

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YERALTI SULARININ DUYARLILIĞININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE KULLANILAN  
MODELLERİN OPTİMİZASYONU: GÜMÜŞHACIKÖY-MERZİFON HAVZASI (ORTA  
KARADENİZ) İÇİN BİR UYGULAMA**

**DOKTORA TEZİ**

**Amirhossein TABATABAEI**

**KASIM 2019  
TRABZON**



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YERALTI SULARININ DUYARLILIĞININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE KULLANILAN  
MODELLERİN OPTİMİZASYONU: GÜMÜŞHACIKÖY-MERZİFON HAVZASI (ORTA  
KARADENİZ) İÇİN BİR UYGULAMA**

**Amirhossein TABATABAEI**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce**  
**"DOKTOR (İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ)"**  
**Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 28 / 02 / 2019**

**Tezin Savunma Tarihi : 12 / 11 / 2019**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ömer YÜKSEK**

**Trabzon 2019**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında**

**Amirhossein TABATABAEI Tarafından Hazırlanan**

**YERALTI SULARININ DUYARLILIĞININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE  
KULLANILAN MODELLERİN OPTİMİZASYONU: GÜMÜŞHACIKÖY-MERZİFON  
HAVZASI (ORTA KARADENİZ) İÇİN BİR UYGULAMA**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 12 /03 /2019 gün ve 1795 sayılı  
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda  
DOKTORA TEZİ  
olarak kabul edilmiştir.**

**Jüri Üyeleri**

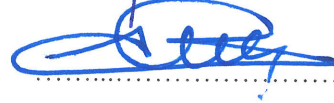
**Başkan : Prof. Dr. Basri ERTAŞ**

**Üye : Prof. Dr. Ömer YÜKSEK**

**Üye : Prof. Dr. Servet KARASU**

**Üye : Doç. Dr. Arzu Fırat ERSOY**

**Üye : Doç. Dr. Adem BAYRAM**



**Prof. Dr. Asim KADIOĞLU**

**Enstitü Müdürü**

## ÖNSÖZ

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında “Yeraltı Sularının Duyarlılığının Değerlendirilmesi ve Kullanılan Modellerin Optimizasyonu: Gümüşhacıköy-Merzifon Havzası (Orta Karadeniz) İçin Bir Uygulama” konusunda yapmış olduğum doktora tezimde danışmanlığımı üstlenen, eğitimim süresince biliminden fazlasıyla yararlandığım, insani ve ahlaki değerlerini örnek edindiğim, çalışmaktan onur duyduğum, tecrübelerinden faydalanırken çalışmamın her safhasında göstermiş olduğu sabır, hoşgörü, anlayış ve yardımlarından dolayı danışman hocam Prof. Dr. Ömer YÜKSEK’e; tez çalışmam sırasında akademik tecrübe ve bilgileriyle bana devamlı destek olan Prof. Dr. Basri ERTAŞ, Prof. Dr. Servet KARASU, Prof. Dr. Fatma GÜLTEKİN, Doç. Dr. Arzu Fırat ERSOY ve Doç. Dr. Adem BAYRAM’a, tüm DSİ 7. Bölge Müdürlüğü çalışanlarına, eğitim hayatım boyunca emeği geçen tüm öğretmenlerime ve hocalarıma, bu günlere gelmemde büyük payları olan ve sabırla beni destekleyen annem, babam, kardeşim ve dostlarıma sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Amirhossein TABATABAEI

Trabzon 2019

## **TEZ ETİK BEYANNAMESİ**

Doktora Tezi olarak sunduğum “Yeraltı Sularının Duyarlılığının Değerlendirilmesi ve Kullanılan Modellerin Optimizasyonu: Gümüşhacıköy-Merzifon Havzası (Orta Karadeniz) için Bir Uygulama” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Ömer YÜKSEK’in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 12/11/2019

Amirhossein TABATABAEI

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ .....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ .....	IV
İÇİNDEKİLER .....	V
ÖZET .....	VIII
SUMMARY .....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	X
TABLolar DİZİNİ .....	XI
SEMBOLLER DİZİNİ .....	XII
1. GENELBİLGİLER .....	1
1.1. Giriş .....	1
1.2. Önceki Çalışmalar .....	3
1.3. Tezin Amacı ve Kapsamı .....	6
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR .....	7
2.1. Giriş .....	7
2.2. Çalışma Alanı ve Özellikleri .....	7
2.2.1. Meteorolojik Çalışmalar .....	9
2.2.2. Jeolojik Çalışmalar .....	10
2.2.3. Hidrojeolojik Çalışmalar .....	10
2.3. Yeraltı Sularının Duyarlılığının Değerlendirilmesi .....	12
2.3.1. DRASTIC Modeli .....	13
2.3.1.1. Yeraltı Suyu Derinliği (D) .....	14
2.3.1.2. Net Beslenme (R) .....	14
2.3.1.3. Akifer Ortamı (A) .....	15
2.3.1.4. Toprak Ortamı (S) .....	16
2.3.1.5. Topoğrafya (T) .....	17
2.3.1.6. Doymamış Bölge Etkisi (I) .....	18
2.3.1.7. Hidrolik İletkenlik (C) .....	18
2.4. Yapay Zeka Kavramı .....	19

2.4.1.	Bulanık (Fuzzy) Mantık .....	19
2.4.1.1.	Üyelik Fonksiyonu.....	20
2.4.1.2.	Farklı Fuzzy Yöntemleri.....	21
2.4.1.3.	Fuzzy Modeli Yardımıyla DRASTIC Modelinin Optimizasyonu.....	21
2.4.1.4.	$R^2$ ve RMSE Değerleri.....	23
2.4.1.5.	Fuzzy Mantığında Verilerin Sınıflandırılması .....	23
2.4.1.5.1.	Çıkarmalı Kümeleme Yöntemi.....	24
2.4.1.5.2.	Bulanık C-ortalamalar Yöntemi .....	24
2.5.	Matematiksel Modeller.....	25
2.5.1.	Matematiksel Modellerin Sınıflandırılması .....	26
2.5.1.1.	Deterministik ve Stokastik Modeller .....	26
2.5.1.2.	Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Modeller .....	26
2.5.1.3.	Statik ve Dinamik Modeller .....	26
2.5.1.4.	Toplu Parametrelili ve Dağıtılmış Parametrelili Modeller.....	27
2.5.1.5.	Sebeup-Sonuç Arasında Olan İlişkiye Dayanan Matematiksel Modeller.....	27
2.5.1.6.	Sürecin Çeşidine Dayanan Matematiksel Modeller.....	27
2.5.1.7.	Denklemlerin Çözümü için Kullanılan Yöntemin Çeşidine Bağlı Olan Matematiksel Modeller .....	28
2.5.1.7.1.	Analitik Modeller .....	28
2.5.1.7.2.	Sayısal Modeller.....	28
2.6.	Catastrophe Teorisi.....	28
2.6.1.	DRASTIC Modelinin Catastrophe Modeli ile Optimize Edilmesi.....	30
2.6.2.	Duyarlılık Haritasını Elde Etmek için Catastrophe Teorisi Aşamaları.....	30
2.6.2.1.	DRASTIC Modeli Katmanlarının Normalleştirilmesi.....	30
2.6.2.2.	Kontrol Parametreleri.....	31
2.6.2.3.	Catastrophe Fonksiyonları.....	31
2.6.2.4.	Parametrelerin Ağırlıklarının Tahmini.....	32
2.6.2.5.	Catastrophe Modeli ile Normalize Edilmiş DRASTIC İndeksinin Elde Edilmesi .....	33
3.	BULGULAR VE İRDELEME.....	34
3.1.	DRASTIC Modeli Katmanlarının Hazırlanması .....	34
3.1.1.	Yeraltı Suyu Derinliği Katmanının Hazırlanması (D).....	34
3.1.2.	Net Beslenme Katmanının Hazırlanması (R).....	35

3.1.3.	Akifer Ortamı Katmanının Hazırlanması (A) .....	37
3.1.4.	Toprak Ortamı Katmanının Hazırlanması (S).....	39
3.1.5.	Topoğrafya Katmanının Hazırlanması (T).....	41
3.1.6.	Doymamış Bölge Katmanının Hazırlanması (I).....	42
3.1.7.	Hidrolik İletkenlik Katmanının Hazırlanması (C).....	43
3.2.	DRASTIC Modeli Duyarlılık Haritası .....	45
3.3.	DRASTIC Modelinin Doğrulaması.....	47
3.3.1.	Korelasyon İndeksi (CI) Yöntemi.....	47
3.4.	Fuzzy Modeli ile DRASTIC Modelinin Optimizasyonu.....	49
3.4.1.	Fuzzy Modelinden Elde Edilen Sonuçlar.....	49
3.4.2.	Fuzzy Modellerinden Elde Edilen Duyarlılık Haritaları.....	50
3.4.2.1.	Sugeno Modelinin Duyarlılık Haritası.....	50
3.4.2.2.	Mamdani Modelinin Duyarlılık Haritası.....	51
3.4.2.3.	Larsen Modelinin Duyarlılık Haritası.....	52
3.4.3.	Fuzzy Modellerinin Doğrulaması.....	53
3.5.	Catastrophe Modeli ile Ağırlıkların Hesaplanması .....	55
3.5.1.	Catastrophe Modelinden Elde Edilen Duyarlılık Haritası.....	58
3.5.2.	Catastrophe Modelinin Doğrulaması.....	60
4.	SONUÇLAR .....	62
5.	ÖNERİLER .....	64
6.	KAYNAKLAR.....	65
7.	EKLER.....	70

ÖZGEÇMİŞ



Doktora Tezi

ÖZET

“YERALTI SULARININ DUYARLILIĞININ DEĞERLENDİRİLMESİ ve KULLANILAN MODELLERİN OPTİMİZASYONU: GÜMÜŞHACIKÖY-MERZİFON HAVZASI (ORTA KARADENİZ) İÇİN BİR UYGULAMA”

Amirhossein TABATABAEI

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Prof. Dr. Ömer YÜKSEK  
2019, 69 Sayfa, 15 Sayfa Ek

Bu tez çalışmasının amacı; Gümüşhacıköy-Merzifon Havzası'nda yeraltı sularının duyarlılık değerlendirilmesi için kullanılan modellerin optimize edilmesidir. Duyarlılık değerlendirmesi için DRASTIC modeli ve bu modeli optimize etmek için Fuzzy ve Catastrophe modelleri kullanılmıştır. DRASTIC modelinden duyarlılık haritası, Fuzzy ve Catastrophe modellerinden ise optimize edilmiş duyarlılık haritası elde edilmiştir. DRASTIC modelindeki yedi parametre kullanılarak DRASTIC modelinin bu parametrelerden elde edilen yedi katmanı Coğrafi Bilgi Sistemi ortamında oluşturulmuş ve havzanın duyarlılık haritası elde edilmiştir. DRASTIC modelinden elde edilen DRASTIC indekslerine göre; düşük, orta ve yüksek olmak üzere üç farklı duyarlılık alanı belirlenmiştir. DRASTIC modelini Fuzzy modeli ile optimize etmek için Sugeno, Mamdani ve Larsen yöntemleri kullanılmış ve optimize edilmiş duyarlılık haritaları elde edilmiştir. Ayrıca DRASTIC modeli Catastrophe modeliyle de optimize edilmiş ve optimize edilmiş duyarlılık haritası elde edilmiştir. Tüm modellerin duyarlılık haritalarının doğrulaması havzanın çeşitli noktalarında ölçülen nirat ( $\text{NO}_3^-$ ) değerleri ile yapılmıştır. Havzanın çeşitli noktalarındaki duyarlılık indeksleri ile çeşitli noktalarda ölçülen  $\text{NO}_3^-$  değerlerinin adaptasyonu incelenmiş ve buradan korelasyon indeksleri (CI) elde edilmiştir. CI değerleri DRASTIC modeli için 60, Catastrophe modeli için 70 ve Fuzzy modelinin Sugeno yöntemi için 72 olarak elde edilmiştir. Buna göre, Fuzzy modelinin Sugeno yönteminden elde edilen duyarlılık haritasının diğer modellerin duyarlılık haritalarından daha doğru olduğu sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** DRASTIC Modelinin Optimizasyonu, Duyarlılık Haritaları, Korelasyon İndeksleri, Gümüşhacıköy – Merzifon Havzası

PhD. Thesis

SUMMARY

“EVALUATION OF SENSITIVITY OF GROUNDWATER AND OPTIMIZATION OF THE USED MODELS: AN APPLICATION FOR GÜMÜŞHACIKÖY-MERZİFON WATERSHED (MID BLACK SEA)”

Amirhossein TABATABAEI

Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Civil Engineering Graduate Program  
Supervisor: Prof. Dr. Ömer YÜKSEK  
2019, 69 Pages, 15 Pages Appendix

The purpose of this thesis is the optimization of the models used for the assessment of groundwater sensitivity in Gümüşhacıköy-Merzifon Watershed. DRASTIC Model was used for sensitivity assessment and Fuzzy and Catastrophe Models were used to optimize DRASTIC Model. Sensitivity map was obtained from DRASTIC Model and optimized sensitivity map was obtained from Fuzzy and Catastrophe Models. Using seven parameters in DRASTIC Model, seven layers of DRASTIC Model were created in Geographic Information System and sensitivity map of the basin was obtained. According to DRASTIC Index obtained from DRASTIC Model; three different sensitivity areas were determined as low, medium and high. To optimize the DRASTIC Model with the Fuzzy Model; Sugeno, Mamdani and Larsen methods were used and optimized sensitivity maps were obtained. DRASTIC Model was optimized with Catastrophe Model too and an optimized sensitivity map was obtained. Verification of sensitivity maps of all models was made with nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) values measured at various points of the basin. Sensitivity indexes at various points of the basin and the adaptation of  $\text{NO}_3^-$  values measured at various points were examined and correlation indexes (CI) were obtained. CI values were obtained as 60 for the DRASTIC Model, 70 for the Catastrophe Model and 72 for the Sugeno method of the Fuzzy model. Accordingly, it was concluded that the sensitivity map of the Fuzzy Model from the Sugeno method was more accurate than the sensitivity maps of the other models.

**Key words:** Optimization of DRASTIC Model, Sensitivity Maps, Correlation Indexes, Gümüşhacıköy – Merzifon Watershed

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No

Şekil 1.	Gümüşhacıköy-Merzifon Havzası haritası (Fırat Ersoy ve Gultekin , 2013).....	8
Şekil 2.	Gümüşhacıköy Akiferi'nin hidrojeoloji haritası (Ersoy, 2007) .....	12
Şekil 3.	Gümüşhacıköy-Merzifon Havzası yeraltı suyu derinliği derecelendirme haritası (D) .....	35
Şekil 4.	Gümüşhacıköy-Merzifon Havzası net beslenme derecelendirme haritası (R) .....	37
Şekil 5.	Gümüşhacıköy-Merzifon Havzası akifer ortamı derecelendirme haritası (A) .....	38
Şekil 6.	Gümüşhacıköy-Merzifon Havzası toprak ortamı derecelendirme haritası (S).....	40
Şekil 7.	Gümüşhacıköy-Merzifon Havzası topoğrafya derecelendirme haritası (T).....	41
Şekil 8.	Gümüşhacıköy-Merzifon Havzası doymamış bölge etkisi derecelendirme haritası (I).....	43
Şekil 9.	Gümüşhacıköy-Merzifon Havzası hidrolik iletkenlik derecelendirme haritası (C).....	44
Şekil 10.	DRASTIC modelinin akış diyagramı .....	45
Şekil 11.	Gümüşhacıköy-Merzifon Havzasının DRASTIC modelinden elde edilen duyarlılık haritası ve 2011 yılında NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> takibinin yapıldığı çeşitli bölgeler .....	46
Şekil 12.	Gümüşhacıköy-Merzifon Havzasının Sugeno Modelinden elde edilen duyarlılık haritası .....	51
Şekil 13.	Gümüşhacıköy-Merzifon Havzasının Mamdani Modelinden elde edilen duyarlılık haritası .....	52
Şekil 14.	Gümüşhacıköy-Merzifon Havzasının Larsen Modelinden elde edilen duyarlılık haritası .....	53
Şekil 15.	Gümüşhacıköy-Merzifon Havzasının Catastrophe Modelinden elde edilen duyarlılık haritası .....	59

## TABLolar DİZİNİ

### Sayfa No

Tablo 1.	Gümüşhacıköy Meteoroloji İstasyonu'na ait 1984-1994 yılları arasındaki aylık ortalama yağış (mm) ve sıcaklık (°C) değerleri.....	9
Tablo 2.	Merzifon Meteoroloji İstasyonu'na ait 1960-2014 yılları arasındaki aylık ortalama yağış (mm) ve sıcaklık (°C) değerleri.....	10
Tablo 3.	Yeraltı suyu derinlik ve dereceleri (Aller vd., 1987) .....	14
Tablo 4.	Net beslenme aralık ve dereceleri (Aller vd., 1987) .....	15
Tablo 5.	Akifer ortam ve dereceleri (Aller vd., 1987) .....	16
Tablo 6.	Toprak ortam ve dereceleri (Aller vd., 1987) .....	17
Tablo 7.	Topoğrafya aralık ve dereceleri (Aller vd., 1987).....	17
Tablo 8.	Doymamış bölge ortam ve dereceleri (Aller vd., 1987).....	18
Tablo 9.	Hidrolik iletkenlik aralık ve dereceleri (Aller vd., 1987).....	19
Tablo 10.	Catastrophe Fonksiyonları (Cheng vd., 1996) .....	32
Tablo 11.	Beslenme katmanını oluşturan katmanların derecelendirilmesi (Piscopo, 2001) .....	36
Tablo 12.	Gümüşhacıköy-Merzifon Havzasının 2011 yılında ölçülen NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> değerleri .....	48
Tablo 13.	Gümüşhacıköy-Merzifon Havzası NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ölçüm kuyularının DRASTIC indeksleri ile adaptasyonu .....	49
Tablo 14.	Gümüşhacıköy-Merzifon Havzası için Fuzzy modellerinin eğitim ve test aşamasındaki sonuçları .....	50
Tablo 15.	Gümüşhacıköy-Merzifon Havzası NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ölçüm kuyularının Fuzzy Modelleri duyarlılık indeksleri ile adaptasyonu .....	55
Tablo 16.	Catastrophe modeli ile optimize edilmiş DRASTIC modeli için Catastrophe ağırlık sayılarının hesaplama detayları.....	57
Tablo 17.	Gümüşhacıköy-Merzifon Havzası NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ölçüm kuyularının Catastrophe Modeli duyarlılık indeksleri ile adaptasyonu .....	61

## SEMBOLLER DİZİNİ

A	: Aquifer media (Akifer ortamı)
A	: Aralık
Ağ	: Ağustos
A <sub>N</sub>	: Normalleştirilmiş akifer ortamı katmanı
A <sub>R</sub>	: Akifer ortamı için Catastrophe modelinden elde edilen ağırlık
ABD	: Amerika Birleşmiş Devletleri
C	: Hydraulic conductivity (Hidrolik iletkenlik)
CBS	: Coğrafi bilgi sistemi
CI	: Correlation index (Korelasyon indeksi)
C <sub>N</sub>	: Normalleştirilmiş hidrolik iletkenlik katmanı
C <sub>R</sub>	: Hidrolik iletkenlik için Catastrophe modelinden elde edilen ağırlık
D	: Depth to water (Yeraltı suyu derinliği)
DEM	: Digital elevation model (Sayısal yükseklik modeli)
DI	: DRASTIC duyarlılık indeksi
(DI) <sub>i</sub>	: Her noktada düzeltilmiş DRASTIC indeksi
D <sub>N</sub>	: Normalleştirilmiş yeraltı suyu derinliği katmanı
D <sub>R</sub>	: Yeraltı suyu derinliği için Catastrophe modelinden elde edilen ağırlık
DSİ	: Devlet Su İşleri
E	: Eylül
Ek	: Ekim
H	: Haziran
I	: Impact of vadose zone (Doymamış bölge etkisi)
I <sub>N</sub>	: Normalleştirilmiş doymamış bölge katmanı
I <sub>R</sub>	: Doymamış bölge için Catastrophe modelinden elde edilen ağırlık
Ka	: Kasım
M	: Mayıs
Mr	: Mart
MATLAB	: MATrix LABoratory
MGM	: Meteoroloji genel müdürlüğü

N	: Nisan
$(NO_3^-)_i$	: Her noktada $NO_3^-$ konsantrasyonu
$(NO_3^-)_{max}$	: Maksimum $NO_3^-$ konsantrasyonu
O	: Ocak
$R^2$	: Belirleme katsayısı
RMSE	: Hataların ortalama karekökü (Root mean squared error)
R	: Recharge (Akiferin net beslenmesi)
$R_N$	: Normalleştirilmiş net beslenme katmanı
$R_R$	: Net beslenme için Catastrophe modelinden elde edilen ağırlık
r	: DRASTIC parametrelerinin derecelerinin göstergesi
S	: Soil media (Toprak ortamı)
$S_N$	: Normalleştirilmiş toprak ortamı katmanı
$S_R$	: Toprak ortamı için Catastrophe modelinden elde edilen ağırlık
Ş	: Şubat
T	: Topography (Topoğrafya)
Te	: Temmuz
$T_N$	: Normalleştirilmiş topoğrafya katmanı
$T_R$	: Topoğrafya için Catastrophe modelinden elde edilen ağırlık
$Vul_i$	: Düzeltilmiş duyarlılık indeksi
$\overline{Vul}_i$	: Ortalama düzeltilmiş duyarlılık indeksi
$\overline{\overline{Vul}}_i$	: Hesaplanan düzeltilmiş duyarlılık indeksi
$Vul_{max}$	: Maksimum DRASTIC indeksi
W	: DRASTIC parametrelerinin ağırlıklarının göstergesi
$X_i$	: CBS'deki i pikselinin değeri
$X_i^n$	: CBS'deki i pikselinin normalleştirilmiş değeri
$X_{max}$	: DRASTIC parametresinin en büyük değeri
$X_{min}$	: DRASTIC parametresinin en küçük değeri

## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

Yeraltı suyu değişik şekillerde kirlenmektedir. Yer yüzündeki suların tersine, yeraltı suyu kirlenmesinin belirlenmesi ve kontrolü zor ve masraflıdır. Başka bir maddenin suya girmesi ve suda herhangi bir kimyasal, fiziksel ve biyolojik değişimlere sebep olmasına su kirliliği denir. Kirlilik, iki farklı yolla suyu etkilemektedir:

(i) Doğal süreç (bitkilerin ve hayvanların ayrışmasından ve toprak erozyonundan çıkan maddelerin ana su kaynaklarına ulaşması, denizlerden akiferlere karışan tuzlu su, bazı kayalarda bulunan arsenik'in yeraltı suyuna girmesi, yeraltında bulunan bazı ortamlardan karbonatın yeraltı suyuna girmesi).

(ii) Yapay süreç (kentsel, endüstriyel, tarımsal, radyoaktif ve mineral atıkların suya girmesi).

Yer yüzünde depolanan katı atıklar ve şehirlerin atıksuları yeraltı sularını kirlüten kentsel etkenlerdir. Yağışların katı atıkların depolandığı alanların üzerinden geçip, yere sızıp yeraltı sularına ulaşması, ayrıca şehirlerden çıkan atıksuların yere sızması sonucu yeraltı sularına kadar ulaşması yeraltı sularının kirlenmesine neden olmaktadır.

Endüstriyel atıkların yer yüzünde depolanması, petrol araştırmaları ve yer yüzünün petrol ile kirlenmesi, madenlerdeki faaliyetler sonucu oluşan atıklar, fabrikaların atıkları ve radyoaktif atıklar yeraltı sularını kirlüten endüstriyel kaynaklardır.

Tarımda kullanılan pestisitler ve gübreler yağış veya sulama sonucu yeraltı sularına sızıp onları kirlletmektedir.

