hatice Kübra DEMİR

Doğum Tarihi ve Yeri : 12.09.1992 / ANKARA

E-posta : demirh17@itu.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2015, Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Hidrojeoloji Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- Ekim 2019'dan itibaren İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresinde Hidrojeoloji Mühendisi olarak çalışmaktadır.

YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- Demirel, M. C., Özen, A., Orta, S., Toker, E., Demir, H. K., Ekmekcioğlu, Ö., ... Booij, M. J. (2019). Additional value of using satellite-based soil moisture and two sources of groundwater data for hydrological model calibration. *Water (Switzerland)*. <https://doi.org/10.3390/w11102083>