Kirlenmenin önlenmesi, etkili yeraltı suyu yönetimi için çok önemlidir. Antropojenik kirlenmeye daha yatkın bölgeleri belirlemeye yönelik duyarlılık değerlendirmesi, duyarlı kaynak yönetimi ve arazi kullanımını planlaması için önemli bir unsur haline gelmiştir (Babiker vd., 2005). Kirlilik potansiyelinin güçlü olduğu bölgeleri belirleyerek ve gerekli tedbirleri uygulayarak yüksek duyarlılık potansiyeli olan alanların kirlenmesi önlenabilir. Bir akiferin duyarlılık haritası o akiferin kirli olup olmadığını açıklamaz, akiferin kirlenme potansiyelini gösterir. Bu sebeple, duyarlılığı az olan bir akifer kirletici kaynaklarının o

bölgede fazla olduğundan çok kirlenmiş olabilir veya duyarlılığı yüksek olan bir akiferin, kirlenici kaynakların eksikliği nedeniyle kirlenme riski olmayabilir.

Akiferlerin duyarlılığının ilk tanımlarından biri “Yüzey tabakalarının ve hidrojeolojik koşulların doğasını göz önüne alarak, kirlenici akiferlere sızması ve yayılması kabiliyeti” şeklinde ifade edilmiştir (Margat, 1968).

ABD Ulusal Bilim Komitesi 1993 yılında, yeraltı suyunun duyarlılık tanımını açıklamıştır (Stigter vd., 2006). Bu komite yeraltı suyu duyarlılığının kirlenici akifer seviyesinin üzerinde bazı yerlerde oluşturulmalarından sonra, yer altı suyu sisteminde belirli bir yere sızması eğilimi veya ihtimali olduğunu belirtmiştir (Almasri, 2008).

Duyarlılığın kavramsal olarak iki anlamı vardır; içsel duyarlılık ve özel duyarlılık (Almasri, 2008; Gogu ve Dassargues, 2000).

Akiferin içsel duyarlılığı; kalınlık, doymamış bölgenin litolojisi, akifer özellikleri ve beslenmeyle belirlenen orantılı, ölçülemez ve boyutsuz bir özelliktir. Özel duyarlılık ise, akiferin özel kirlenicilere karşı duyarlılığı olarak tanımlanır (Vrba ve Zaporozec, 1994). İçsel ve özel duyarlılık için en kapsamlı açıklamaya göre içsel duyarlılık bir bölgede belirli bir kirleniciyi göz önüne almayarak kirlenme olasılığıdır. Özel duyarlılık ise yer altı suyunun bir kirlenici madde veya belirli bir kirlenici grubuna karşı duyarlılığına denir (Perrin vd., 2004).

Duyarlılığı değerlendirmek için kullanılan yöntemler genellikle iki kategoriye ayrılmaktadır:

(i) Hidrojeolojik kompleks ve düzenleme yöntemleri: Bu yöntemler genellikle, yeraltı suyunun duyarlılığını orta (Ferrara, 1990) ve geniş (Margat, 1968) ölçekte değerlendirmek için kullanılır. Bu yöntemlerde, öncelikle duyarlılık değerlendirilmesinde katkıda bulunan hidrojeolojik, morfolojik ve hidrografik koşulların belirlenmesi gerekmektedir. Daha sonra, bütün alan duyarlılık açısından belirli kriterlere göre sınıflandırılır. Bu yöntemler farklı hidrojeolojik ve morfolojik özelliklere sahip geniş alanlara uygulanabilir (Gogu ve Dassargues, 2000).

(ii) Parametrik sistem yöntemleri: Bu yöntemler, matris yöntemleri ve derecelendirme yöntemlerini içerir. Bu yöntemlerin hepsinde yeraltı suyu duyarlılığı neredeyse eşit olarak değerlendirilmektedir. Bu yöntemler arasındaki fark, duyarlılığı değerlendirmek için kullanılan parametre sayısı ve parametrelerle ilgili puanlardan kaynaklanmaktadır (Vrba ve Zaporozec, 1994).



## 1.2. Önceki Çalışmalar

Bu çalışmada, öncelikle dünyada geçmişte yapılan duyarlılık değerlendirmesi ve duyarlılık değerlendirmesinin optimizasyon çalışmaları incelenmiştir.

DRASTIC modeli ile duyarlılık değerlendirmesi için yapılan bazı çalışmalar şunlardır:

Fritch vd. (2000), ABD'nin Teksas Eyaletinde olan Paluxy akiferinin duyarlılığını DRASTIC modeli ile değerlendirmişlerdir. Bu araştırma sonucu bölgenin % 5'inin çok yüksek duyarlılık, % 22'sinin yüksek duyarlılık, % 26'sinin orta duyarlılık ve % 47'sinin ise düşük duyarlılığa sahip olduğu belirlenmiştir.

Babiker vd. (2005), Japonya'daki Kakamigahara akiferinin duyarlılığını DRASTIC modeli ile değerlendirmişlerdir. Bu araştırma sonucunda, akiferin batı kısmının yüksek duyarlılık, doğu kısmının ise orta duyarlılığa sahip olduğu belirlenmiştir.

Rahman (2008), Hindistan'daki Aligarh bölgesindeki yeraltı sularının duyarlılığını değerlendirmek için DRASTIC modelini kullanmıştır. Bu araştırma sonucunda, bölgenin yeraltı suyunun % 80'inden fazlasının, orta ila yüksek derecede duyarlılığa sahip olduğu belirlenmiştir.

Chitsazan ve Akhtari (2009), İran'ın Khuzestan bölgesinde olan Kherran Ovası akiferinin duyarlılığını değerlendirmek için DRASTIC modelini kullanmışlardır. Bu araştırma sonucunda, bölgenin batı ve güney batı kısımlarının orta duyarlılığa sahip olduğu, kuzey batısı ve doğusunda küçük bir alanın duyarlılığının olmadığı ve bölgenin diğer kısımlarının ise düşük duyarlılığa sahip olduğu belirlenmiştir.

Asghari Moghaddam vd. (2010), İran'daki Bazargan ve Poldasht Ovalarının duyarlılığını değerlendirmek için DRASTIC modelini kullanmışlardır ve bu araştırma sonucu bölgenin % 60'ının yüksek duyarlılık, % 37'sinin orta duyarlılık ve % 3'ünün düşük duyarlılığa sahip olduğu belirlenmiştir.

Samake vd. (2010), DRASTIC modelini Kuzey Çin'de olan Datong Havzasının yeraltı sularının duyarlılığını değerlendirmek için uygulamışlardır. Bu araştırma sonucunda, bölgenin % 32'sinin yüksek duyarlılık, % 45'inin orta duyarlılık ve % 23'ünün ise düşük duyarlılığa sahip olduğu belirlenmiştir. Bölgenin yüksek duyarlılığa sahip olan alanlarının çoğunlukla havzanın orta kısımlarında olduğu görülmüştür ki buna

neden olarak havzanın eğiminin orta kısımlarda az olduğu ve yeraltı suyu derinliğinin havzanın orta kısımlarda az olduğu gösterilmiştir.

Azad Shahraki vd. (2010), İran'ın Hashtgerd Ovasının yeraltı sularının duyarlılığını DRASTIC modeli ile değerlendirmek için bir araştırma yapmış ve bu araştırma sonucunda, ovanın kuzey kısımlarının yüksek duyarlılık ve güney kısımlarının ise düşük duyarlılığa sahip olduğu görülmüştür.

Ersoy ve Gultekin (2013), Türkiye'nin Amasya İli'nde olan Gümüşhacıköy-Merzifon Havzası yeraltı suyunun duyarlılığını değerlendirmek için DRASTIC modelini kullanmış ve bu araştırma sonucu bölgenin % 16'sının yüksek duyarlılık, % 37'sinin orta duyarlılık ve % 47'sinin ise düşük duyarlılığa sahip olduğu belirlenmiştir.

Yeraltı suyunun duyarlılığı ile ilgili şimdiye kadar DRASTIC modeli yardımıyla birçok araştırma yapılmıştır. DRASTIC yöntemi çeşitli bölgelerde hiç değişiklik yapılmadan kullanılmaktadır, öte yandan kirlilik çeşidi ve özelliği çeşitli bölgelerde farklıdır, bu yüzden DRASTIC yönteminin her akifer ve her kirlilik için düzeltilmesi ve optimize edilmesi gerekmektedir (Sadeghfam vd., 2016). Catastrophe modelinin uygulandığı bazı çalışmalar şunlardır:

Hamid vd. (2011), Amerika'nın Florida eyaletinde kasırga riski değerlendirmek ve kasırgadan oluşan maddi zararları tahmin etmek için Catastrophe modelini kullanmışlardır. Bu araştırma sonucu bölgedeki maddi zararlar tahmin edilmiştir.

Xiao-jun vd. (2014), çevresel değişiklikler durumunda su güvenliğini değerlendirmek için Catastrophe modelini kullanmışlardır. Araştırma sonucunda, gelecek yıllardaki su eksikliği ve suya ihtiyaç oranları tahmin edilmiştir.

Al-Abadi vd. (2015), kuru bir bölgede yeraltı suyu potansiyeli olan alanları belirlemek için Catastrophe ve Entropy modellerini kullanmışlardır. Bu araştırma sonucunda, Catastrophe modelinin Entropy modeline göre daha doğru tahminler yapabileceği sonucuna varılmıştır.

Sadeghfam vd. (2016), İran'daki Maragheh-Bonab akiferinin duyarlılık değerlendirmesinde kullanılan DRASTIC modelinin ağırlık sayılarını optimize etmek için Catastrophe modelini kullanmışlardır. Bu araştırma sonucunda, Catastrophe modeli ile optimize edilen DRASTIC modeli, DRASTIC modeli ile kıyaslanmış ve optimize edilmiş DRASTIC modeli duyarlılık indeksinin akiferin çeşitli noktalarında ölçülen  $\text{NO}_3^-$  değerleri ile daha yüksek korelasyona sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Fuzzy modelinin uygulandığı bazı çalışmalar şunlardır:

Mertens ve Huwe (2002), Almanya'nın Baviera eyaletindeki bir havzada tarım alanlarında yeraltı suyuna sızan  $\text{NO}_3^-$  değerini hesaplamak için Fuzzy modelini kullanmışlardır. Mertens ve Huwe'nin yaptığı bu çalışmada veri eksikliği nedeniyle Fuzzy modelinin böyle durumlarda doğru ve güvenilir sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

Dixon (2005), Fuzzy mantığı yardımıyla ABD'de olan Arkansas akiferinin duyarlılığını tahmin etmiştir. Bu çalışmada Fuzzy modelinin DRASTIC modeline göre daha doğru duyarlılık değerleri sonuç verdiği görülmüştür.

Amini vd. (2005), İran'ın İsfahan kentinde toprağın kirliliğini değerlendirmek için Fuzzy modelini kullanmışlardır. Bu çalışma sonucunda, araştırma bölgesinin bazı kısımlarının özellikle İsfahan Kentinin merkezinin kurşun ve kadmiyum metalleri ile kirlendiği belirlenmiştir. Çinko, bakır ve kobalt metallerinin de araştırma bölgesinin bazı kısımlarında konsantrasyonlarının yüksek olduğu belirlenmiştir.

Tutmez ve Hatipoğlu (2010), Mersin-Tarsus akiferindeki  $\text{NO}_3^-$  yayılımını modellemek için Krigging yöntemi ve Fuzzy mantığını kullanmışlardır. Krigging yöntemi ve Fuzzy mantığını birbiriyle mukayese ettikten sonra Fuzzy mantığının tahmin etme kabiliyetinin Krigging yönteminin tahmin etme kabiliyetine göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

Barzegar vd. (2016), İran'ın Tabriz Bölgesindeki akiferin duyarlılığını DRASTIC modeli ile değerlendirmiş, daha sonra DRASTIC modelini optimize etmek için Fuzzy modelinin çeşitli yöntemlerini kullanmışlardır. Bu çalışma sonucunda, Fuzzy modelinden elde edilen duyarlılık indekslerinin akiferin çeşitli noktalarındaki  $\text{NO}_3^-$  değerleri ile korelasyonunun DRASTIC modelinden elde edilen duyarlılık indeksinin değerleri ile korelasyonuna göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

Nadiri vd. (2017), İran'ın Ardabil Ovasındaki akiferin duyarlılığını değerlendirmek için Fuzzy modelleri ve DRASTIC modelini kullanmış ve Fuzzy modellerinin duyarlılık indekslerinin akiferin çeşitli noktalarındaki ölçülen  $\text{NO}_3^-$  değerleri ile korelasyonu DRASTIC modelinin duyarlılık indeksinin  $\text{NO}_3^-$  değerleri ile korelasyonu ile mukayese edilmiş ve Fuzzy modellerinin duyarlılık indekslerinin  $\text{NO}_3^-$  değerleri ile daha yüksek korelasyon değerine sahip olduğu görülmüştür. Literatür taramasından çıkarılan genel sonuç aşağıda söylenmiştir:

Çeşitli bölgelerin yeraltı sularının duyarlılığını değerlendirmek için birçok çalışmada DRASTIC Modeli kullanılmıştır. Çeşitli bölgelerde kirlilik çeşidi ve özelliği,

ayrıca akiferlerin özelliği farklı olduğu için DRASTIC Modelinin optimize edilmesi gerekir. Bu çalışmada DRASTIC Modelinin optimizasyonu Fuzzy ve Catastrophe Modelleri ile yapılmıştır.

### 1.3. Tezin Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmanın amacı; Karadeniz Bölgesinin Amasya İli'nde bulunan Gümüşhacıköy-Merzifon Havzası yeraltı sularının duyarlılığının DRASTIC modeli ile değerlendirilmesi ve daha sonra Fuzzy modeli ve Catastrophe modeli ile DRASTIC modelinin optimizasyonudur. DRASTIC modeli, yeraltı suyu derinliği (D), beslenme (R), akifer ortamı (A), toprak ortamı (S), topoğrafya (T), doymamış bölge etkisi (I) ve hidrolik iletkenlik (C) parametrelerine dayanmaktadır. DRASTIC modeli ile havzanın duyarlılık haritası CBS (Coğrafi Bilgi Sistemi) ortamında elde edilmiştir. DRASTIC modelini optimize etmek için şimdiye kadar çeşitli yöntemler kullanılmıştır (Panagopoulos vd., 2006). Örneğin; Fuzzy mantığı, yapay sinir ağları ve Nero-Fuzzy modelleri son zamanlarda DRASTIC modelini optimize etmek için kullanılmıştır (Dixon, 2009; Fijani vd., 2013). Bu çalışmada, DRASTIC modelini optimize etmek için Fuzzy modelinin üç farklı yöntemi olan Sugeno, Mamdani ve Larsen yöntemleri kullanılmıştır. Fuzzy modelinin analizi MATLAB programı yardımıyla yapılmış ve sonuçları elde edilmiştir. Daha sonra, elde edilen sonuçlar ile havzanın optimize edilmiş duyarlılık haritaları CBS yardımıyla elde edilmiştir.

Çalışmada, DRASTIC modelini optimize etmek için Catastrophe modeli de kullanılmıştır. Catastrophe modelinden elde edilen sonuçlar ile havzanın optimize edilmiş duyarlılık haritası CBS ortamında elde edilmiştir.

Son olarak; DRASTIC modeli, Fuzzy modeli ve Catastrophe modelinden elde edilen duyarlılık haritalarının doğrulanması; doğrulama yöntemi olan korelasyon indeksi yöntemi ile yapılmış ve hangi duyarlılık haritasının diğer haritalara göre daha doğru olduğu belirlenmiştir.

## **2. YAPILAN ÇALIŞMALAR**

### **2.1. Giriş**

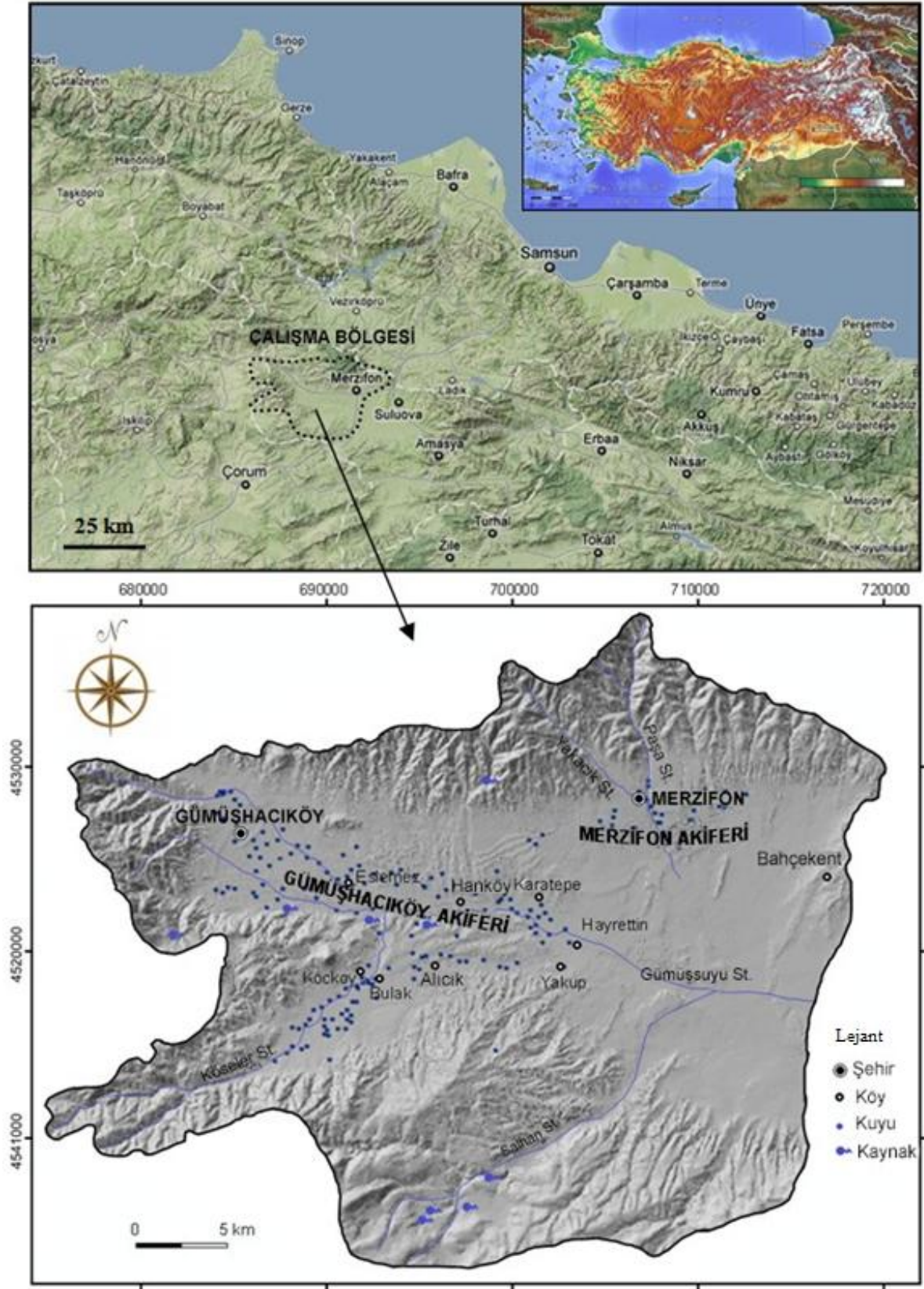
Tarımsal ve endüstriyel faaliyetler ve dünyadaki nüfusun artmasıyla çevre kirliliği de artmakta olup ve bu çevre kirliliği yeraltı sularının da kirliliğine neden olmuştur. Yeraltı sularının kirliliğini önlemenin en iyi yolu yeraltı sularının kirlilik potansiyelini değerlendirmek, zarar görebilecek bölgeler ile kirletici kaynakları belirlemek ve uygun yönetim tedbirleri almaktır.

Bu çalışmada incelenen havzada tarım faaliyetleri yaygındır. Bu sebeple, gübre ve pestisitlerin kullanımı yeraltı sularının kirlenmesine neden olmuştur. Ayrıca yeraltı suyunun aşırı kullanımı nedeniyle yeraltı suyu seviyelerinde önemli derecede düşüşler meydana gelmiştir. yeraltı suyu seviyelerindeki bu düşüşler yeraltı suyunun kalitesinin düşmesine sebep olmuştur. Bu nedenle, bu tezde Gümüşhacıköy-Merzifon Havzasının yeraltı sularının duyarlılığı DRASTIC modeli ile CBS ortamında araştırılmıştır.

Bunun için bu çalışmada Fuzzy modeli ve Catastrophe modeli ile DRASTIC modeli optimize edilmiş daha sonra bu modellerin sonuçları karşılaştırılmıştır.

### **2.2. Çalışma Alanı ve Özellikleri**

Gümüşhacıköy-Merzifon Havzası, Orta Karadeniz Bölümünün Amasya İli'nde bulunmaktadır. Havzanın alanı 1060 km<sup>2</sup> ve yüksekliği ise 550-1873m arasında değişmektedir. Havzanın en önemli yerüstü suyu, Gümüşsuyu Nehri'dir. Havzada iki akifer bulunmaktadır: Gümüşhacıköy Akiferi ve Merzifon Akiferi. Gümüşhacıköy-Merzifon Havzasının genel görünümü Şekil 1'de gösterilmektedir (Ersoy ve Gultekin, 2013).



Şekil 1. Gümüşhacıköy-Merzifon Havzası haritası (Ersoy ve Gultekin, 2013)



### 2.2.1. Meteorolojik Çalışmalar

Gümüşhacıköy ve Merzifon İlçelerine ait aylık toplam yağış ortalaması (P, mm) ve aylık ortalama sıcaklık (T, °C) verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) 10. Bölge müdürlüğünden temin edilmiştir. MGM tarafından hazırlanan Gümüşhacıköy Meteoroloji İstasyonu'na ait 1984-1994 yılları arasındaki rasatların ortalamasına göre; ortalama toplam yıllık yağış 450 mm ve yıllık ortalama sıcaklık 10.19 °C ve Merzifon Meteoroloji İstasyonu'na ait 1960-2014 yılları arasındaki rasatların ortalamasına göre; ortalama toplam yıllık yağış 408 mm ve yıllık ortalama sıcaklık 11.5 °C olarak elde edilmiştir. Gümüşhacıköy Meteoroloji İstasyonuna ait 1984-1994 yılları arasındaki aylık toplam yağış ortalaması (mm) ve aylık ortalama sıcaklık (°C) Tablo 1'de ve Merzifon Meteoroloji İstasyonuna ait 1960-2014 yılları arasındaki aylık toplam yağış ortalaması (mm) ve aylık ortalama sıcaklık (°C) Tablo 2'de gösterilmektedir. Havzanın ortalama toplam yıllık yağışı Thiessen Yöntemi ile MGM 10. Bölge müdürlüğü tarafından 432 mm olarak hesaplanmıştır.

Tablo 1. Gümüşhacıköy Meteoroloji İstasyonu'na ait 1984-1994 yılları arasındaki aylık ortalama yağış (mm) ve sıcaklık (°C) değerleri

Aylar	O	Ş	Mr	N	M	H	Te.	Ağ.	E	Ek.	Ka.	A	Yıllık ortalama
Ortalama yağış	34.6	27.6	28.2	52.9	74.8	68.3	24.2	9.2	11.8	37.1	36.1	44.8	450
Ortalama sıcaklık	-0.3	-0.1	4.6	10.8	13.9	17.5	20.1	20.4	16.6	11.7	5.8	1.3	10.19

Tablo 2. Merzifon Meteoroloji İstasyonu'na ait 1960-2014 yılları arasındaki aylık ortalama yağış (mm) ve sıcaklık (°C) değerleri

Aylar	O	Ş	Mr	N	M	H	Te.	Ağ.	E	Ek.	Ka.	A	Yıllık
Ortalama yağış	37.2	28.2	34.9	51.6	54.1	45	16.9	13.7	21.3	31.3	31.2	42.5	408
Ortalama sıcaklık	1.0	2.3	6.1	11.3	15.4	18.8	21.3	21.2	17.6	13.0	7.3	3.0	11.5

### 2.2.2. Jeolojik Çalışmalar

Stratigrafik olarak Kuzey Türkiye’de iki farklı kayaç grubu bulunmaktadır. Birinci grup çoğunlukla metamorfik olan Liyas ve daha yaşlı “temel kayaçları”, ikinci grup ise bunları açısız uyumsuzlukla örten ve metamorfik olmayan Liyas ve daha genç yaşlı “örtü kayaçları”ndan oluşmaktadır. Çalışma alanında da Paleozoyik ile Kuvaterner zaman aralığında oluşmuş Liyas öncesi metamorfik kayaçlar ile Liyas sonrası örtü kayaçları bulunmaktadır. Bunlar Liyas öncesinde oluşmuş metamorfik birimler ile, Liyas sonrasında oluşmuş Erken Kretase, Geç Kretase, Eosen ve Neojen yaşlı birimlerdir (Ersoy, 2007).

Merzifon-Gümüşhacıköy Havzası Orta-Doğu Karadeniz kuşağında yer alması nedeniyle yüzeyleme veren jeolojik birimler tüm Doğu Pontid’lerin ortak özelliklerini yansıtmaktadır. Mesozoyik döneme ait birimler, Kayabaşı Formasyonu (Liyas), Kayganlık ve Carcurum Formasyonları (Dogger-Malm), Ferhatkaya Formasyonu (Erken Kretase), Sarılar ve Lokman Formasyonları’dır (Geç Kretase) (Ersoy, 2007).

### 2.2.3. Hidrojeolojik Çalışmalar

Havzadaki yeraltı suyunun taşınması için en önemli jeolojik bölgeler Kuvaterner alüvyon, Pliyosen kil, kum, çakıl ve bunların karışımıdır. Birleştirilmiş Kuvaterner ve Pliyosen sedimentleri yaklaşık olarak 350 m kalınlıkladırlar.

Alüvyonun altında kalan diğer bölgeler önemli miktarlarda yeraltı suyu taşımamaktadırlar. Gümüşhacıköy-Merzifon Havzası üç hidrojeolojik bölgeye ayrılabilir (Ersoy, 2007):

- Geçirgen bölge (alüvyon),



- Yarı geçirgen bölge (hafif çimentolu çakıl ve kumtaşı, siltli kil ve volkanik kayalar),
- Geçirgen olmayan bölge (masif mermer ve kireçtaşı, siltli kil ve şist).

Gevşek çimentolu çakıl, kum ve killi silt maddelerinden oluşan alüvyonlu maddeler ve Pliyosen bölgeleri havzanın çoğu kısımlarında ortaya çıkmıştır. Gümüşhacıköy Akiferi yeraltı suyunun depolama ve transferi için çok önemlidir çünkü yüksek iletkenlik ve depolama kapasitesine sahiptir (Ersoy, 2007).

Çökelen maddelerin heterojen bir yapıları vardır ki alüvyon konileri olarak nehirlerin kollarının son kısımlarında oluşmaktadırlar. Paşa ve Yakacık Derelerinin alüvyon bölgeleri ile oluşan alüvyon konileri Merzifon Akiferi olarak adlandırılmaktadır.

Kuyu logları çakıl ve kum tabakaları arasında konilerin orta kısımlarının killi tabakalar olduğunu göstermekte ve bu tabaka doğu kenarı boyunca incelip daha sonra bu tabakada kil ve siltin hakim olduğu görülmektedir.

Gümüşhacıköy Akiferinin doğusu ve Merzifon Akiferinin güneyi arasındaki bölge Miyosen kil ve marn'dan oluştuğu için yeraltı suyu açısından önemli değildir.

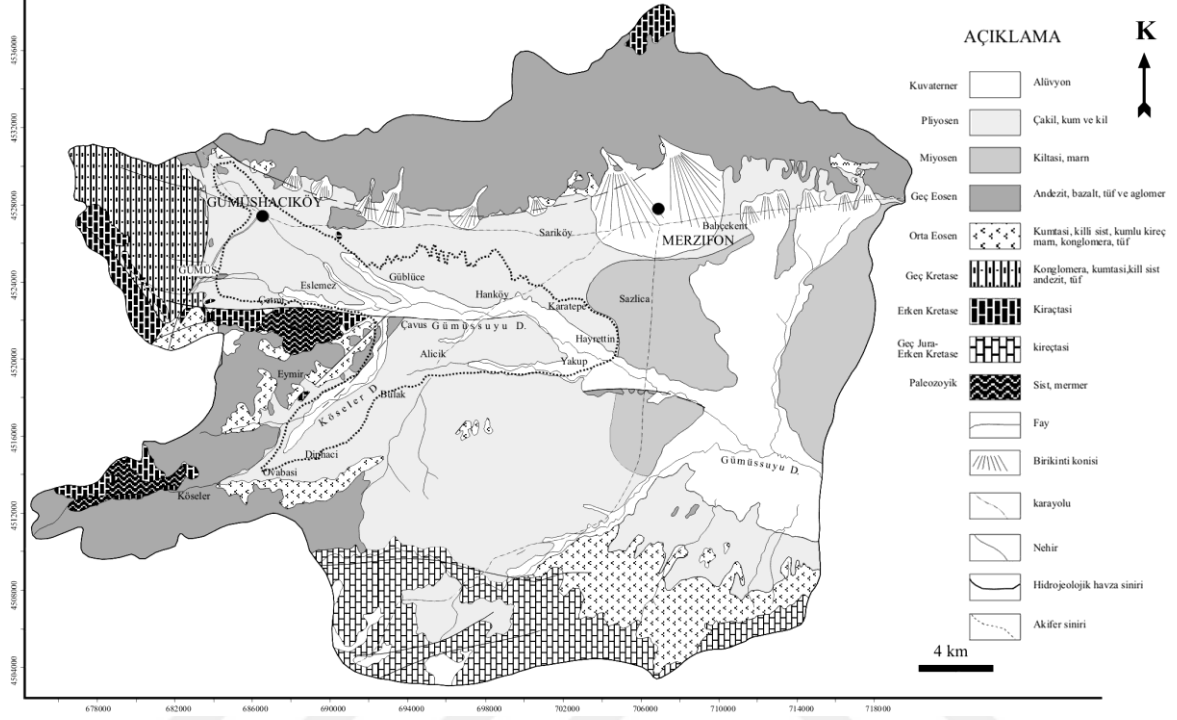
Havzanın kuzeyi, kuzeybatısı ve kuzeydoğusunda görülen Eski Eosen volkanik kayalar kırık ve çatlaklı yapılarıyla bir havza alanı oluşturmaktadırlar.

Gümüşhacıköy Akiferi doğal olarak havzanın doğusunda bulunan Gümüşsuyu Deresine deşarj edilmektedir. Havzada çok sayıda kaynak vardır ki bu kaynaklar jeolojik bölgeler, çatlaklar ve kırıklardan akmaktadırlar.

Bazı kaynaklar içme suyu için diğerleri ise sulama için kullanılmaktadırlar. Bu kaynakların hepsi yeraltı suyunu beslemektedirler.

Gümüşhacıköy ve Merzifon Akiferleri'nde şimdiye kadar birkaç pompaj deneyi yapılmıştır ve bu deneyler sonucu havza için transmissibilite (iletkenlik) katsayısı 85-1727 m<sup>2</sup>/gün olarak elde edilmiştir. Transmissibilite katsayıları DSİ 7. Bölge müdürlüğünden temin edilmiştir. Transmissibilite katsayıları kullanılarak Gümüşhacıköy-Merzifon Havzası için hidrolik iletkenlik değerleri elde edilmiştir. Havzanın hidrolik iletkenlik değerleri 0.7-19.2 m/gün olarak elde edilmiştir. Hidrolik iletkenlik değerleri Ek Tablo 5'te verilmektedir. Havza için depolama katsayısı ise  $1.5 \times 10^{-5}$  -  $7.9 \times 10^{-3}$  olarak elde edilmiştir (Ersoy, 2007). Gümüşhacıköy Akiferi'nin hidrojeoloji haritası Şekil 2'de gösterilmektedir. Akifer sınırları yeraltı suyu işletme saha sınırı olarak tanımlanmış, akiferin serbest ve basınçlı akifer özelliğine sahip olduğu bölgeler ile akiferin artezyen olduğu bölgeler haritada belirtilmiştir. Gümüşhacıköy Akiferi'nin doğusunda yer alan

Merzifon Akiferi, Paşa ve Yakacık Dereleri'nin getirdiği malzemelerden oluşan bir birikinti konisidir (Ersoy, 2007).



Şekil 2. Gümüşhacıköy Akiferi'nin hidrojeoloji haritası (Ersoy ve Ersoy, 2008)

### 2.3. Yeraltı Sularının Duyarlılığının Değerlendirilmesi

Akiferlerin duyarlılığının değerlendirilmesi, onların gelecekteki kirlenme ihtimalinin tahmin edilmesi için çok önemlidir. Yeraltı suyu derinliği, beslenme, akifer ortamı, toprak ortamı, topoğrafya, doymamış bölge ortamı ve hidrolik iletkenlik gibi parametreler kirleticilerin akifere ulaşmasına sebep olan etkenlerdendir. Aşağıda, yeraltı suyunun duyarlılığını değerlendirme yöntemlerinden DRASTIC modeli açıklanmış ve bu çalışmadaki çalışma alanının duyarlılık değerlendirilmesi DRASTIC, Fuzzy ve Catastrophe modelleri ile yapılmıştır.

### 2.3.1. DRASTIC Modeli

DRASTIC modeli, ABD’de yeraltı suyunun duyarlılığını değerlendirmek için ilk olarak 1987 yılında başlatılan, hidrojeolojik durum anlamına dayalı, deneysel bir modeldir (Aller vd., 1987). Hidrojeolojik durum aslında bir alanda yeraltı suyunun hareketini kontrol eden tüm jeolojik ve hidrolojik faktörlerin bir kombinasyonunu temsil etmektedir (Aller vd., 1987). DRASTIC modelinin avantajlarından biri, düşük maliyetli olması ve düşük veri gereksinimidir; en büyük dezavantajı ise dereceleri ve ağırlıkları belirlemek için kişisel görüşlerin uygulanmasıdır (Asghari Moghaddam vd., 2014). DRASTIC modeliyle değerlendirmenin temel amacı, duyarlılık indeksinin Raster haritasının CBS ortamında hesaplanmasıdır. Bu harita yeraltı suyunun duyarlılığını etkileyen parametrelerin Raster haritalarının üst üste getirilmesiyle elde edilir.

Bu model; yeraltı suyu derinliği (D), beslenme (R), akifer ortamı (A), toprak ortamı (S), topoğrafya (T), doymamış bölge etkisi (I) ve hidrolik iletkenlik (C) etkileri parametrelerine dayanmaktadır. Yedi parametrenin her biri için CBS ortamında duyarlılık derecesi değerlerinin 1’den (duyarlılık üzerindeki en az etki) 10’a (duyarlılık üzerindeki en çok etki) kadar yerel dağılımını içeren bir raster haritası hazırlanmaktadır. Bu modelde, duyarlılığın yedi parametresine 1’den 5’e kadar ağırlık değeri verilmektedir ki bu değerler parametrelerin akifer duyarlılığına olan etkisini göstermektedir, 5 sayısı en etkili parametreye ve 1 sayısı en az etkisi olan parametreye verilmektedir. DRASTIC duyarlılık indeksi aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$DI = D_r D_w + R_r R_w + A_r A_w + S_r S_w + T_r T_w + I_r I_w + C_r C_w \quad (1)$$

Burada;

DI : DRASTIC duyarlılık indeksi,

$D_r$  : Yeraltı suyu derinliği derecesi (m),

$D_w$  : Yeraltı suyu derinliği için ağırlık sayısı,

$R_r$  : Akiferin net beslenme derecesi (mm/yıl),

$R_w$  : net beslenme için ağırlık sayısı,

$A_r$  : Akifer ortamı derecesi,

$A_w$  : Akifer ortamı için ağırlık sayısı,

$S_r$  : Toprak ortamı derecesi,

- $S_w$  : Toprak ortamı için ağırlık sayısı,  
 $T_r$  : Topoğrafya derecesi,  
 $T_w$  : Topoğrafya için ağırlık sayısı,  
 $I_r$  : Doymamış bölge ortamı derecesi,  
 $I_w$  : Doymamış bölge ortamı için ağırlık sayısı,  
 $C_r$  : Hidrolik iletkenlik derecesi (m/gün),  
 $C_w$  : Hidrolik iletkenlik için ağırlık sayısı

### 2.3.1.1. Yeraltı Suyu Derinliği (D)

Yeryüzü seviyesi ve yeraltı suyu seviyesi arasındaki mesafedir. Yeraltı suyu ne kadar derin olursa, kirleticilerin yeraltı suyuna ulaşması o kadar uzun sürer. Sonuç olarak, kimyasal ayrışma, emilim, yayılım gibi doğal etkileşimler nedeniyle, kirletici maddelerin arıtılma ihtimali artmaktadır. Bu sebeple, daha derin seviyelerde suyun kirlenme ihtimali daha azdır. Yeraltı suyunun derinliği, yeraltı suyunun kirliliği ile doğrudan bağlantılı değildir, bu sebeple, en yüksek derece, kirleticilere karşı daha hassas olan az derinliği olan yeraltı suyu seviyelerine verilmektedir. Farklı derinlikteki yeraltı sularının dereceleri Tablo 3'te gösterilmektedir.

Tablo 3. Yeraltı suyu derinlik ve dereceleri (Aller vd., 1987)

Parametre	Derinlik (m)	Derece	Ağırlık sayısı
Yeraltı suyu	0-2	10	5
	2-5	9	
	5-9	7	
	9-15	5	
	15-23	3	
	23-30	2	
	>30	1	

### 2.3.1.2. Net Beslenme (R)

Kirleticilerin yer yüzündeki toprak ortamından doymamış bölgeye sızması ve daha sonra akifere ulaşmalarının asıl nedenlerinden biri, suyun dikey hareketidir. Su böyle

hareket ettiğinde, kirleticileri yıkayarak yerin derinliğine taşır. Kirleticilerin yoğunluğu ve geçişi, suyun toprağa dikey olarak hareket etmesine ve suyun yoğunluğuna bağlıdır.

Bu modelde, suyun dikey hareketinin asıl nedeni, yağışların dikey bir şekilde yere sızması olarak varsayılmaktadır. Suni beslenme, tarımsal sulama ve kanalizasyon suyu gibi diğer kaynaklar önemliyse dikkate alınır. Beslenme bir yılda akiferin birim alanına giren su miktarını ifade etmektedir (Bouwer, 1978).

Beslenme değerlerinin belirlenmesi DRASTIC parametrelerin diğer değerlerinin belirlenmesine göre daha az dikkatli olması ve elde edilmesi zor olduğu için beslenme değerleri aralıkları daha geniş seçilmiştir. Farklı beslenme değerleri için dereceler Tablo 4'te gösterilmektedir.

Tablo 4. Net beslenme aralık ve dereceleri (Aller vd., 1987)

Parametre	Aralık (mm/yıl)	Derece	Ağırlık sayısı
Net beslenme	0-50	1	4
	50-100	3	
	100-175	6	
	175-250	8	
	>250	9	

### 2.3.1.3. Akifer Ortamı (A)

Bu faktör; porozite, cins ve danecik büyüklüğü gibi doymuş bölgeyi oluşturan malzemelerin özelliklerine işaret eder ve kimyasal ayrıştırma, emme, yayılma ve gecikme gibi kirlenme seyreltme süreçlerini kontrol eder. Bir akifer ortamının iri daneli olması, kirleticilerin daha hızlı transfer edilmesine ve dolayısıyla yeraltı sularının daha çok kirlenmesine neden olmaktadır. Farklı akifer ortamları için dereceler Tablo 5'te gösterilmektedir.

Tablo 5. Akifer ortam ve dereceleri (Aller vd., 1987)

Parametre	Ortam	Derece	Ağırlık sayısı
Akifer ortamı	Masif şist	2	3
	Metamorfik / Volkanik	3	
	Yıpranmış metamorfik/ Volkanik	4	
	Tabakalı kumtaşı, kireçtaşı, şist dizileri	6	
	Masif kumtaşı	6	
	Masif kireçtaşı	6	
	Kum ve çakıl	8	
	Bazalt	9	
	Karst kireçtaşı	10	

#### 2.3.1.4. Toprak Ortamı (S)

Toprak ortamı önemli biyolojik aktivite ile karakterize edilmiş doymamış bölgenin en üst kısmına denir. Toprak, kirlenmeyle teması olan ilk yüzeydir. Silt ve kil gibi ince daneli malzemelerin varlığı toprak geçirgenliğini azaltır ve kirleticilerin hareketini sınırlar. Bu bölüm biyolojik faaliyetler ve organik madde varlığı açısından çok önemlidir ve kirleticilerin akifere sızma derecesini ve akifere sızan su miktarını kontrol eder. Genel olarak toprak parçacıkları ince, toprak geçirgenliği az, organik madde yüzdesi çok ve toprak kalınlığı büyük olursa, yeraltı suyu kirliliği potansiyeli de azalır.

Toprak ortamını oluşturan farklı malzemeler için dereceler Tablo 6'da gösterilmektedir.

Tablo 6. Toprak ortam ve dereceleri (Aller vd., 1987)

Parametre	Ortam	Derece	Ağırlık sayısı
Toprak ortamı	İnce toprak tabakası veya toprak tabakası yoktur	10	2
	Çakıl	10	
	Kum	9	
	Bataklık kömürü	8	
	Büzülür ve/veya toplanmış kil	7	
	Kumlu verimli toprak	6	
	Verimli toprak	5	
	Siltli verimli toprak	4	
	Killi verimli toprak	3	
	Çamur	2	
	Büzülmeyen ve toplanmamış kil	1	

### 2.3.1.5. Topoğrafya (T)

Yüzey eğim değişikliğine işaret eder. Yer yüzeyinin eğimi, yüzey suyunun ve kirleticilerin yeryüzündeki hareketi ve nüfuzunu etkiler. Yüzey eğimi ne kadar düşük olursa, yüzey suları ve kirleticilerin yeryüzüyle teması fazla sürer ve bu nedenle kirleticilerin yeraltı sularına sızma ihtimali artar. Farklı eğim değerleri için dereceler Tablo 7'de gösterilmektedir.

Tablo 7. Topoğrafya aralık ve dereceleri (Aller vd., 1987)

Parametre	Aralık (%)	Derece	Ağırlık sayısı
Topoğrafya (Eğim)	0-2	10	1
	2-6	9	
	6-12	5	
	12-18	3	
	>18	1	

### 2.3.1.6. Doymamış Bölge Etkisi (I)

Bu bölge, yeraltı suyu seviyesinden başlayıp yüzey toprağı altına kadar devam eder. DRASTIC modelinde, doymamış bölgenin alanı ve koşullarının kirleticiler üzerinde büyük bir etkisi olduğu varsayılmaktadır. Çünkü kirleticiler bu bölgede yeraltı suyu seviyesine erişmeden bu bölgeyi oluşturan malzemeler tarafından emilme, yayılma, ayrışma ve bunlardan dolayı seyrelme fırsatı bulmaktadırlar. Bu alanın toprak dokusu, kirletici maddelerin bu bölgeden geçiş süresini belirler. Doymamış bölgeyi oluşturan çeşitli maddelerin dereceleri Tablo 8'de gösterilmektedir.

Tablo 8. Doymamış bölge ortam ve dereceleri (Aller vd., 1987)

Parametre	Ortam	Derece	Ağırlık sayısı
Doymamış bölge etkisi	Silt/kil	1	5
	Şist	3	
	Kireçtaşı	6	
	Kumtaşı	6	
	Yataklı kireçtaşı, kumtaşı, şist	6	
	Kum ve çakıl ile beraber önemli miktarda silt ve kil	6	
	Metamorfik/ volkanik	4	
	Kum ve çakıl	8	
	Bazalt	9	
	Karst kireçtaşı	10	

### 2.3.1.7. Hidrolik İletkenlik (C)

Akifer malzemelerinin su transferindeki olan kabiliyetine hidrolik iletkenlik denir. Hidrolik iletkenlik, kirleticilerin hareketini ve yayılmasını akifer ortamında kontrol eder. Bu nedenle, hidrolik iletkenlik değeri ne kadar yüksek olursa, akiferdeki kirletici maddelerin akışı olasılığı da o kadar artar ve dolayısıyla akiferin kirlenme ihtimali de artar.

Farklı akifer hidrolik iletkenlik değerleri için dereceler Tablo 9'da gösterilmektedir.



Tablo 9. Hidrolik iletkenlik aralık ve dereceleri (Aller vd., 1987)

Parametre	Aralık (m/gün)	Derece	Ağırlık sayısı
Hidrolik iletkenlik	0.04-4.1	1	3
	4.1-12.3	2	
	12.3-28.7	4	
	28.7-41	6	
	41-82	8	
	>82	10	

## 2.4. Yapay Zeka Kavramı

Yapay zeka, algı, mantık yürütme ve öğrenme gibi eylemlerin hesaplama şartlarını inceleyen ve bu tür eylemleri yapmak için bir sistem sağlayan bir bilgisayar bilimi dalıdır.

Aslında, bu yöntem karmaşık ve doğrusal olmayan veya belirsizlik özelliğine sahip olan veriler için önemlidir ve uygulanabilir (Nadiri vd., 2014). Yapay zeka yöntemleri arasında yapay sinir ağları ve Fuzzy mantığı bu veriler için kullanılabilir. Parametrelerdeki belirsizlik ve ilişkilerinin karmaşıklığı nedeniyle, bu çalışmada, duyarlılık modellemesi için Fuzzy modelleri kullanılmıştır.

### 2.4.1. Bulanık (Fuzzy) Mantık

Fuzzy teorisi, Fuzzy kümeleri veya üyelik fonksiyonlarını kullanan tüm teorileri ifade eder. Fuzzy teorisi genel olarak beş dala ayrılır:

- Fuzzy matematik: Klasik matematik kavramları, Fuzzy kümelerini klasik kümeleri yerine kullanarak geliştirilmiştir.
- Fuzzy mantığı ve yapay zeka: Uzman sistemler bilgiye ve yaklaşık tündengelime dayanarak gelişmiştir.
- Fuzzy Sistemler: Sinyal işleme ve telekomünikasyon alanında çözümleri ve Fuzzy kontrolünü içeren bir sistemdir.
- Belirsizlik türlerini analiz eden bilgiler.
- Fuzzy kararlar: Optimizasyon konularını hafif kısıtlarla ele alır.

Fuzzy mantığı, belirsizliğin bilimin doğasında olduğuna inanmaktadır. Verimliliği arttırmak için daha kesin tahminler yapılmasının gerekli olduğuna inanan başkalarının

aksine, Fuzzy mantığın mucidi Lotfi Zadeh, sistemin bir parçası olarak belirsizliği modelleyen modellerin kullanılmasına inanmaktadır (Zadeh, 1965). Aristoteles mantığında, 2 kategori vardır: Doğru veya yanlış. Bütün ifadeler doğru veya yanlıştır. Bu yüzden Aristoteles mantığında “Hava soğuktur” bir ifade değildir. Çünkü soğukluk derecesi kişiden kişiye değişir ve bu cümle temel olarak her zaman doğru veya her zaman yanlış olamaz. Fuzzy mantığında bazı cümleler az doğru veya az yanlış olabilir. Örneğin; “Hava soğuktur” cümlesi Fuzzy mantığında bir ifadedir ki onun doğruluk derecesi bazen azalmakta, bazen de çoğalmaktadır.

Fuzzy ve klasik kümeleri bir referans kümesinin alt kümelerindedir; ama klasik kümelerinin tersine, Fuzzy kümeler’inde belirli bir sınır bulunmaz. Genel olarak, gerçek hayatta 1-0 mantığına dayanan olaylar azdır ve genellikle incelenen olayları mutlak değerlendiremeyiz. Bu sebeple, klasik 1-0 mantığı tüm problemlerin analizine yanıt veremez ve çoğu zaman bu mantığı kullanarak bir problem tam olarak incelenemez. Bir elemanın Fuzzy kümelerine olan üyeliği doğru (1) veya yanlış (0) şeklinde değildir. Başka bir deyişle, bir elemanın üyeliği 1 ve 0 arasında da olabilmektedir. Lotfi Zadeh ilk olarak 1965’te “Fuzzy Kümeleri Teorisi” adlı makaleyi sunmuştur. Daha sonra Fuzzy kümeler teorisi hızlıca matematik dünyasına girmiştir. Günümüzde, bulanık mantığın çeşitli bilimlerde güçlü bir matematiksel araç olarak kullanılması, modelleri yöneten matematiksel ilişkilerin karmaşıklığını azaltmakta ve karar vericinin bakış açısındaki esnekliğe, zaman ve masraflarda tasarrufa sebep olmaktadır.

#### **2.4.1.1. Üyelik Fonksiyonu**

Fuzzy mantığındaki en temel kavramlardan birisi üyelik fonksiyonudur ki kümedeki her üye için bir üyelik değeri vermektedir (Nadiri vd., 2013). Fuzzy kümeleri teorisinde üyelik fonksiyonu kavramı özel öneme sahiptir. Çünkü bir Fuzzy kümesiyle ilgili bütün bilgiler üyelik fonksiyonuyla açıklanır ve çoğu işlemlerde ve Fuzzy kümeleri teorilerinde üyelik fonksiyonu kullanılmaktadır. Bir Fuzzy kümesinin Fuzzy değerini üyelik fonksiyonu belli eder, öyle ki bir kümeye farklı elemanların üyelik derecesinin Fuzzy değerini gösteren fonksiyona üyelik fonksiyonu denilmektedir. Fuzzy üyelik fonksiyonunun genişliği 0-1 arasındadır.

Her Fuzzy modelinin üç ana kısmı vardır:

- Üyelik fonksiyonları yardımıyla verilerin fuzzy değerlerine dönüştürülmesi,

- Girdi ve çıktı arasında bir dizi kurallar yardımıyla iletişim kurulması,
- Fuzzy operatörleri yardımıyla verilerin Fuzzy halinden çıkarılması ve klasik kümeleri sayılarına dönüştürülmesi.

#### 2.4.1.2. Farklı Fuzzy Yöntemleri

Her Fuzzy modelin en önemli kısmı o modelin kurallarıdır. Bu kurallar Fuzzy operatörleri yardımıyla üyelik fonksiyonlarının birleştirilmesinden oluşmaktadır. Fuzzy modeli üç yöntem ile yapılır:

- Mamdani (Mamdani ve Assilian, 1975; Mamdani, 1976),
- Larsen (Larsen, 1980),
- Sugeno (Sugeno, 1985).

Fuzzy modelinden elde edilen Fuzzy sonuçlarını uygulamak için bu sonuçları Fuzzy olmayan sonuçlara dönüştürmek gerekir. Bu işlemden önce eğer birden fazla üyelik fonksiyonu varsa bir toplama işlemi yapılmalıdır. Toplama işlemi modele ve verilere bağlı olarak Fuzzy operatörleri ile yapılır. Toplama işlemi yapıldıktan sonra Fuzzy sonuçlarını Fuzzy olmayan sonuçlara dönüştürmek için bazı yöntemler kullanılmaktadır. Örnek olarak, alan merkezi, ağırlıklı ortalama, maksimum orta ve en büyük alan merkezi yöntemleri söylenebilir.

#### 2.4.1.3. Fuzzy Modeli Yardımıyla DRASTIC Modelinin Optimizasyonu

DRASTIC modelini optimize etmek için şimdiye kadar çeşitli yöntemler kullanılmıştır (Panagopoulos vd., 2006). Örneğin; Fuzzy Mantığı, Yapay Sinir Ağları ve Nero-Fuzzy modelleri son zamanlarda DRASTIC modelini optimize etmek için kullanılmıştır (Dixon, 2009; Fijani vd., 2013).

DRASTIC modelinin optimizasyonu için Fuzzy modeli uygulamasının aşamaları aşağıdaki gibidir:

- $\text{NO}_3^-$  değerleri yardımıyla DRASTIC indekslerinin düzeltilmesi,
- Modelin eğitim aşaması,
- Modelin test aşaması,
- Fuzzy DRASTIC indekslerinin elde edilmesi,

- $\text{NO}_3^-$  ve duyarlılık indeksleri yardımıyla modellerin doğrulaması,
- Fuzzy DRASTIC indeksleri yardımıyla duyarlılık haritasının elde edilmesi.

Daha kesin sonuçlar elde etmek için DRASTIC modelinin optimizasyonunda Fuzzy modelinin üç yöntemi yani Sugeno, Mamdani ve Larsen kullanılmaktadır.

DRASTIC modelinin optimizasyonu için ilk olarak çalışma bölgesinin her noktasında DRASTIC indeksi değerleri hesaplanmalıdır. Bunun için, CBS'de çalışma bölgesi piksellere ayrılır. Daha sonra her piksel için DRASTIC indeksi değeri elde edilir. DRASTIC indeksi değerleri elde edildikten sonra çalışma bölgesinin her noktasında  $\text{NO}_3^-$  değerleri elde edilmelidir. Bunun için, CBS'de, çalışma bölgesindeki  $\text{NO}_3^-$  değerleri belli olan noktaları kullanarak çalışma bölgesinin tüm noktalarında  $\text{NO}_3^-$  değerleri interpolasyon yardımıyla elde edilir. Bu aşamadan sonra DRASTIC indeksi değerleri  $\text{NO}_3^-$  değerleri yardımıyla düzeltilmelidir. Fuzzy Modelinin eğitimi için DRASTIC parametrelerinin % 70-80'i ve düzeltilmiş DRASTIC indekslerinin % 70-80'i kullanılır. Eğitim aşamasından sonra modelin testi için DRASTIC parametrelerinin % 20-30'u ve düzeltilmiş DRASTIC indekslerinin % 20-30'u kullanılır (Zadeh, 1965). Model test aşamasındaki DRASTIC indekslerinin (gözlenen DRASTIC indeksleri) % 20-30'u üzerinden Fuzzy DRASTIC indekslerini (hesaplanan DRASTIC indeksleri) hesaplamaktadır. Fuzzy modelinin işlemlerinin yapılması için Fuzzy modelinin kodu MATLAB programında yazılır. MATLAB programından elde edilen Fuzzy DRASTIC indeksleri (hesaplanan DRASTIC indeksleri) yardımıyla Fuzzy modelinin duyarlılık haritaları CBS ortamında elde edilebilir.

DRASTIC indekslerini düzeltmek için aşağıdaki ilişki kullanılmaktadır:

$$(\text{DI})_i = \frac{\text{Vul}_{\max}}{(\text{NO}_3^-)_{\max}} \times (\text{NO}_3^-)_i \quad (2)$$

Burada;

$(\text{DI})_i$  : Her noktada düzeltilmiş DRASTIC indeksi

$\text{Vul}_{\max}$  : Maksimum DRASTIC indeksi

$(\text{NO}_3^-)_{\max}$ : Maksimum  $\text{NO}_3^-$  değeri

$(\text{NO}_3^-)_i$  : Her noktada  $\text{NO}_3^-$  değeri

#### 2.4.1.4. $R^2$ ve RMSE Değerleri

Fuzzy modeli  $R^2$  (belirleme katsayısı) ve RMSE (hataların ortalama karekökü) diye iki değer hesaplamaktadır.  $R^2$  değeri gözlenen ve hesaplanan DRASTIC indeksleri arasındaki korelasyonu göstermektedir. RMSE değeri ise gözlenen ve hesaplanan DRASTIC indeksleri arasındaki uzaklığı yani hata büyüklüğünü göstermektedir.  $R^2$ , 0 ve 1 arasında bir değerdir,  $R^2$  ne kadar 1'e yakın olursa korelasyon yüksektir; RMSE değeri ise ne kadar 0'a yakın olursa hata azdır demektir.

RMSE ve  $R^2$  değerleri sırasıyla aşağıdaki eşitliklerle elde edilmektedir:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Vul_i - \overline{Vul_i})^2}{\sum_{i=1}^n (Vul_i - \overline{Vul_i})^2} \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Vul_i - \overline{Vul_i})^2}{n}} \quad (4)$$

Burada;

$Vul_i$  : Düzeltilmiş duyarlılık indeksi

$\overline{Vul_i}$  : Ortalama düzeltilmiş duyarlılık indeksi

$\overline{\overline{Vul_i}}$  : Hesaplanan düzeltilmiş duyarlılık indeksi

#### 2.4.1.5. Fuzzy Mantığında Verilerin Sınıflandırılması

Fuzzy bir model oluşturmanın ilk adımı, giriş ve çıkış verilerinin sınıflandırılmasıdır. Bunun için, kullanılan modele ve verilerin tipine bağlı olarak farklı yöntemler kullanılabilir. Kategorizasyon süreci bir veri kümesini birkaç kategoriye ayırmaya çalışmaktadır. Böylece, bir grupta yer alan veriler birbirine benzer ve diğer kategorilerin verilerinden farklı olur. Bu çalışmada iki sınıflandırma yöntemi irdelenmiştir.

#### 2.4.1.5.1. Çıkarmalı Kümeleme Yöntemi

Bu yöntem, veri kümelerinin sayısını ve merkezini tahmin etmek için tek yönlü bir algoritmadır. Bu yöntem 1994'te Chiu tarafından tanımlanmıştır (Chiu, 1994). Bu yöntemde her kümenin merkezi incelenmektedir. Çıkarmalı kümeleme yönteminde, küme yarıçapının azaltılması, küme sayısı ve kuralların sayısının artmasına, küme yarıçapının artırılması ise küme sayısı ve kuralların sayısının azaltılmasına sebep olur. Çıkarmalı kümeleme yönteminin avantajları, grup sayısının net bir şekilde görülmediği durumlarda kullanılabilir olmasıdır.

#### 2.4.1.5.2. Bulanık C-ortalamlar Yöntemi

Bu yöntem Fuzzy modellemesinde en ünlü sınıflandırma yöntemlerinden biridir. Bulanık C-ortalamlar yöntemi çok değişkenli bir veri analizi yöntemidir ki bazı değerlendirme kriterlerini dikkate alarak sınırlı bir veri kümesini  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  sınıflandırır (Fijani vd., 2013). Öyle ki bilgi noktalarını çok boyutlu alanda dikkate alıp ve belirli sayıda kümeler şeklinde kategorize eder (Fijani vd., 2013).

Bu yöntemde, ilk olarak grupların sayısı kullanıcı tarafından belirlenmelidir ki bu işlem deneme yanılma yoluyla yapılmaktadır. Bu kümeleme yöntemi, kümelene merkezlerinden her kümenin ortalama konumunu göstermek için bir ön tahmin ile başlar. Bu küme merkezleri için birincil tahmin genellikle yanlıştır.

Başlangıçta, her bir veri için (her nokta) üyelik derecesi belirlenir. Böylece, her tekrarda, her bir kategorinin merkezi ve üyelik derecesi, sonucu ve doğru değerlerine yaklaşmak için güncellenir. Bu işlem hedef fonksiyonunu minimuma indirerek gerçekleştirilir, hedef fonksiyonu her noktanın kategori merkezinden uzaklığıdır (Nadiri vd., 2014). Bulanık C-ortalamlar yöntemi sonuçları küme merkezleri ve her nokta için üyelik dereceleridir.

Fuzzy modelini oluşturmak için ilk aşama verilerin sınıflandırılmasıdır. Verileri sınıflandırmak için çok sayıda yöntem vardır. Bu yöntemlerden çıkarmalı kümeleme yöntemi Sugeno Modeli için ve bulanık C-ortalamlar yöntemi Mamdani ve Larsen Modeli için söylenebilir (Nadiri vd., 2014). Bu tezde de Sugeno modelinde verileri sınıflandırmak

için çıkarmalı kümeleme yöntemi, Larsen ve Mamdani modelinde ise verileri sınıflandırmak için bulanık C-ortalama yöntemi kullanılmıştır.

Çıkarmalı kümeleme yönteminde grupların ve daha önce anlatılan kuralların sayısını belirlemek için en önemli parametre gruplandırma yarıçapıdır. Bu parametrenin değeri 0 ve 1 arasında değişmektedir (Hongxing vd., 2001). Yarıçapın düşük bir değer seçilmesi gruplar ve kuralların sayısının artmasına ve yarıçapın yüksek bir değer seçilmesi ise gruplar ve kuralların sayısının azalmasına sebep olmaktadır (Chiu, 1994). Sugeno modelinde RMSE değerinin en az miktarı dikkate alınarak gruplandırma yarıçapının değeri seçilmektedir. Bu işlem ve daha önce anlatılan işlemlerin hepsi Fuzzy modelinin kodu MATLAB programında yazılarak yapılmıştır.

## 2.5. Matematiksel Modeller

Matematiksel modeller, geniş olarak akiferlerin nicel ve nitel değerlendirilmesi için kullanılmaktadır. Hidrolojik sistemler matematiksel modellerde formüller ve matematiksel ilişkilerle anlatılmaktadır. Bu formüller diferansiyel denklemler ve bu denklemlerle ilgili temel şartlar ve sınır şartlarını içermektedir (Hill ve Tiedeman, 2007). Matematiksel modellerde tahminlerin hassasiyeti bu modellerin doğal koşulları ne kadar simülasyon yapabileceği ile ilişkilidir. Bu modeller diferansiyel denklemlerden oluşmaktadır ve iki kanuna dayanmaktadır: Darcy kanunu ve Dayanıklılık Kütlesi kanunu. Akiferlerin denklemlerini çözmek için çeşitli çözümler ve teknikler vardır. Sonlu Fark ve Sonlu Elemanlar bu tekniklerdendir (Todd ve Mays, 2005).

Matematiksel modeller farklı amaçlar için kullanılmaktadır ki bunun en önemli nedenleri aşağıdaki gibidir (Holzbecher ve Sorek, 2006):

- Tahmin,
- Gerçek sistemi tanımak ve akifere hakim olan doğal kuralları bulmak,
- Elde edilen sonuçları farklı bölgelerin problemlerinin çözümü için kullanmak,
- Çeşitli koşullar sonucu elde edilen sonuçların karşılaştırılmasının kolaylaşması,
- Tüm olası ihtimallerin modellerde kullanılması,
- Modellerin sürekli olarak değerlendirmesi.

Genel olarak bir sistemin matematiksel modeli bir veya birkaç denklemden oluşmaktadır. Matematiksel model, stimülasyon ve sistem tepkisi arasındaki ilişkiyi simüle edebilir. Örneğin; DRASTIC modelinde DRASTIC parametreleri stimülasyon ve DRASTIC indeksi sistemin tepkisi olarak tanımlanabilir. DRASTIC parametrelerinin değişmesiyle DRASTIC indeksi de değişecektir.

## **2.5.1. Matematiksel Modellerin Sınıflandırılması**

### **2.5.1.1. Deterministik ve Stokastik Modeller**

Deterministik bir modelde rasgele elemanlar yoktur ve modelin tüm girdi ve çıktı ilişkisi kesin olarak belirlenir. Eğer rasgele elemanlar bir modelde olursa o model Stokastik bir modeldir.

### **2.5.1.2. Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Modeller**

Eğer bir matematiksel modelde tüm operatörler doğrusal olursa o model doğrusal bir modeldir. Doğrusal bir model, sabit bir değişim oranı gösteren iki miktar arasındaki ilişkiyi tanımlayan bir denklemdir. İstatistikte doğrusal olmayan regresyon, gözlemsel verilerin model parametrelerinin doğrusal olmayan bir kombinasyonu olan ve bir veya daha fazla bağımsız değişkene bağlı olan bir fonksiyonla modellendiği bir regresyon analizi şeklindedir.

### **2.5.1.3. Statik ve Dinamik Modeller**

Eğer bir matematiksel modele zaman değişkeni olursa o model dinamik bir modeldir. Dinamik bir model, sistemin durumundaki zamana bağlı değişimleri açıklarken, statik bir model sistemi dengede hesaplar ve böylece zamanla değişmez olur. Dinamik modeller genellikle diferansiyel denklemler ile temsil edilir.



#### 2.5.1.4. Toplu Parametrelili ve Dağıtılmış Parametrelili Modeller

Toplu parametre modellerde, ilgilenilen bağımlı değişkenler sadece zamanın bir fonksiyonudur. Dağıtılmış parametre modellerde, bağımlı değişkenler zamanın ve bir veya daha fazla uzaysal değişkenin fonksiyonudur (URL-1, 2018). Yeraltı suyu modellemesinde dağıtılmış parametrelili modeller tercih edilmektedir çünkü bu model yeraltı suyu yönetimi için daha doğru ve daha uygundur.

Denklemlerin türüne bağlı olarak matematiksel modeller aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

- Sebep-sonuç arasında olan ilişkiye bağlı,
- Sürecin çeşidine bağlı,
- Denklemlerin çözümü için kullanılan matematiksel yöntemin çeşidine bağlı.

#### 2.5.1.5. Sebep-Sonuç Arasında Olan İlişkiye Dayanan Matematiksel Modeller

Bu modeller iki gruba ayrılmaktadır:

- Deterministik,
- Stokastik.

Deterministik modellerde sebep ve sonuç arasında olan ilişki kesin olarak bellidir ve hiç bir rasgele değişken mevcut değildir. En kesiti ve sürtünme katsayısı belli olan bir kanaldaki su akışının modellemesi örnek olarak verilebilir.

Stokastik modellerde ise sebep ve sonuç arasında olan ilişki kesin olarak belli değildir ve bir dizi rasgele bileşen vardır. Yağış-akış modelleri örnek olarak verilebilir.

#### 2.5.1.6. Sürecin Çeşidine Dayanan Matematiksel Modeller

Bu tür modeller üç farklı modele ayrılır:

- Deneysel,
- Kavramsal,
- Fiziksel.

Deneysel modeller girdi ve çıktı arasındaki ilişkiyi analiz etmektedir , örnek olarak bu model için bir akışın birim hidrografi söylenebilir (Wang vd., 1982).

Kavramsal bir model basit varsayımlara dayanarak analitik bir modeldir ki böyle basit varsayımlar çok kısıtlamalara neden olmaktadır.

Fiziksel modeller fizik kuralları ve diferansiyel denklemleri kullanarak simülasyon yapabilirler.

### **2.5.1.7. Denklemlerin Çözümü İçin Kullanılan Yöntemin Çeşidine Bağlı Olan Matematiksel Modeller**

#### **2.5.1.7.1. Analitik Modeller**

Bu modellerde parametrelerin ortalaması kullanılmaktadır, sınır şartları basit sınırlar olarak düşünülmekte ve akifer belli bir geometri ile incelenmektedir. Sistemin pompaj, beslenme ve buna benzer parametrelere tepkisi ilgili diferansiyel denklemin belirli çözümünün uygulamasıyla belirlenmektedir. Bu modeller çok basit sistemler için kullanılmaktadır, halbuki akiferlerin çoğu homojen değildir ve yeterli veri olmasına rağmen bu akiferleri incelemek için karmaşık yöntemlere ihtiyaç vardır.

#### **2.5.1.7.2. Sayısal Modeller**

Daha karmaşık koşullarda modellemek için matematiksel modellerin sayısal yöntemlerle çözülmesi gerekmektedir. Sayısal modeller akiferlerin nicel ve nitel değerlendirmesinde geniş olarak kullanılmaktadır (König ve Weiss, 2009). Akiferlerin karmaşık koşulları, karmaşık hidrojeolojik sınırları ve belirsiz geometri şekilleri, teknolojinin ilerlemesi ve bilgisayarların bilimsel alana girmesi nedeniyle sayısal modellerin kullanması giderek artmaktadır.

## **2.6. Catastrophe Teorisi**

Catastrophe teorisi matematiksel bir teoridir. Bu teori, bir durumun ani ve kesintili değişikliklerini çeşitli olaylarda simülasyon yapabilir. örnek olarak, bir metalin basınç altında eğilmesi, bir sıvının donması vs. Catastrophe teorisi organize

edilmiş değişiklikler süreci için bir modeldir. Ani değişiklikleri önlemek için kademeli ve kesintisiz değişiklikleri önceden yönetmek gerekmektedir ki istenilen durumlara ulaşmak için stratejiler düzenlenebilinsin. Bu teori 1972 yılında kesintili davranışı olan sistemleri tanımlamak için Fransız matematikçi R., Thom tarafından önerildi. Sadece kesintisiz durumları inceleyen Newton teorilerinden farklı olarak, Catastrophe teorisi hem kesintili hem kesintisiz değişikliklere bir yöntem sunmuştur. Bir sistemi etkileyen parametrelerin kademeli değişiklikleri sonucu oluşan ani değişikliklere Catastrophe denir (Thom, 1972). Örnek olarak, köprüler ve kolonların kırılması, toprak kayması vb söylenebilir. Bu olaylarda kesintisiz ve kademeli değişiklikler sonucu ani değişiklikler meydana gelmektedir. Catastrophe teorisi lineer olmayan matematiksel bir yöntemdir ve doğal olaylardaki kesintileri tanıma kabiliyetine sahiptir (Thom, 1972). Catastrophe teorisi bağımsız değişkenlerdeki sürekli değişikliklerin fonksiyonu olan bağımlı değişkenlerdeki kesintileri anlatmaktadır (Wang vd., 2011). Catastrophe teorisinde bağımlı değişkenler davranışsal değişkenler ve bağımsız değişkenler kontrol değişkenler olarak adlandırılmaktadır. Thom 1972’de yedi farklı kesintili değişiklikliğin (Catastrophe Fonksiyonu veya Catastrophe Modelleri) olduğunu kanıtlamıştır. Bu değişiklikler şunlardır:

- Kıvrım (Fold),
- Uç (Cusp),
- Kırılma kuyruk (Swallowtail),
- Kelebek (Butterfly),
- Parabolik (Parabolic),
- Eliptik (Elliptic),
- Hiperbolik (Hyperbolic).

Kontrol faktörleri sayısına göre hangi Catastrophe fonksiyonunun kullanılacağı belli olmaktadır.

Catastrophe teorisini kullanmanın avantajları şunlardır:

- Araştırmacı kontrol faktörleri üzerinden hangi Catastrophe modelinin uygun olduğunu ve hangi modeli seçeceğini anlamaktadır,
- Modeller doğal olaylarda kesintileri ve ani değişimleri farketmektedir,
- Catastrophe modelleri matematiksel sonuçlara dayalıdır,

- Catastrophe teorisi bir teoriyi planlamak için gelişmiş bir modeldir.

### **2.6.1. DRASTIC Modelinin Catastrophe Modeli ile Optimize Edilmesi**

DRASTIC modelini optimize etmek için Catastrophe teorisi kullanılabilir. Catastrophe modeli yardımıyla önce DRASTIC parametrelerinin ağırlık sayıları optimize edilir, daha sonra bu ağırlık sayıları kullanılarak optimize edilmiş DRASTIC indeksi haritası elde edilir .

### **2.6.2. Duyarlılık Haritasını Elde Etmek İçin Catastrophe Teorisi Aşamaları**

Catastrophe teorisi ile duyarlılık haritasını elde etmek için ilk önce DRASTIC modelinin yedi katmanı olan D, R, A, S, T, I ve C katmanları CBS ortamında hazırlanmalıdır.

DRASTIC katmanlarının birimleri birbirinden farklıdır, bu katmanların birimlerinin normalleştirme işlemi ile boyutsuzlandırılması gerekmektedir, ayrıca bu katmanların alt ve üst limitleri aynı değildir. DRASTIC katmanlarının 0 ve 1 arasında normalleştirilmesi ile bu problemler çözülebilmektedir. Katmanların normalleştirilmesi DRASTIC modelindeki parametrelerin çeşitli gruplarına derecelendirme tahsisinin yerine kabul edilmektedir. Bu sebeple, Catastrophe modelinde parametrelerin çeşitli gruplarına çeşitli dereceler tahsis edilmesine gerek yoktur.

#### **2.6.2.1. DRASTIC Modeli Katmanlarının Normalleştirilmesi**

Bu aşamada bu katmanlar (DRASTIC parametreleri) CBS ortamında aşağıdaki formüller ile normalleştirilecektir .

Normalleştirilme işlemi için yeraltısuyu kirliliği ile doğrudan ilişkili olan DRASTIC parametreleri (beslenme, akifer ortamı, toprak ortamı, doymamış bölge ve hidrolik iletkenlik) için aşağıdaki denklem kullanılmaktadır:

$$x_i^n = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (5)$$

Burada;

$x_i^n$  : CBS'deki i pikselinin normalleştirilmiş değeri

$x_i$  : CBS'deki i pikselinin değeri

$x_{\min}$  : DRASTIC parametresinin en küçük değeri

$x_{\max}$  : DRASTIC parametresinin en büyük değeri

Yeraltı suyu kirliliği ile doğrudan ilişkili olmayan DRASTIC parametreleri (yeraltı suyu derinliği, topoğrafya) için aşağıdaki denklem kullanılmaktadır:

$$(x_i^n)' = 1 - \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (6)$$

#### 2.6.2.2. Kontrol Parametreleri

Kontrol parametreleri sayısı DRASTIC modelinin dört parametresi olan yeraltı suyu derinliği, beslenme, topoğrafya ve hidrolik iletkenlik için Aller vd. (1987) sınıflandırmasına göre belirlenmektedir. Bu parametrelerin Aller sınıflandırmasından sonra grup sayısı ne kadar olursa kontrol parametreleri sayısı da o sayıya eşittir. DRASTIC modelinin diğer parametreleri yani akifer ortamı, toprak ortamı ve doymamış bölgesi etkisi için önce bu parametreler temel özelliklerine göre sınıflandırılmalıdır. Sınıflandırma sayısı, kontrol parametreleri sayısına eşittir.

#### 2.6.2.3. Catastrophe Fonksiyonları

Catastrophe fonksiyonu her parametre için Tablo 10'u kullanarak kontrol parametreleri sayısına göre seçilmektedir (Cheng vd., 1996).

Tablo 10. Catastrophe Fonksiyonları (Cheng vd., 1996)

Fonksiyon	Değişken sayısı	Kontrol parametreleri sayısı	Normalleştirme formülleri
Butterfly	1	4	$x_a=a^{1/2}$ , $x_b=b^{1/3}$ , $x_c=c^{1/4}$ , $x_d=d^{1/5}$
Swallowtail	1	3	$x_a=a^{1/2}$ , $x_b=b^{1/3}$ , $x_c=c^{1/4}$
Wigwam	1	5	$x_a=a^{1/2}$ , $x_b=b^{1/3}$ , $x_c=c^{1/4}$ , $x_d=d^{1/5}$ , $x_e=e^{1/6}$
Cusp	1	2	$x_a=a^{1/2}$ , $x_b=b^{1/3}$

#### 2.6.2.4. Parametrelerin Ağırlıklarının Tahmini

Catastrophe Fuzzy üyelik fonksiyonları belirlendikten sonra aşağıdaki ilkelerden biri seçilmelidir: Tamamlayıcı olmayan ilke ve tamamlayıcı olan ilke (Zhang vd., 2009). Tamamlayıcı olmayan ilkede kontrol parametreleri birbirlerini dengeleyememektedir, bu nedenle Catastrophe Fuzzy üyelik fonksiyonlarıyla normalize edilmiş kontrol parametrelerinin minimum değeri sistemin durumunu göstermektedir. Diğer taraftan, tamamlayıcı ilkede kontrol parametreleri birbirini tamamlamaktadırlar. Bu nedenle, kontrol parametrelerinin ortalama değeri sistemin durumunu göstermektedir. Yeraltı suyu duyarlılık değerlendirmesinde tamamlayıcı ilke belirleyici faktördür. Bu nedenle, DRASTIC parametrelerinin hepsine Catastrophe Fuzzy üyelik fonksiyonlarıyla normalize edilmiş kontrol parametrelerinin ortalama değerine göre ağırlık sayıları verilmektedir. Sistem durumunun maksimum değerine sahip olan parametreye maksimum, sistem durumunun minimum değerine sahip olan parametreye ise minimum ağırlık verilmektedir.

### 2.6.2.5. Catastrophe Modeli ile Normalize Edilmiş DRASTIC İndeksinin Elde Edilmesi

CBS yardımıyla Catastrophe modeli ile normalleştirilmiş DRASTIC indeksi elde edilebilir. Bunun için Catastrophe modelinden elde edilen ağırlıklar DRASTIC parametrelerine verilmiş ve DRASTIC modelinin normalleştirilmiş katmanları CBS ortamında üst üste getirilerek normalleştirilmiş DRASTIC indeksi aşağıdaki denklem ile elde edilmiştir.

$$\text{Normalleştirilmiş DRASTIC indeksi} = D_R D_N + R_R R_N + A_R A_N + S_R S_N + T_R T_N + I_R I_N + C_R C_N \quad (7)$$

Burada;

$D_N, R_N, A_N, S_N, T_N, I_N$  ve  $C_N$ : Normalleştirilmiş DRASTIC katmanlarını,

$D_R, R_R, A_R, S_R, T_R, I_R$  ve  $C_R$ : Catastrophe modelinden elde edilen DRASTIC parametreleri ağırlıklarını ifade etmektedir.

### **3. BULGULAR VE İRDELEME**

#### **3.1. DRASTIC Modeli Katmanlarının Hazırlanması**

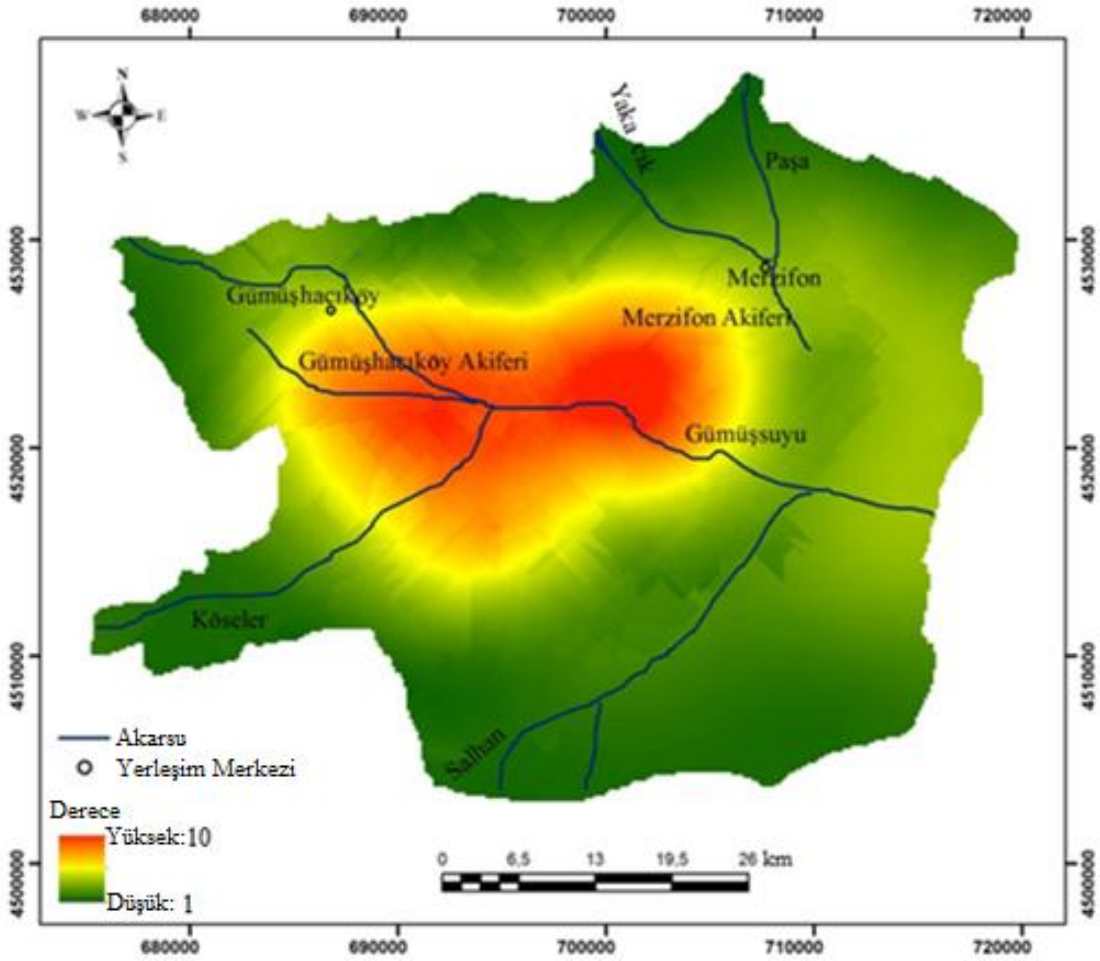
DRASTIC modeli katmanlarının hazırlanması için çeşitli veriler kullanılmış, daha sonra bu katmanlar CBS ortamında üst üste getirilerek havzanın yeraltı sularının duyarlılık haritası elde edilmiştir.

##### **3.1.1. Yeraltı Suyu Derinliği Katmanının Hazırlanması (D)**

Yeraltı suyu derinlikleri 1976'dan beri Gümüşhacıköy-Merzifon Havzası'nda ölçülmektedir. Bu çalışmada DSİ 7. Bölge müdürlüğünden temin edilen 2016 yılının Haziran ayında ölçülen yeraltı suyu derinlikleri yeraltı suyu derinliği katmanını hazırlamak için kullanılmıştır. 2016 yılının Haziran ayına ait yeraltı suyu derinlikleri Ek Tablo 1'de gösterilmektedir.

Yeraltı suyu derinlikleri Aller sınıflandırma tablosuna göre 1'den (duyarlılık üzerinde en az etki) 10'a kadar (duyarlılık üzerinde en çok etki) derecelendirilmiştir. Daha sonra bu parametrenin katmanı CBS ortamında elde edilmiştir. Gümüşhacıköy-Merzifon Havzası'nın 2016 yılı Haziran ayına ait farklı derinlikteki yeraltı sularının dereceleri Ek Tablo 1'de gösterilmektedir. Yeraltı suyu derinliği katmanı Şekil 3'te verilmektedir.





Şekil 3. Gümüşhacıköy-Merzifon Havzası yeraltı suyu derinliği derecelendirme haritası (D)

Yeraltı suyu derinliği en az olan bölgeler Şekil 3'te kırmızı renk ile gösterilmektedir. Bu bölgelerde yeraltı suyunun yer yüzü seviyesine daha yakın olduğu için kirletici maddeler yeraltı suyuna kısa mesafede ulaşabildiği için arıtılma fırsatı bulamayıp ve yeraltı suyunu daha fazla kirletebilirler.

### 3.1.2. Net Beslenme Katmanının Hazırlanması (R)

Beslenme bir yılda yer yüzünden akifere sızan toplam su miktarını ifade etmektedir (Bouwer, 1978). Yere sızan su, kirleticileri yıkayarak akifere taşımaktadır. Beslenme miktarı çok olan bir bölgede kirlenme riski de fazladır. Gümüşhacıköy-Merzifon Havzasında akiferlerin beslenme kaynakları; Gümüşsuyu Nehri, sulamadan sızan su ve

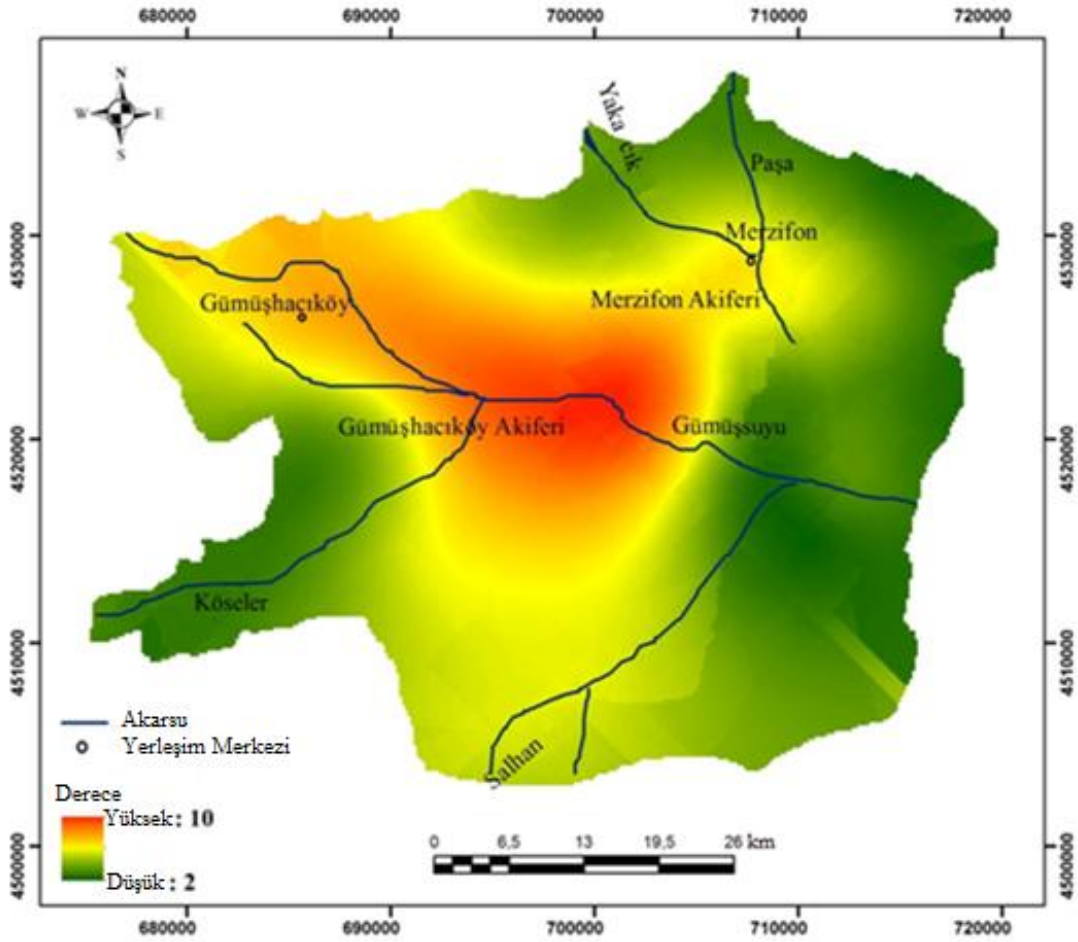
yağıştır. Bu çalışmada, net beslenme katmanını elde etmek için Piscopo Yöntemi kullanılmıştır (Piscopo, 2001). Piscopo Yönteminde havzanın net beslenme miktarını elde etmek için havzanın eğim yüzdeleri, yağış miktarı ve toprak geçirgenliği kullanılmıştır. Bu yöntemde Gümüşhacıköy ve Merzifon İstasyonları'nın ortalama toplam yıllık yağışı kullanılmıştır. Havzanın eğimini elde etmek için havzanın sayısal yükseklik modeli (DEM) kullanılmıştır. Havzanın DEM'i DSİ Genel Müdürlüğünden temin edilmiştir. Havzanın eğim yüzdeleri, yağış miktarı ve toprak geçirgenliği Tablo 11'e göre derecelendirilmiş ve bu parametrelerin katmanları CBS ortamında elde edildikten sonra üst üste getirilerek net beslenme katmanı elde edilmiştir. Net beslenme katmanının akış diyagramı Ek Şekil 1'de gösterilmektedir. Havzanın net beslenme katmanı Şekil 4'te gösterilmektedir.

Tablo 11. Beslenme katmanını oluşturan katmanların derecelendirilmesi (Piscopo, 2001)

Geçirgenlik		Yağış (mm)		Eğim (%)	
Derece	Aralık	Derece	Yağış	Derece	Eğim
5	Çok	4	>850	4	< 2
4	Orta-Çok	3	700-850	3	2-10
3	Orta	2	500-700	2	10-33
2	Az	1	< 500	1	>33
1	Çok az				



logları kullanarak akifer ortamı Aller sınıflandırma tablosuna göre derecelendirilmiş ve daha sonra bu parametrenin katmanı CBS ortamında elde edilmiştir. Gümüşhacıköy ve Merzifon Akiferleri ortamının dereceleri Ek Tablo 2’de gösterilmektedir. Akifer ortamı katmanı Şekil 5’te gösterilmektedir.



Şekil 5. Gümüşhacıköy-Merzifon Havzası akifer ortamı derecelendirme haritası (A)

Şekil 5’te görüldüğü üzere en çok akifer ortamı derecesi havzanın orta kısımlarındadır. Bunun sebebi akiferin bu kısımlarda daha iri daneli (çakıl ve kum) ve daha geçirgen olmasıdır. Akifer ortamı ne kadar iri daneli olursa ve ne kadar bu ortamda boşluklar fazla olursa kirleticilerin daha hızlı transferine neden olur ve bu nedenle kirlilik potansiyeli de daha çok artar.

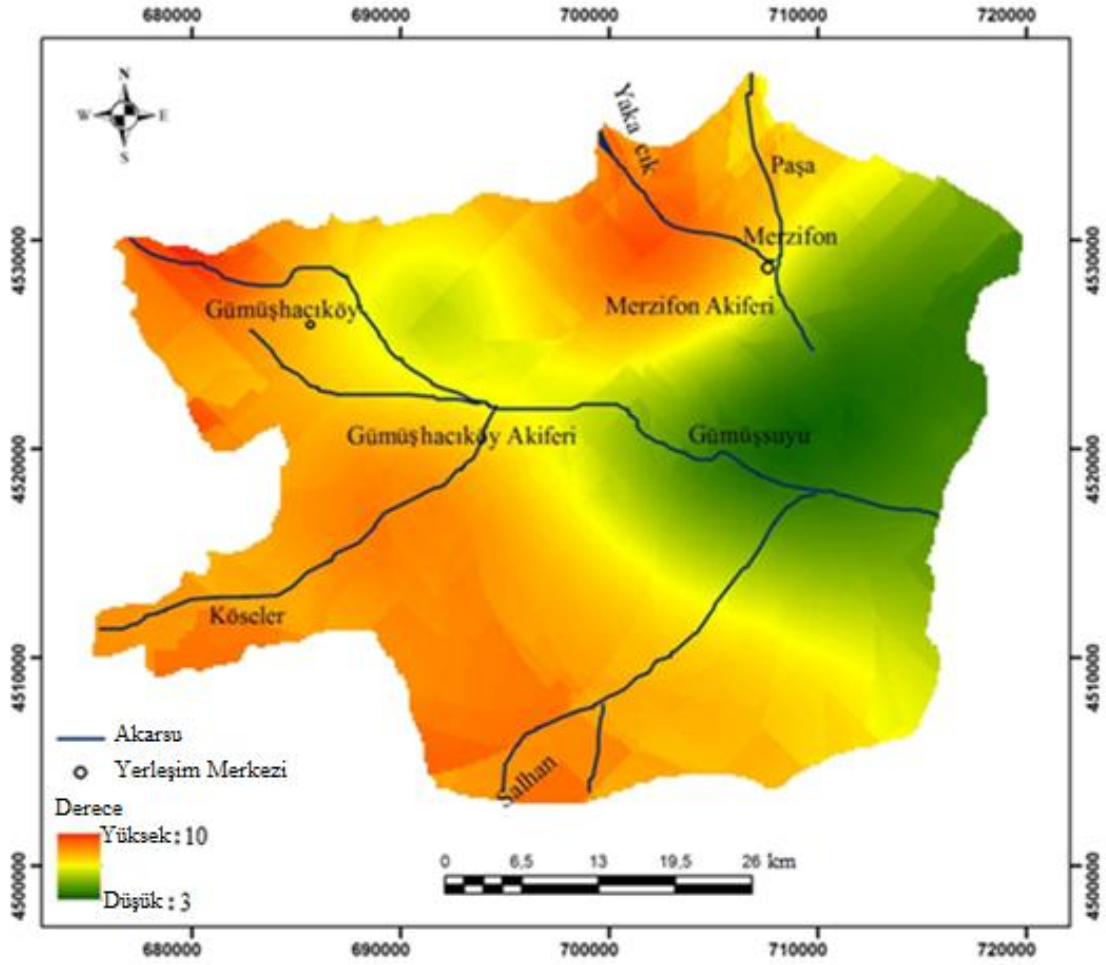
### 3.1.4. Toprak Ortamı Katmanının Hazırlanması (S)

Toprak ortamı önemli biyolojik aktivite ile karakterize edilmiş doymamış bölgenin en üst kısmına denir. Toprak, kirlenmeyle teması olan ilk yüzeydir. Silt ve kil gibi ince daneli malzemelerin varlığı toprak geçirgenliğini azaltır ve kirleticilerin hareketini sınırlar.

Bu bölüm biyolojik faaliyetler ve organik madde varlığı açısından çok önemlidir ve kirleticilerin akifere sızma derecesini ve akifere sızan su miktarını kontrol eder.

Genel olarak, toprak parçacıkları ince, toprak geçirgenliği az, organik madde yüzdesi çok ve toprak kalınlığı büyük olursa, yeraltı suyu kirlilik potansiyeli de azalır.

Bu çalışmada toprak katmanını elde etmek için kuyu logları kullanılmıştır. Çeşitli logları kullanarak toprak ortamı Aller sınıflandırma tablosuna göre derecelendirilmiştir ve daha sonra bu parametrenin katmanı CBS ortamında elde edilmiştir. Gümüşhacıköy-Merzifon Havzası toprak ortamı dereceleri Ek Tablo 3'te gösterilmektedir. Toprak ortamı katmanı Şekil 6'da gösterilmektedir.



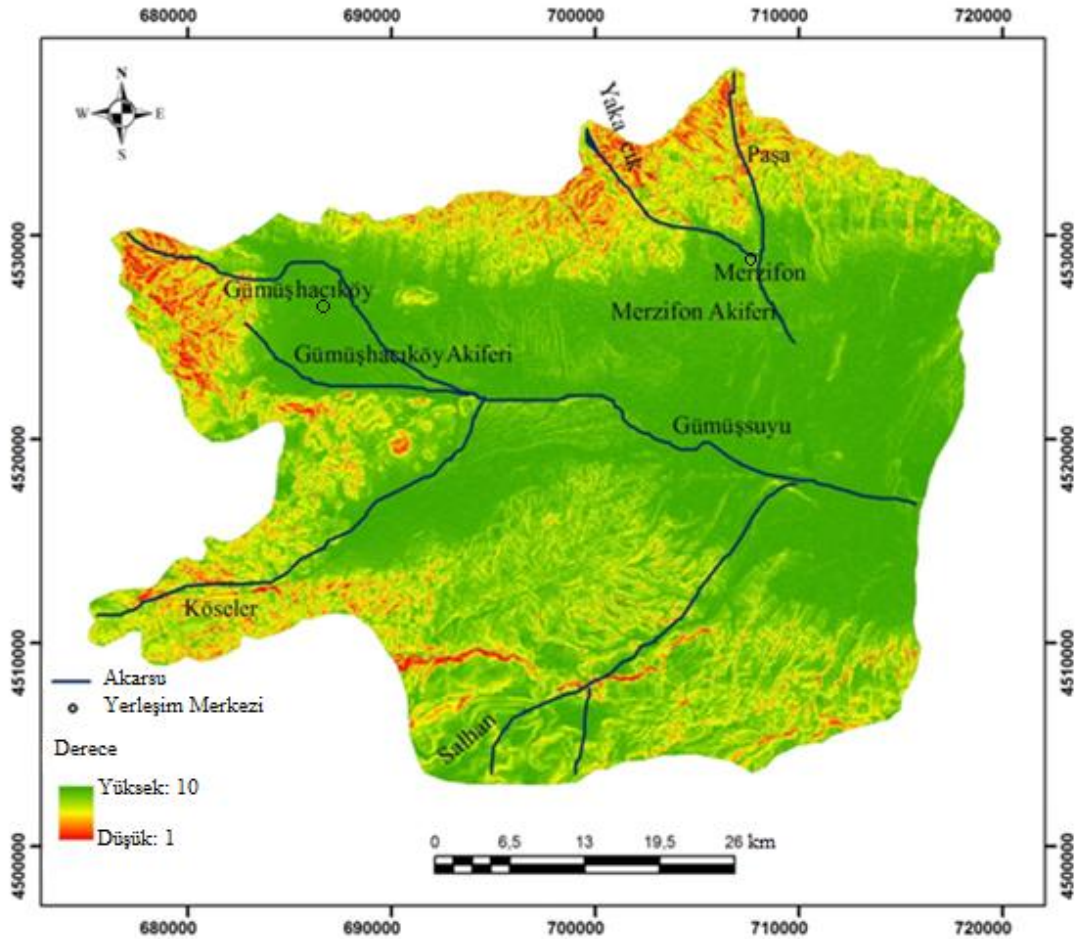
Şekil 6. Gümüşhacıköy-Merzifon Havzası toprak ortamı derecelendirme haritası (S)

Havzanın kuzeyi, kuzeybatısı, kuzeydoğusu, batısı ve güneybatısında çatlak volkanik kayalar, güneyinde ise kireçtaşı yer almaktadır. Volkanik kayalar ve kireçtaşı üzerindeki toprak kalınlığı daha azdır. Özellikle tepeler üzerindeki toprak kalınlığı çok az veya üzerlerinde toprak tabakası bulunmamaktadır. Bu sebeple, bu bölgelerde yeraltına sızan su miktarı daha fazla olduğu için yeraltı sularına ulaşan kirleticilerin miktarı da daha fazladır. Şekil 6'da da görüldüğü üzere daha yüksek toprak ortamı dereceleri bu bölgelere aittir.



### 3.1.5. Topoğrafya Katmanının Hazırlanması (T)

Topoğrafya, arazi yüzey eğimi değişkenliğini ifade eder. Yüzey eğimi ne kadar düşük olursa, yüzey suları ve kirleticilerin yeryüzüyle teması fazla sürer. Bu nedenle kirleticilerin yeraltı sularına sızma ihtimali artar. Bu çalışmada havzanın topoğrafya katmanını elde etmek için havzanın DEM'i kullanılmıştır. CBS ortamında DEM'i kullanılarak havzanın eğimi hesaplanmış, daha sonra eğim yüzdeleri Aller sınıflandırmasına göre derecelendirilmiş ve buradan topoğrafya katmanı elde edilmiştir. Topoğrafya katmanı Şekil 7'de gösterilmektedir.



Şekil 7. Gümüşhacıköy-Merzifon Havzası topoğrafya derecelendirme haritası (T)

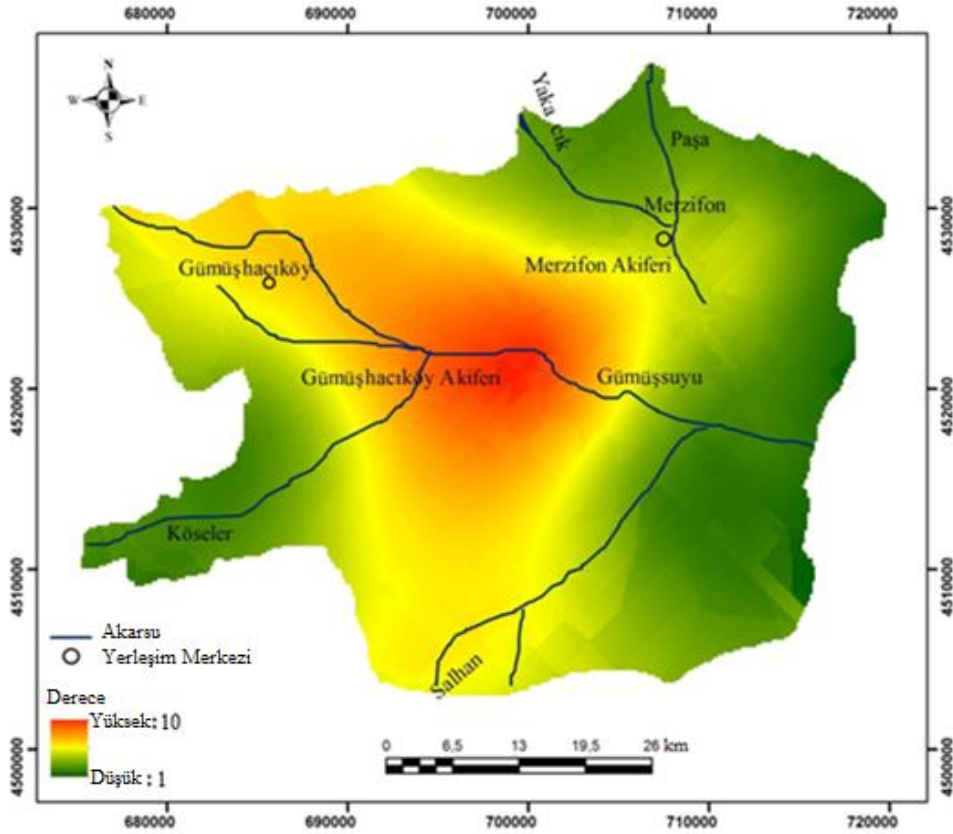
Şekil 7'de görüldüğü üzere havzanın orta kısımlarında eğim daha az olduğu için bu bölgelerde kirleticilerin yer yüzünde daha uzun süre kalıp ve dolayısıyla yeraltı sularına

sızma ihtimali daha yüksektir ve bu nedenle bu bölgelerde yeraltı suları kirlenme ihtimali daha yüksektir.

### **3.1.6. Doymamış Bölge Katmanının Hazırlanması (I)**

Bu bölge yeraltı suyu seviyesinden başlayıp yüzey toprağı altına kadar devam eder. DRASTIC modelinde, doymamış bölgenin alanı ve koşullarının kirlenmeler üzerinde büyük bir etkisi olduğu varsayılmaktadır. Çünkü kirlenmeler bu bölgede yeraltı suyu seviyesine ulaşmadan önce emilme veya seyrelme fırsatı bulmaktadırlar. Bu bölgenin toprak dokusu, kirlenici maddelerin bu bölgeden geçiş süresini belirler. Bu çalışmada doymamış bölge ortamı katmanını elde etmek için kuyu logları kullanılmıştır. Çeşitli logları kullanarak doymamış bölge ortamı Aller sınıflandırma tablosuna göre derecelendirilmiş ve daha sonra bu parametrenin katmanı CBS ortamında elde edilmiştir. Gümüşhacıköy-Merzifon Havzası doymamış bölge ortamı dereceleri Ek Tablo 4'te gösterilmektedir. Doymamış bölge ortamı katmanı Şekil 8'de gösterilmektedir.





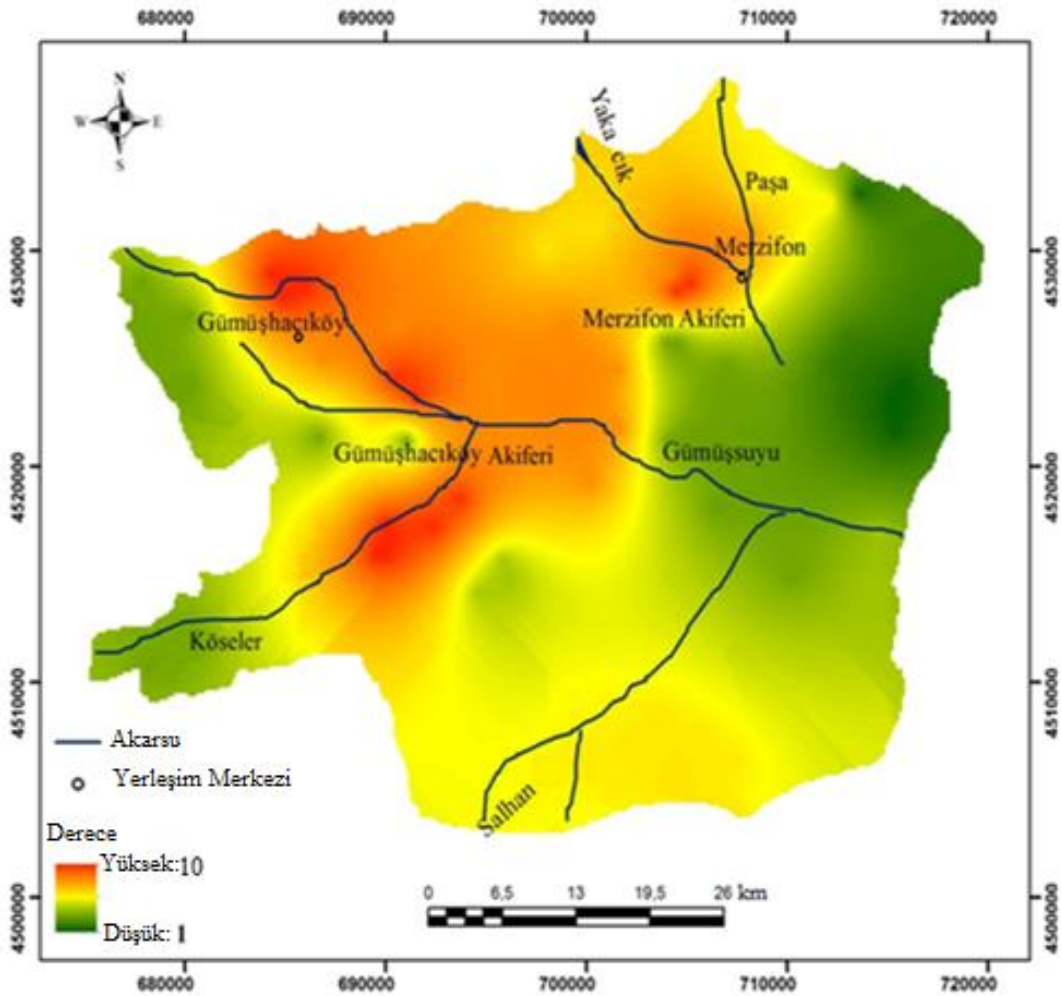
Şekil 8. Gümüşhacıköy-Merzifon Havzası doymamış bölge ortamı derecelendirme haritası (I)

Şekil 8’de görüldüğü üzere en çok doymamış bölge ortamı derecesi havzanın orta kısımlarına aittir. Bunun sebebi, bu bölgenin bu kısımda daha iri daneli ve daha geçirgen olmasıdır. Bu sebeple bu kısımlarda kirleticiler doymamış bölgeyi oluşturan malzemeler tarafından daha az emilme, yayılma ve ayrışma fırsatına sahiptirler. Dolayısıyla bu bölgelerde daha yüksek oranda kirletici yeraltı sularına sızıp yeraltı sularını daha çok kirletebilirler.

### 3.1.7. Hidrolik İletkenlik Katmanının Hazırlanması (C)

Akifer malzemelerinin su transferindeki olan kabiliyetine hidrolik iletkenlik denir. Hidrolik iletkenlik akiferde birbiriyle ilişkili boş alanların yüzdesine bağlıdır. Hidrolik iletkenlik, kirleticilerin hareketini ve yayılmasını akifer ortamında kontrol eder. Bu nedenle, hidrolik iletkenlik değeri ne kadar yüksek olursa, akiferdeki kirletici maddelerin

akış olasılığı da o kadar artar ve dolayısıyla akiferin kirlenme ihtimali de artar. Gümüşhacıköy-Merzifon Havzası'nın hidrolik iletkenlik değerleri Aller sınıflandırma tablosuna göre derecelendirilmiş ve hidrolik iletkenlik katmanı CBS ortamında elde edilmiştir. Gümüşhacıköy-Merzifon Havzası hidrolik iletkenlik dereceleri Ek Tablo 5'te gösterilmektedir. Hidrolik iletkenlik katmanı Şekil 9'da gösterilmektedir.



Şekil 9. Gümüşhacıköy-Merzifon Havzası hidrolik iletkenlik derecelendirme haritası (C)

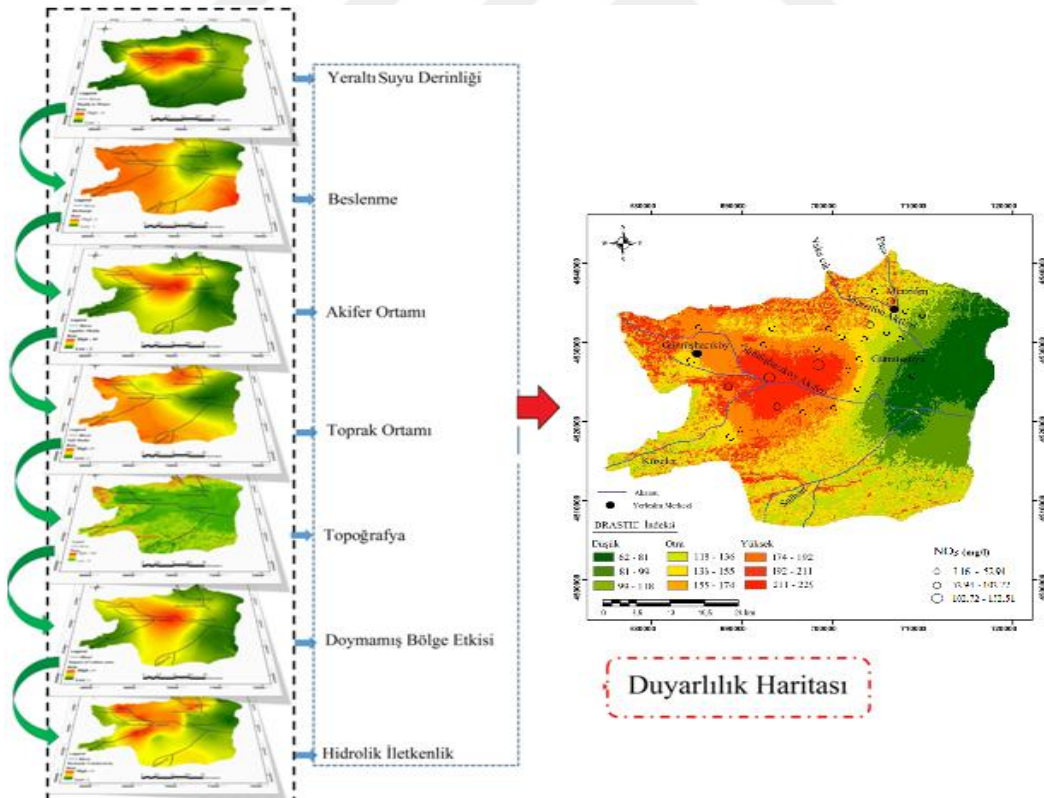
Şekil 9'da Gümüşhacıköy Akiferi ve Merzifon Akiferinin batı kısımlarında daha yüksek hidrolik iletkenlik değerleri görülmektedir. Bunun sebebi, akiferlerin bu kısımlarda daha çok boş alana sahip olmasıdır. Boşluklar ve dolayısıyla hidrolik iletkenlik değeri ne kadar yüksek olursa yeraltı suyu ve kirleticilerin akiferi oluşturan maddeler tarafından

iletirme ihtimali o kadar yüksek olur. Bu nedenle, kirleticiler akifer ortamında daha çok yayılır ve yeraltı suyunun kirlenme ihtimali artar.

### 3.2. DRASTIC Modeli Duyarlılık Haritası

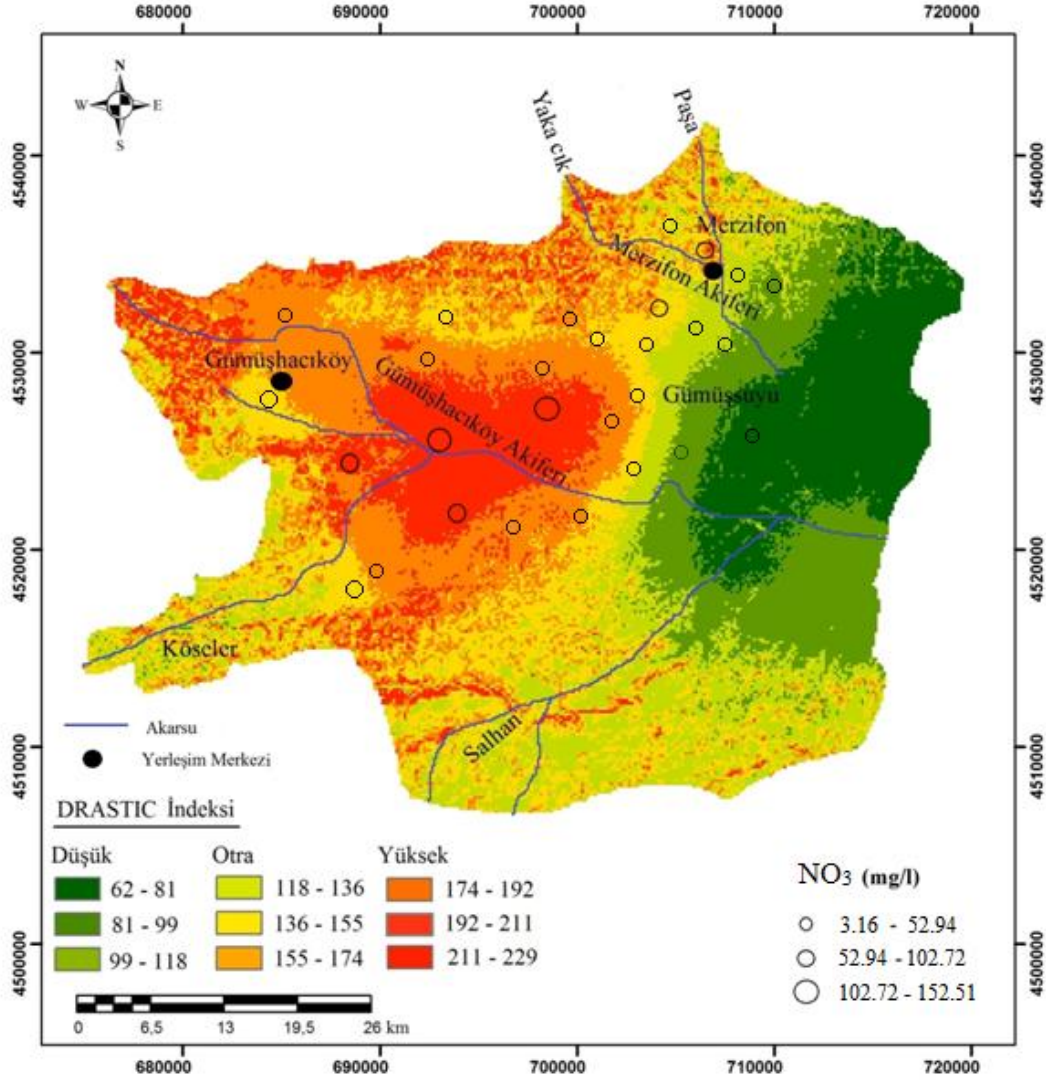
DRASTIC modelinin yedi parametresinin duyarlılık üzerindeki etkisi 1'den 5'e kadar olan rakamlarla belirlenir. 5 sayısı akiferin duyarlılığı üzerinde en etkili olan parametreye ve 1 sayısı akiferin duyarlılığı üzerinde en az etkiye sahip olan parametreye verilmektedir.

Duyarlılık haritasını elde etmek için her parametreye ait olan ağırlık sayısı uygulanarak DRASTIC modeli için daha önce elde edilen yedi katman CBS ortamında üst üste getirilerek havzanın duyarlılık haritası elde edilmiştir. DRASTIC modelinin akış diyagramı Şekil 10'da gösterilmektedir.



Şekil 10. DRASTIC modelinin akış diyagramı

DRASTIC modelinin duyarlılık haritası ve 2011 yılında nitratın ölçüldüğü havzadaki çeşitli bölgeler Şekil 11’de gösterilmektedir.



Şekil 11. Gümüşhacıköy-Merzifon Havzasının DRASTIC modelinden elde edilen duyarlılık haritası ve 2011 yılında NO<sub>3</sub><sup>-</sup> takibinin yapıldığı çeşitli bölgeler

Şekil 11’e göre Gümüşhacıköy akiferinin orta kısımları daha yüksek duyarlılığa sahip olduğu görülmektedir. DRASTIC modelinden elde edilen DRASTIC indekslerine göre üç farklı duyarlılık alanı belirlenmiştir: Yüksek (>174), Orta (118-174) ve Düşük (<118). DRASTIC modeli için CBS’den elde edilen sonuçlara göre havzanın % 13’ünün yüksek duyarlılık, % 52’sinin düşük duyarlılık ve % 35’inin orta duyarlılığa sahip olduğu belirlenmiştir.

### 3.3. DRASTIC Modelinin Doğrulaması

#### 3.3.1. Korelasyon İndeksi (CI) Yöntemi

DRASTIC parametrelerine farklı ağırlık sayıları verildiği için bu ağırlık sayılarının ne kadar doğru olduğu ve dolayısıyla DRASTIC modelinin diğer modellere göre ne kadar doğru olduğunu incelemek için havzanın çeşitli noktalarında ölçülen  $\text{NO}_3^-$  değerlerini kullanarak DRASTIC modelinin doğrulaması yapılmıştır. Bunun için 2011 yılında havzanın daha çok noktasında  $\text{NO}_3^-$  değerleri ölçüldüğü için 2011 yılının  $\text{NO}_3^-$  değerleri kullanılmıştır.  $\text{NO}_3^-$  değerleri DSİ 7. Bölge müdürlüğünden temin edilmiştir.  $\text{NO}_3^-$  değerleri Tablo 12'de gösterilmektedir. Tablo 12'de görülen  $\text{NO}_3^-$  değerlerinin ölçüldüğü kuyuların koordinatları UTM koordinat sistemindedir. DRASTIC modelinin Doğrulaması için korelasyon indeksi (CI) yöntemi kullanılmıştır (Fijani vd., 2013). Bunun için havzanın çeşitli noktalarında ölçülen  $\text{NO}_3^-$  konsantrasyonu değerleri üç kısma ayrılmıştır:

- Yüksek  $\text{NO}_3^-$  konsantrasyonu,
- Orta  $\text{NO}_3^-$  konsantrasyonu,
- Düşük  $\text{NO}_3^-$  konsantrasyonu.

Korelasyon indeksi yöntemi DRASTIC indeksleri (Duyarlılık indeksi) ve  $\text{NO}_3^-$  değerleri arasındaki korelasyonu göstermektedir. Daha yüksek korelasyon indeksi sayısı DRASTIC indeksleri ve  $\text{NO}_3^-$  konsantrasyonları arasındaki daha yüksek korelasyonu göstermektedir.

Korelasyon indeksi yöntemini uygulamak için havzanın DRASTIC indeksi yüksek olan bölgelerdeki  $\text{NO}_3^-$  konsantrasyonu yüksek olan kuyu sayısı belirlenmiş, daha sonra havzanın DRASTIC indeksi düşük olan bölgelerdeki  $\text{NO}_3^-$  konsantrasyonu düşük olan kuyu sayısı belirlenmiş ve son olarak havzanın DRASTIC indeksi orta olan bölgelerdeki  $\text{NO}_3^-$  konsantrasyonu orta olan kuyu sayısı belirlenmiştir. Buradan elde edilen toplam kuyu sayıları birbirleri ile toplanmış ve sonuç 3 ile çarpılmıştır. Bu işlem yapıldıktan sonra havzanın DRASTIC indeksi yüksek olan bölgelerdeki  $\text{NO}_3^-$  konsantrasyonu orta olan kuyu sayısı belirlenmiş, daha sonra havzanın DRASTIC indeksi düşük olan bölgelerdeki  $\text{NO}_3^-$  konsantrasyonu orta olan kuyu sayısı belirlenmiş, bu işlemden sonra havzanın DRASTIC indeksi orta olan bölgelerdeki  $\text{NO}_3^-$  konsantrasyonu yüksek olan kuyu sayısı belirlenmiş ve son olarak havzanın DRASTIC indeksi orta olan bölgelerdeki  $\text{NO}_3^-$  konsantrasyonu düşük

olan kuyu sayısı belirlenmiştir. Buradan elde edilen toplam kuyu sayıları birbirleri ile toplanmış ve sonuç 2 ile çarpılmıştır. Bu işlem yapıldıktan sonra havzanın DRASTIC indeksi düşük olan bölgelerdeki  $\text{NO}_3^-$  konsantrasyonu yüksek olan kuyu sayısı belirlenmiş, daha sonra havzanın DRASTIC indeksi yüksek olan bölgelerdeki  $\text{NO}_3^-$  konsantrasyonu düşük olan kuyu sayısı belirlenmiştir. Buradan elde edilen toplam kuyu sayıları birbirleri ile toplanmış ve sonuç 1 ile çarpılmıştır. Çarpımlardan elde edilen sonuçlar birbirleriyle toplanmış ve buradan korelasyon indeksi elde edilmiştir. Korelasyon indeksi hesaplamaları Tablo 13'te verilmektedir.

Tablo 12. Gümüşhacıköy-Merzifon Havzasının 2011 yılında ölçülen  $\text{NO}_3^-$  değerleri

İstasyon	X	Y	$\text{NO}_3^-$ (mg/L)
1	703602	4520653	15.811
2	692786	4518598	31.047
3	692182	4524809	48.816
4	689877	4523071	29.463
5	685425	4528419	22.181
6	691475	4523509	24.304
7	701807	4521646	15.14
8	693984	4522463	24.103
9	707852	4528389	15.386
10	707867	4529118	23.644
11	707889	4530468	8.573
12	707751	4531721	3.163
13	707346	4532075	10.844
14	707472	4532415	10.544
15	705968	4527410	28.491
16	705279	4527336	34.048
17	705829	4528698	27.413
18	703470	4531830	6.525
19	704617	4530947	3.162
20	708062	4527986	93.596
21	708330	4527446	47.678
22	708366	4526907	25.038
23	708241	4526140	8.993
24	704747	4526780	18.174
25	705817	4525508	134.623
26	709093	4526225	152.512
27	710114	4527167	19.723
28	711473	4527515	44.518



Tablo 13. Gümüşhacıköy-Merzifon Havzası  $\text{NO}_3^-$  ölçüm kuyularının DRASTIC indeksleri ile adaptasyonu

Model	$\text{NO}_3^-$ (mg/L)				CI
	Grup	Yüksek	Orta	Düşük	
DRASTIC indeksleri	Yüksek	2	2	6	60
	Orta	0	4	10	
	Düşük	0	0	4	
$\text{CI} = 3(2+4+4)+2(2+0+10+0)+1(0+6) = 60$					

Tablo 13'te görüldüğü üzere DRASTIC modeli için korelasyon indeksi 60 olarak elde edilmiştir. Bu değer diğer modellerin korelasyon indeksleri ile karşılaştırılmış ve hangi modelin daha doğru olduğuna karar verilmiştir.

### 3.4. Fuzzy Modeli ile DRASTIC Modelinin Optimizasyonu

Bu çalışmada Fuzzy modeli ile DRASTIC modelinin optimizasyonu yapılmış daha sonra bu modellerin sonuçları karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmada Fuzzy modeli üç yöntem ile yapılmıştır. Bu yöntemler şunlardır:

- Mamdani (Mamdani ve Assilian, 1975; Mamdani, 1976),
- Larsen (Larsen, 1980),
- Sugeno (Takagi ve Sugeno, 1985).

Fuzzy modelini uygulamak için  $\text{NO}_3^-$  değerleri, DRASTIC parametreleri, DRASTIC indeksleri,  $\text{NO}_3^-$  değerleri yardımıyla düzeltilmiş DRASTIC indeksler veri olarak kullanılmıştır.

Fuzzy modelinin sonuçlarını elde etmek için bu modelin kodu MATLAB programında yazılarak Fuzzy modeli ile hesaplanan DRASTIC indeksleri ve  $R^2$  ile RMSE sonuç olarak elde edilmiştir.

#### 3.4.1. Fuzzy Modelinden Elde Edilen Sonuçlar

Fuzzy modelinden elde edilen sonuçlar Tablo 14'te verilmektedir.

Tablo 14. Gümüşhacıköy-Merzifon Havzası için Fuzzy Modellerinin eğitim ve test aşamasındaki sonuçları

Değerlendirme Kriteri	MODEL			Aşamalar
	Larsen	Mamdani	Sugeno	
$R^2$	0.79	0.78	0.84	Eğitim
RMSE	6.1	6.02	5.32	
$R^2$	0.72	0.73	0.79	Test
RMSE	11.48	11.04	8.21	

Fuzzy modelinin doğruluk derecesi test aşamasındaki  $R^2$  ve RMSE üzerinden belirlenir. Tablo 14'te görüldüğü üzere Sugeno modelinin test aşamasındaki  $R^2$  değeri olan 0.79 diğer modellerin test aşamasındaki  $R^2$  değerine göre daha yüksektir, buradan Sugeno modelinin Mamdani ve Larsen Modeline göre daha doğru olduğu anlaşılmaktadır.

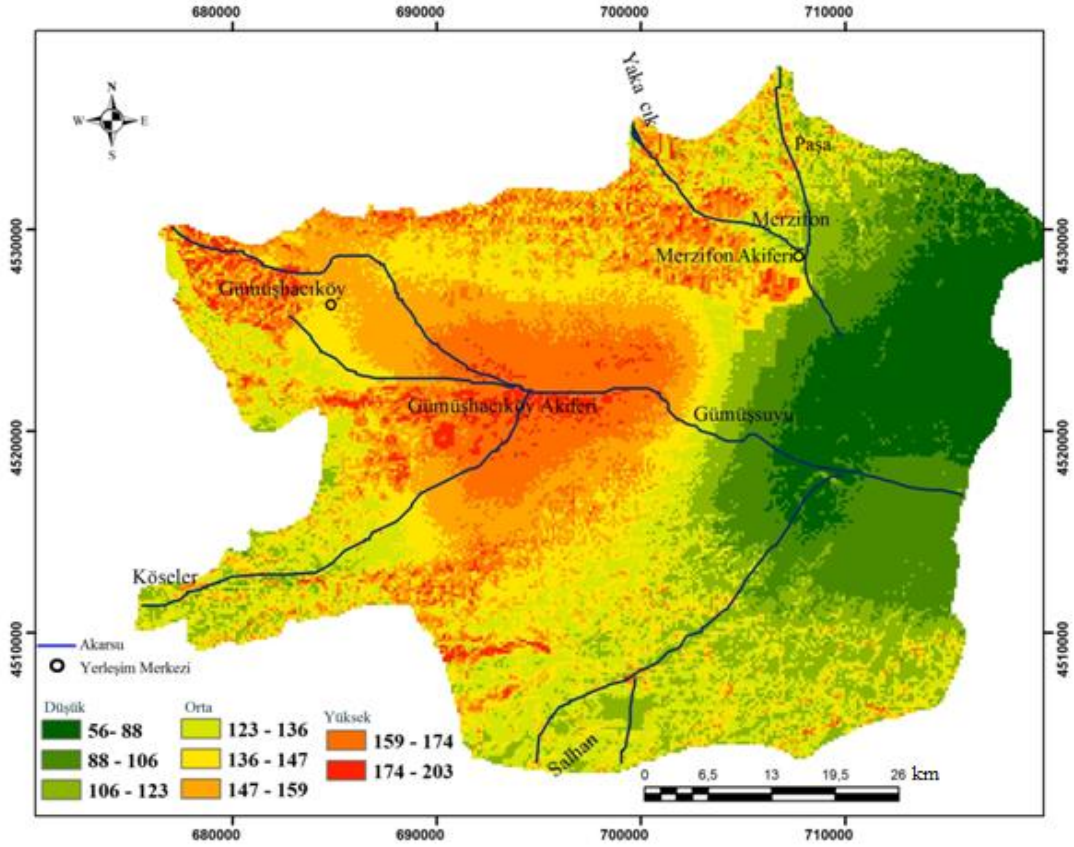
### 3.4.2. Fuzzy Modellerinden Elde Edilen Duyarlılık Haritaları

Fuzzy modellerinden elde edilen hesaplanan DRASTIC indekslerini kullanarak her Fuzzy modeli için duyarlılık haritası CBS ortamında elde edilmiştir.

#### 3.4.2.1. Sugeno Modelinin Duyarlılık Haritası

Sugeno modelinin duyarlılık haritası Şekil 12'de verilmektedir.



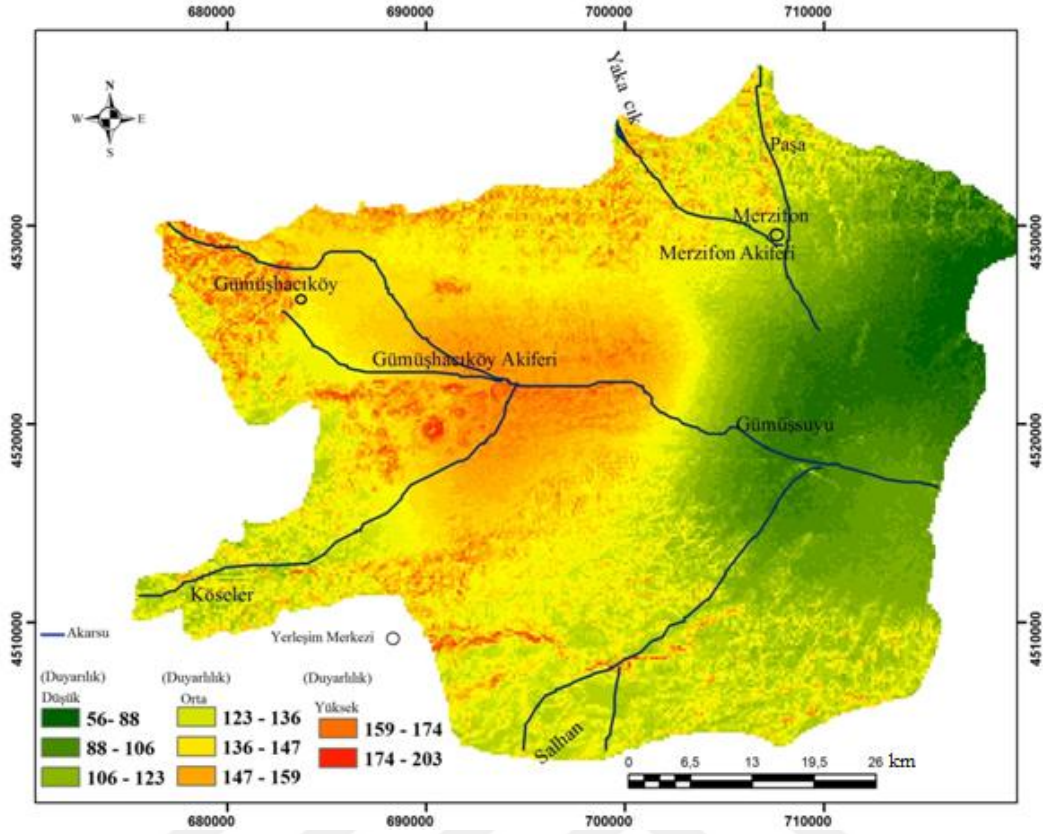


Şekil 12. Gümüşhacıköy-Merzifon Havzasının Sugeno Modelinden elde edilen duyarlılık haritası

Şekil 12'ye göre Gümüşhacıköy Akiferinin orta kısımları daha yüksek duyarlılığa sahip olduğu görülmektedir. Sugeno modelinden elde edilen duyarlılık indekslerine göre üç farklı duyarlılık alanı belirlenmiştir: Yüksek (>159), Orta (123-159) ve Düşük (<123). Sugeno modeli için CBS'den elde edilen sonuçlara göre havzanın % 16'sının yüksek duyarlılık, % 61'inin düşük duyarlılık ve % 2'sünün orta duyarlılığa sahip olduğu belirlenmiştir.

### 3.4.2.2. Mamdani Modelinin Duyarlılık Haritası

Mamdani modelinin duyarlılık haritası Şekil 13'te verilmektedir.

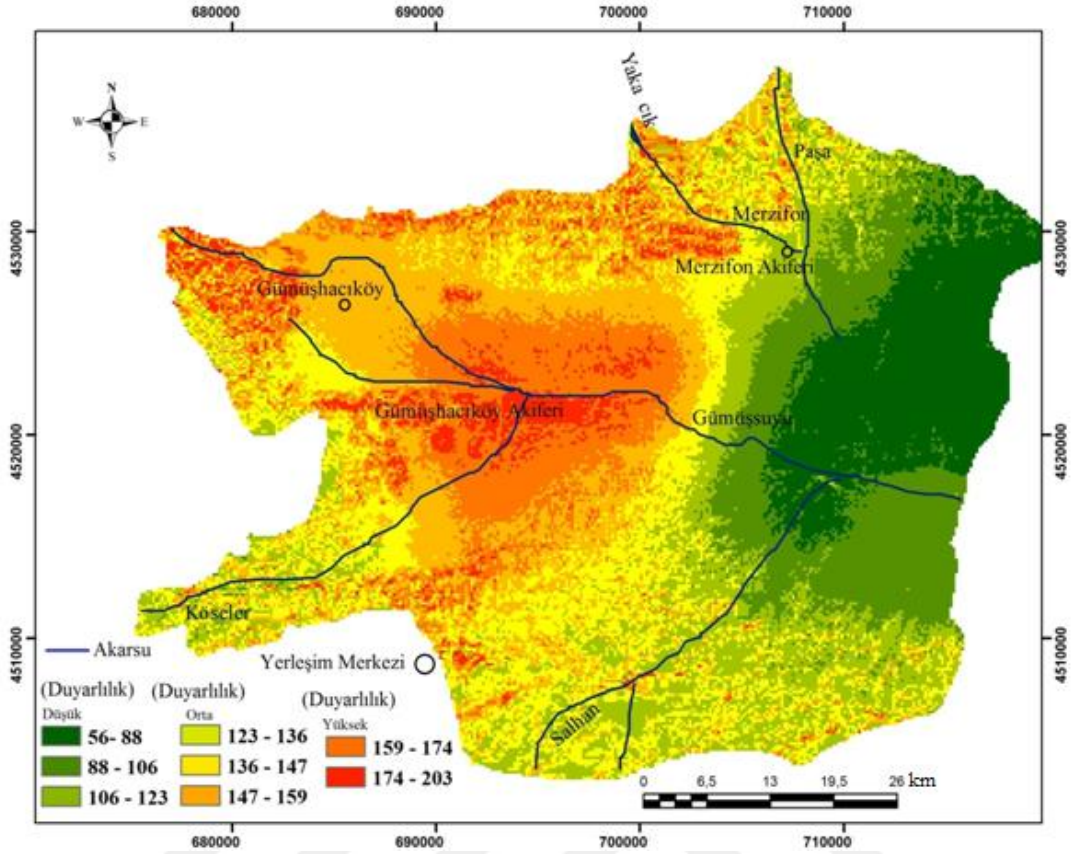


Şekil 13. Gümüşhacıköy-Merzifon Havzasının Mamdani Modelinden elde edilen duyarlılık haritası

Şekil 13'e göre Gümüşhacıköy Akiferinin orta kısımları daha yüksek duyarlılığa sahip olduğu görülmektedir. Mamdani modelinden elde edilen duyarlılık indekslerine göre üç farklı duyarlılık alanı belirlenmiştir: Yüksek (>159), Orta (123-159) ve Düşük (<123). Mamdani modeli için CBS'den elde edilen sonuçlara göre havzanın % 13'ünün yüksek duyarlılık, % 58'inin düşük duyarlılık ve % 29'inin orta duyarlılığa sahip olduğu belirlenmiştir.

### 3.4.2.3. Larsen Modelinin Duyarlılık Haritası

Larsen modelinin duyarlılık haritası Şekil 14'te verilmektedir.



Şekil 14. Gümüşhacıköy-Merzifon Havzasının Larsen Modelinden elde edilen duyarlılık haritası

Şekil 14'e göre Gümüşhacıköy Akiferinin orta kısımlarının daha yüksek duyarlılığa sahip olduğu görülmektedir. Larsen modelinden elde edilen duyarlılık indekslerine göre üç farklı duyarlılık alanı belirlenmiştir: Yüksek (>159), Orta (123-159) ve Düşük (<123). Larsen modeli için CBS'den elde edilen sonuçlara göre havzanın % 15'inin yüksek duyarlılık, % 60'ının düşük duyarlılık ve % 25'inin orta duyarlılığa sahip olduğu belirlenmiştir.

### 3.4.3. Fuzzy Modellerinin Doğrulaması

Fuzzy Modelleri olan Mamdani, Larsen ve Sugeno modellerini birbirine ve diğer modellere göre ne kadar doğru olduğunu incelemek için havzanın çeşitli noktalarında ölçülen  $\text{NO}_3^-$  değerlerini kullanarak bu modellerin doğrulaması yapılmıştır. Fuzzy modelinin doğrulaması için CI yöntemi kullanılmıştır. Bunun için havzanın çeşitli noktalarında ölçülen  $\text{NO}_3^-$  değerleri üç kısma ayrılmıştır:

- Yüksek  $\text{NO}_3^-$  konsantrasyonu,
- Düşük  $\text{NO}_3^-$  konsantrasyonu,
- Orta  $\text{NO}_3^-$  konsantrasyonu.

Korelasyon indeksi yöntemi Fuzzy yöntemleri ile hesaplanan DRASTIC indeksleri (Duyarlılık indeksi) ve  $\text{NO}_3^-$  değerleri arasındaki korelasyonu göstermektedir. Daha yüksek korelasyon indeksi, Fuzzy modelleri ile hesaplanan DRASTIC indeksleri ve  $\text{NO}_3^-$  değerleri arasındaki daha yüksek korelasyonun olduğunu göstermektedir.

Korelasyon indeksi yöntemini uygulamak için havzanın Fuzzy modelleri ile hesaplanan DRASTIC indeksinin yüksek olan bölgelerdeki  $\text{NO}_3^-$  değeri yüksek olan kuyu sayısı belirlenmiş, daha sonra havzanın Fuzzy modelleri ile hesaplanan DRASTIC indeksi düşük olan bölgelerdeki  $\text{NO}_3^-$  değeri düşük olan kuyu sayısı belirlenmiş ve son olarak havzanın Fuzzy modelleri ile hesaplanan DRASTIC indeksi orta olan bölgelerdeki  $\text{NO}_3^-$  değeri orta olan kuyu sayısı belirlenmiştir. Buradan elde edilen toplam kuyu sayıları birbirleri ile toplanmış ve sonuç 3 ile çarpılmıştır. Bu işlem yapıldıktan sonra havzanın Fuzzy modelleri ile hesaplanan DRASTIC indeksi yüksek olan bölgelerdeki  $\text{NO}_3^-$  değeri orta olan kuyu sayısı belirlenmiş, daha sonra havzanın Fuzzy modelleri ile hesaplanan DRASTIC indeksi düşük olan bölgelerdeki  $\text{NO}_3^-$  değeri orta olan kuyu sayısı belirlenmiş, bu işlemden sonra havzanın Fuzzy modelleri ile hesaplanan DRASTIC indeksi orta olan bölgelerdeki  $\text{NO}_3^-$  değeri yüksek olan kuyu sayısı belirlenmiş ve son olarak havzanın Fuzzy modelleri ile hesaplanan DRASTIC indeksi orta olan bölgelerdeki  $\text{NO}_3^-$  değeri düşük olan kuyu sayısı belirlenmiştir. Buradan elde edilen toplam kuyu sayıları birbirleri ile toplanmış ve sonuç 2 ile çarpılmıştır. Bu işlem yapıldıktan sonra havzanın Fuzzy modelleri ile hesaplanan DRASTIC indeksi düşük olan bölgelerdeki  $\text{NO}_3^-$  değeri yüksek olan kuyu sayısı belirlenmiş, daha sonra havzanın Fuzzy modelleri ile hesaplanan DRASTIC indeksi yüksek olan bölgelerdeki  $\text{NO}_3^-$  değeri düşük olan kuyu sayısı belirlenmiştir. Buradan elde edilen toplam kuyu sayıları birbirleri ile toplanmış ve sonuç 1 ile çarpılmıştır. Çarpımlardan elde edilen sonuçlar birbirleriyle toplanmış ve buradan korelasyon indeksi elde edilmiştir. Korelasyon indeksi hesaplamaları Tablo 15'te verilmektedir.

Tablo 15. Gümüşhacıköy-Merzifon Havzası  $\text{NO}_3^-$  ölçüm kuyularının Fuzzy modelleri duyarlılık indeksleri ile adaptasyonu

Model	$\text{NO}_3^-$ (mg / L)				CI
Sugeno Modeli	Grup	Yüksek	Orta	Düşük	72
	Yüksek	5	1	1	
	Orta	2	6	3	
	Düşük	1	2	7	
$CI= 3(5+6+7)+2(1+3+2+2)+1(1+1)= 72$					
Mamdani Modeli	Grup	Yüksek	Orta	Düşük	67
	Yüksek	4	2	2	
	Orta	3	5	2	
	Düşük	2	2	6	
$CI= 3(4+5+6)+2(2+2+3+2)+1(2+2)= 67$					
Larsen Modeli	Grup	Yüksek	Orta	Düşük	66
	Yüksek	5	3	1	
	Orta	2	4	2	
	Düşük	3	3	5	
$CI= 3(5+4+5)+2(3+3+2+2)+1(1+3)= 66$					

Tablo 15'te görüldüğü üzere Sugeno modelinin korelasyon indeksi Mamdani ve Larsen modellerine göre daha yüksek değere sahiptir. Bu sebeple, Sugeno modelinin Larsen ve Mamdani modellerine göre daha doğru olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca her üç Fuzzy modelinin korelasyon indeksi DRASTIC modelinin korelasyon indeksi yani 60'tan daha yüksek olduğu için Fuzzy modellerinin DRASTIC modelinden daha doğru olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada Fuzzy modelinin daha doğru olduğu Sugeno modeli için havzanın çeşitli derecelerde sahip olduğu duyarlılık yüzdeleri hesaplanmış ve CBS'den elde edilen sonuçlara göre havzanın % 16'sının yüksek duyarlılık, % 61'inin düşük duyarlılık ve % 23'ünün orta duyarlılığa sahip olduğu belirlenmiştir.

### 3.5. Catastrophe Modeli ile Ağırlıkların Hesaplanması

DRASTIC modelinin ağırlık sayılarını optimize etmek için Catastrophe teorisi kullanılabilir. Bunun için bu çalışmada Catastrophe modeli ile DRASTIC modelinin optimizasyonu yapılmış daha sonra bu modellerin sonuçları karşılaştırılmıştır.

Catastrophe modelini uygulamak için DRASTIC parametrelerinin CBS ortamında normalleştirilmiş katmanları kullanılmıştır. Bu katmanlar elde edildikten sonra Catastrophe modelinin çeşitli aşamalarının hesaplamaları yapılmış ve buradan Catastrophe modeli ile optimize edilmiş ağırlık sayıları elde edilmiştir. Bu ağırlık sayılarını kullanarak havzanın Catastrophe modeli ile optimize edilmiş duyarlılık haritası CBS ortamında elde edilmiştir.

Catastrophe modelinin DRASTIC modelini optimize etmek için kullandığı aşamalar aşağıdaki gibidir:

Tablo 16'nın ikinci sütununda DRASTIC parametreleri olan yeraltı suyu derinliği, beslenme, topoğrafya ve hidrolik iletkenlik Aller sınıflandırmasına göre sınıflandırılmıştır. Daha sonra DRASTIC modelinin diğer parametreleri yani akifer ortamı, toprak ortamı ve doymamış bölge için bu parametreler temel özelliklerine göre sınıflandırılmış ve çeşitli aralıklar tablonun ikinci sütununda yazılmıştır. Bu çeşitli aralıklar için ortalama değeri hesaplanmış ve tablonun dördüncü sütununda yazılmıştır. Ortalama değerleri aralıkların içinde olan çalışma bölgesine ait verilerin ortalamasıdır. Hesaplanan ortalamalar geçmiş bölümde anlatılan normalizasyon denklemleri ile normalize edilmiştir ve bu değerler tablonun beşinci sütununda yazılmıştır. Altıncı sütunda olan çeşitli Catastrophe modelleri kontrol parametreleri sayısı üzerinden elde edilmiştir. Kontrol parametreleri sayısı tablonun ikinci sütununda olan sınıflandırma sayısına eşittir. Kontrol parametreleri elde edildikten sonra geçmiş bölümdeki Cheng vd. tarafından sunulan tablodan Catastrophe modelleri kontrol parametrelerini dikkate alarak elde edilmiştir. Daha sonra aynı tablodan her Catastrophe modeli için normalleştirme denklemi elde edilmiştir. Bu denklemleri kullanarak beşinci sütunda olan normalleştirilmiş değerler tekrar normalleştirilmiştir ve tablonun yedinci sütununda yazılmıştır. Tablonun yedinci sütununun değerlerinin ortalamaları hesaplanmış ve bu değerler tablonun sekizinci sütununda yazılmıştır. DRASTIC parametresi sayısı yedi olduğu için sekizinci sütunda olan en çok değere 7 sayısı verilmiş ve değerler azaldıkça sırayla yediden aşağı olan 6, 5, 4, 3 ve 2 sayısı diğer DRASTIC parametrelerine verilmiştir. Catastrophe modeli için yapılan hesaplamalar Tablo 16'da gösterilmektedir.

Tablo 16. Catastrophe modeli ile optimize edilmiş DRASTIC modeli için Catastrophe ağırlık sayılarının hesaplama detayları

DRASTIC Parametreleri	Sınıflandırma aralığı	Seviye	Ortalama	Ortalamanın Normalleştirilmiş değeri	Catastrophe Fonksiyonu	Catastrophe fuzzy Üyelik fonksiyonu	Tamamlayıcı İlkeye Dayanarak Hesaplanmış	Catastrophe Ağırlık Sayıları
Yeraltısuyu Derinliği (m)	0.22 – 4.91	Düşük	3.38	1	Butterfly	1	0.69	7
	4.91 – 8.03	Nispeten düşük	6.03	0.76		0.91		
	8.03 – 15.94	Nispeten yüksek	10.43	0.55		0.86		
	>15.94	Yüksek	21.56	0		0		
Beslenme (mm/yıl)	2.43 – 18.3	Düşük	8.72	0	Swallowtail	0	0.58	2
	18.3 – 34.02	Orta	25.91	0.41		0.74		
	34.02 – 55.15	Yüksek	41.61	1		1		
Akifer ortamı (Derece)	2- 4.3	Kil ve Silt	3.03	0	Butterfly	0	0.69	7
	4.3 – 6.01	Kum ile kil ve silt	5.7	0.53		0.81		
	6.01 – 8.01	Kum	7.9	0.76		0.93		
	8.01 – 10	Çakıl, kum, silt	9.1	1		1		
Toprak ortamı (Derece)	1 – 4.03	Kil ve silt	3.46	0	Butterfly	0	0.65	5
	4.03 – 5.2	Verimli toprak ve silt	4.2	0.31		0.68		
	5.2 – 6.2	Kum, Silt, Çakıl	5.6	0.66		0.90		
	6.2 – 10	Çakıl, Kum	6.78	1		1		



Tablo 16'nın devamı

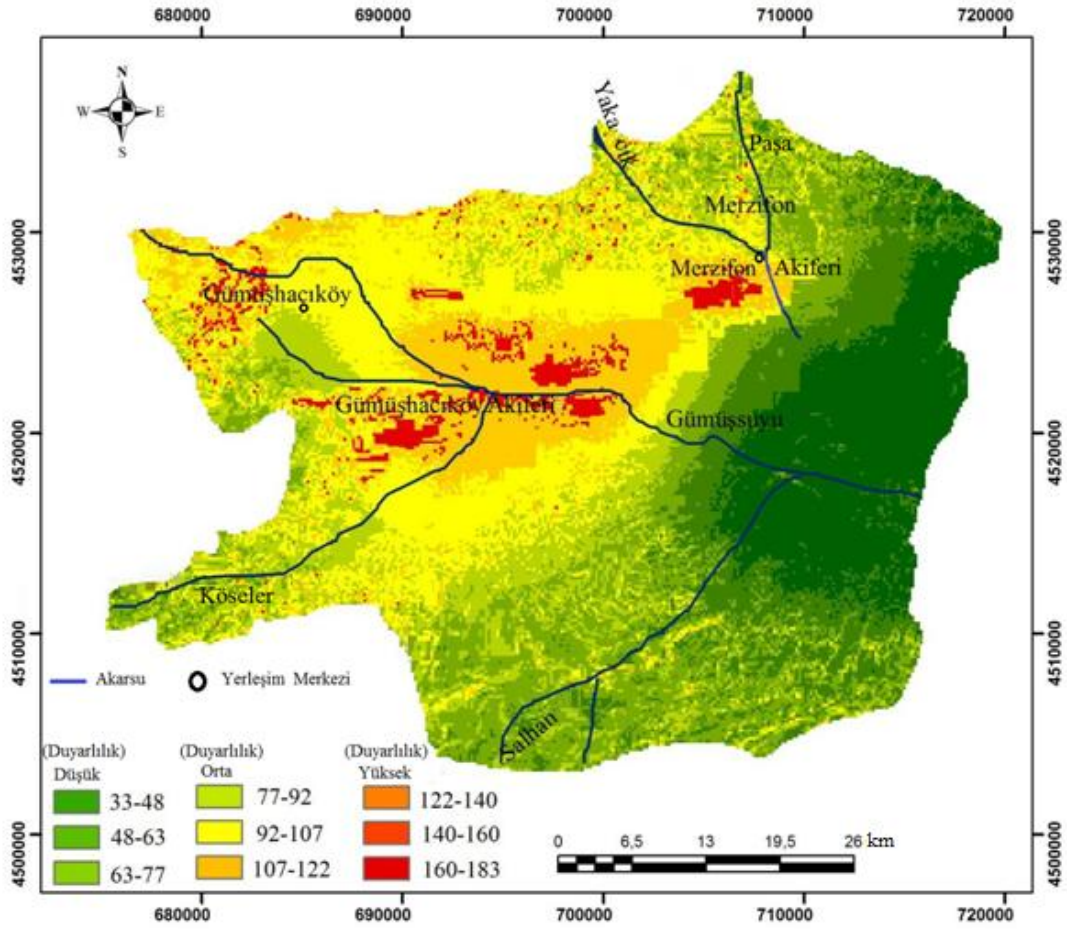
DRASTIC Parametreleri	Sınıflandırma aralığı	Seviye	Ortalama	Ortalamanın Normalleştirilmiş değeri	Catastrophe Fonksiyonu	Catastrophe fuzzy Üyelik fonksiyonu	Tamamlayıcı İlkeye Dayanarak Hesaplanmış	Catastrophe Ağırlık Sayıları
Topoğrafya (%)	0 – 2	Düşük	1.03	1	Wigwam	1	0.63	4
	2 – 6	Nispeten düşük	4.2	0.56		0.82		
	6 – 12	Orta	10.1	0.24		0.69		
	12 – 28	Nispeten Yüksek	24	0.13		0.66		
	28 – 81	Yüksek	47.09	0		0		
Doymamış Bölge Ortamı (Derece)	1 – 3	Kil veya silt	2.3	0	Butterfly	0	0.68	6
	3 – 6	Silt, kil, kum	4.1	0.42		0.75		
	6 – 7	Kum, Silt, Çakıl	6.4	0.86		0.96		
	7 – 10	Çakıl, kum, silt	7.15	1		1		
Hidrolik iletkenlik (m/gün)	0.15 – 4	Düşük	1.15	0	Butterfly	0	0.59	3
	4 – 12	Nispeten Düşük	4.87	0.16		0.54		
	12 – 28	Orta	12.03	0.47		0.83		
	>28	Nispeten yüksek	34.12	1		1		

### 3.5.1. Catastrophe Modelinden Elde Edilen Duyarlılık Haritası

Elde edilmiş Catastrophe ağırlık sayıları ve önceden normalleştirilmiş DRASTIC katmanlarını kullanarak havzanın Catastrophe modeli ile optimize edilmiş duyarlılık haritası elde edilmiştir.

Catastrophe modelinden elde edilen duyarlılık haritası Şekil 15'te verilmektedir.





Şekil 15. Gümüşhacıköy-Merzifon Havzasının Catastrophe Modelinden elde edilen duyarlılık haritası

• CBS'den elde edilen sonuçlara göre Catastrophe modeli için havzanın % 11'inin yüksek duyarlılık, % 42'sinin orta duyarlılık ve % 47'sinin ise düşük duyarlılığa sahip olduğu belirlenmiştir.

### 3.5.2. Catastrophe Modelinin Doğrulaması

Catastrophe Modelinin diğer modellere göre ne kadar doğru olduğunu incelemek için havzanın çeşitli noktalarında ölçülen  $\text{NO}_3^-$  değerlerini kullanarak Catastrophe modelinin doğrulaması yapılmıştır. Catastrophe modelinin Doğrulaması için CI yöntemi kullanılmıştır. Bunun için havzanın çeşitli noktalarında ölçülen  $\text{NO}_3^-$  değerleri üç kısma ayrılmıştır:

- Yüksek  $\text{NO}_3^-$  konsantrasyonu,
- Orta  $\text{NO}_3^-$  konsantrasyonu,
- Düşük  $\text{NO}_3^-$  konsantrasyonu.

Korelasyon indeksi yöntemi DRASTIC indeksleri (Duyarlılık indeksi) ve  $\text{NO}_3^-$  değerleri arasındaki korelasyonu göstermektedir. Daha yüksek korelasyon indeksi sayısı duyarlılık indeksleri ve  $\text{NO}_3^-$  değerleri arasındaki daha yüksek korelasyonu göstermektedir.

Korelasyon indeksi yöntemini uygulamak için havzanın DRASTIC indeksi yüksek olan bölgelerdeki  $\text{NO}_3^-$  değeri yüksek olan kuyu sayısı belirlenmiş, daha sonra havzanın DRASTIC indeksi düşük olan bölgelerdeki  $\text{NO}_3^-$  değeri düşük olan kuyu sayısı belirlenmiş ve son olarak havzanın DRASTIC indeksi orta olan bölgelerdeki  $\text{NO}_3^-$  değeri orta olan kuyu sayısı belirlenmiştir. Buradan elde edilen toplam kuyu sayıları birbirleri ile toplanmış ve sonuç 3 ile çarpılmıştır. Bu işlem yapıldıktan sonra havzanın DRASTIC indeksi yüksek olan bölgelerdeki  $\text{NO}_3^-$  değeri orta olan kuyu sayısı belirlenmiş, daha sonra havzanın DRASTIC indeksi düşük olan bölgelerdeki  $\text{NO}_3^-$  değeri orta olan kuyu sayısı belirlenmiş, bu işlemden sonra havzanın DRASTIC indeksi orta olan bölgelerdeki  $\text{NO}_3^-$  değeri yüksek olan kuyu sayısı belirlenmiş ve son olarak havzanın DRASTIC indeksi orta olan bölgelerdeki  $\text{NO}_3^-$  değeri düşük olan kuyu sayısı belirlenmiştir. Buradan elde edilen toplam kuyu sayıları birbirleri ile toplanmış ve sonuç 2 ile çarpılmıştır. Bu işlem yapıldıktan sonra havzanın DRASTIC indeksi düşük olan bölgelerdeki  $\text{NO}_3^-$  değeri yüksek olan kuyu sayısı belirlenmiş, daha sonra sonra havzanın DRASTIC indeksi yüksek olan bölgelerdeki  $\text{NO}_3^-$  değeri düşük olan kuyu sayısı belirlenmiştir. Buradan elde edilen toplam kuyu sayıları birbirleri ile toplanmış ve sonuç 1 ile çarpılmıştır. Çarpımlardan elde edilen sonuçlar birbirleriyle toplanmış ve buradan korelasyon indeksi elde edilmiştir. Korelasyon indeksi hesaplamaları Tablo 17'de verilmektedir.

Tablo 17. Gümüşhacıköy-Merzifon Havzası  $\text{NO}_3^-$  ölçüm kuyularının Catastrophe modeli duyarlılık indeksleri ile adaptasyonu

Model	$\text{NO}_3^-$ (mg / L)				CI
Catastrophe Modeli	Grup	Yüksek	Orta	Düşük	70
	Yüksek	4	3	0	
	Orta	3	6	4	
	Düşük	1	2	5	
$\text{CI} = 3(4+5+6)+2(3+3+2+4)+1(1+0) = 70$					

Tablo 17’de görüldüğü üzere Catastrophe modelinin korelasyon indeksi 70 olduğu için bu model doğruluk açısından Sugeno modelinden sonra ikinci sırada yer almaktadır. Ayrıca Catastrophe modelinin korelasyon indeksi değerinin DRASTIC modeli korelasyon indeksi değeri yani 60’dan daha yüksek olduğu için Catastrophe modelinin DRASTIC modelinden daha doğru olduğu anlaşılmaktadır.

#### 4. SONUÇLAR

Bu tezde, çalışma bölgesi olarak Karadeniz Bölgesinin Amasya İli'nde bulunan Gümüşhacıköy-Merzifon Havzası seçilmiştir. DRASTIC modeli kullanılarak yeraltı suyu duyarlılık değerlendirmesi yapılmış ve duyarlılık indeksleri elde edilmiştir. Ayrıca DRASTIC modelini optimize etmek için Fuzzy ve Catastrophe modelleri kullanılmıştır. Havza için DRASTIC modelinden duyarlılık haritası, Fuzzy ve Catastrophe Modellerinden ise optimize edilmiş duyarlılık haritası elde edilmiştir. Bunlara ilaveten; korelasyon indeksi yöntemiyle DRASTIC, Fuzzy ve Catastrophe modellerinin doğrulaması yapılmıştır.

Bu tezde elde edilen başlıca sonuçlar maddeler halinde aşağıda özetlenmektedir:

- Havzanın duyarlılık haritası yeraltı suyu derinliği, beslenme, akifer ortamı, toprak ortamı, topoğrafya, doymamış bölge etkisi ve hidrolik iletkenlik parametrelerini kullanarak DRASTIC modeli ile bu parametrelerden elde edilen yedi katman Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ortamında üst üste getirilmesi ile elde edilmiştir. DRASTIC modelinden elde edilen DRASTIC indekslerine göre; üç farklı duyarlılık alanı belirlenmiştir: Yüksek (>174), Orta (118-174) ve Düşük (<118). DRASTIC modeli için CBS'den elde edilen sonuçlara göre havzanın % 13'ünün yüksek duyarlılık, % 52'sinin düşük duyarlılık ve % 35'inin orta duyarlılığa sahip olduğu belirlenmiştir. Havzanın yüksek duyarlılığı olan bölgeleri çoğunlukla havzanın ortasında bulunmaktadır. Köyler çoğunlukla havzanın orta kısmında bulunmaktadır ve bu köylerde tarım faaliyetleri çok yaygındır. Tarım faaliyetlerinden yeraltı suyuna sızan  $\text{NO}_3^-$  yeraltı sularını kirletmekte, bu yüzden yeraltı sularının kirlenmesinin önlenmesi için bu bölgelerde tarım faaliyetlerine çok dikkat edilmelidir.

- DRASTIC modelinin optimizasyonu için Fuzzy modelinin üç yöntemi olan Sugeno, Mamdani ve Larsen kullanılmıştır. Sugeno modelinin test aşamasındaki  $R^2$  değeri olan 0.79 diğer modellerin test aşamasındaki  $R^2$  değerine göre daha yüksektir, buradan Sugeno modelinin Mamdani ve Larsen Modellerine göre daha doğru olduğu anlaşılmaktadır.

- Fuzzy modellerinden elde edilen Fuzzy DRASTIC indekslerini (hesaplanan DRASTIC indeksleri) kullanarak her Fuzzy modeli için duyarlılık haritası CBS ortamında

elde edilmiştir. Fuzzy modelinin daha doğru olduğu Sugeno modeli için CBS'den elde edilen sonuçlara göre havzanın % 16'sının yüksek duyarlılık, % 61'inin düşük duyarlılık ve % 23'ünün orta duyarlılığa sahip olduğu belirlenmiştir.

- Fuzzy Modelleri olan Sugeno, Mamdani ve Larsen modellerini birbirine ve diğer modellere göre ne kadar doğru olduğunu incelemek için havzanın çeşitli noktalarında ölçülen  $\text{NO}_3^-$  değerlerini kullanarak bu modellerin doğrulaması korelasyon indeksi yöntemi ile yapılmıştır. Korelasyon indeksi değeri Sugeno modeli için 72, Mamdani modeli için 67 ve Larsen modeli için 66 elde edilmiştir. Sugeno modelinin korelasyon indeksi Mamdani ve Larsen modellerine göre daha yüksek olduğu için Sugeno modelinin Larsen ve Mamdani modellerine göre daha doğru olduğu anlaşılmıştır.

- Bu çalışmada DRASTIC modelini optimize etmek için Catastrophe modeli de kullanılmıştır. Catastrophe modelinden elde edilmiş ağırlık değerlerini kullanarak havzanın Catastrophe modeli ile optimize edilmiş duyarlılık haritası elde edilmiştir. CBS'den elde edilen sonuçlara göre havzanın % 11'inin yüksek duyarlılık, % 42'sinin orta duyarlılık ve % 47'sinin ise düşük duyarlılığa sahip olduğu belirlenmiştir. Catastrophe modelinin doğrulaması korelasyon indeksi yöntemi ile yapılmış ve bu model için korelasyon indeksi değeri 70 olarak elde edilmiştir.

- DRASTIC modelinin doğrulaması korelasyon indeksi yöntemi ile yapılmış ve bu model için korelasyon indeksi 60 olarak elde edilmiştir. Fuzzy modellerinin korelasyon indeksi DRASTIC modelinin korelasyon indeksinden daha yüksek olduğu için Fuzzy modellerinin DRASTIC modelinden daha doğru olduğu görülmektedir. Catastrophe Modelinin korelasyon indeksi de DRASTIC modelinin korelasyon indeksinden daha yüksek olduğu için Catastrophe modelinin de DRASTIC modelinden daha doğru olduğu anlaşılmaktadır.

- Catastrophe modelinin korelasyon indeksi Sugeno modelinin korelasyon indeksi ile mukayese edildiğinde Catastrophe modeli doğruluk açısından Sugeno modelinden sonra ikinci sırada yer almaktadır.

## 5. ÖNERİLER

Yeraltı suyu duyarlılığı değerlendirmesi ile ilgili öneriler maddeler halinde aşağıda özetlenmektedir:

- DRASTIC modelinin optimizasyonu için başka modeller kullanılabilir. Örneğin; yapay sinir ağları ve Nero-Fuzzy modelleri, daha doğru sonuçlar elde etmek için bu modellerin sonuçları birbiriyle mukayese edilebilir.

- Fuzzy modellerini uygulamak için yeterli sayıda  $\text{NO}_3^-$  verilerinin bulunması gerekir. Ayrıca DRASTIC modeli, Fuzzy modeli ve Catastrophe modellerinin doğrulamasını yapmak için havzanın çeşitli noktalarında  $\text{NO}_3^-$  konsantrasyonları ölçülmelidir. Bu yüzden Gümüşhacıköy-Merzifon Havzasının daha çok noktasında  $\text{NO}_3^-$  konsantrasyonu ölçümü yapılmalıdır.

- Köylerde tarım faaliyetlerinden dolayı ve kentsel alanlardaki evsel ve endüstriyel atıksulardan yeraltına sızan  $\text{NO}_3^-$  yeraltı sularını kirletmektedir. Bu yüzden havzanın kirlilik potansiyeli yüksek olan alanlarda tarım faaliyetlerine ve kentsel ve endüstriyel gelişime daha fazla dikkat edilmelidir.

- Gümüşhacıköy İlçesi havzanın batısında olan Gümüşhacıköy Akiferinin beslenme alanında yer almaktadır. Kentsel, endüstriyel ve tarım faaliyetlerden dolayı Gümüşhacıköy bölgesinden akifere  $\text{NO}_3^-$  sızmaktadır. Havzadaki yeraltısuyunun akışı batıdan doğuya olduğu için ve Gümüşhacıköy Akiferinin beslenme alanında kirlenmesi neticesinde kirliliğin akiferin batısından doğusuna transfer edilmesi nedeniyle Gümüşhacıköy bölgesindeki tarım, kentsel ve endüstriyel faaliyetlere daha çok dikkat edilmelidir.

- İçme suyu kuyularının havzanın düşük duyarlılığa sahip olan bölgelerinde açılması daha iyidir.

- Atıksuların akarsulara doğrudan atılmasından kaçınılmalıdır.

## 6. KAYNAKLAR

- Al-Abadi, A. ve Shahid, S., 2015. A Comparison Between Index of Entropy and Catastrophe Theory Methods for Mapping Groundwater Potential in an Arid Region, *Environmental Monitoring and Assessment*, 187-576.
- Aller, L., Bennett, T., Lehr, J. H., Petty, R. J. ve Hacket, G., 1987. DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Groundwater Pollution Potential Using Hydrogeologic Setting, EPA 600/2-87-035. Ada, Oklahoma, U.S. Environmental Protection Agency.
- Almasri, M. N., 2008. Assessment of Intrinsic Vulnerability to Contamination for GazaCoastal Aquifer, *Journal of Environmental Management*, 88, 4, 577–593.
- Amini, M., Afyuni, M., Fathianpour, N., Khademi, H. ve Flühler, H., 2005. Continuous Soil Pollution Mapping Using Fuzzy Logic and Spatial Interpolation, *Geoderma*, 124, 3–4, 223–233.
- Asghari Moghaddam, A., Fijani, E. ve Nadiri, A. A., 2010. Groundwater Vulnerability Assessment Using GIS-based DRASTIC Model in the Bazargan and Poldasht Plains, Iran, *Journal of Environmental Studies*, 35, 52, 16-18.
- Azad Shahraki, F. A. D., Aghasi, A. A. V., Azad Shahraki, F. ve Zarei, A. R., 2010. Vulnerability Mapping of the Hashtgerd Aquifer Using DRASTIC Method and Sensitivity Analysis, *Water and Wastewater*, 21, 2, 74, 52-60.
- Babiker, I. S., Mohamed, M.M.A., Hiyama, T. ve Kato, K., 2005. A GIS-based DRASTIC Model for Assessing Aquifer Vulnerability in Kakamigahara, Heights, Gifu Prefecture, Central Japan, *Science of the Total Environment*, 345, 1-3, 127–140.
- Barzegar, R., Asghari Moghaddam, A. ve Baghban, H., 2016. A Supervised Committee Machine Artificial Intelligent for Improving DRASTIC Method to Assess Groundwater Contamination Risk: A Case Study from Tabriz Plain Aquifer, Iran, *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 30, 3, 883-899.
- Bezdek, James C., 1981. Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms, Plenum Press, New York.
- Bouwer, H., 1978. Groundwater Hydrology, Mc Graw-Hill Pub. U.S.A.

- Cheng, C.H., Liu, Y.H. ve Lin, Y., 1996. Evaluating a Weapon System Using Catastrophe Series based on Fuzzy Scales, In Fuzzy Systems Symposium, Soft Computing in Intelligent Systems and Information Processing, Proceedings of the 1996 Asian 212–217.
- Chitsazan, M. ve Akhtari, Y., 2009. A GIS-based DRASTIC Model for Assessing Aquifer Vulnerability in Kherran Plain, Khuzestan, Iran, Water Resources Management, 23, 6, 1137-1155.
- Chiu, S., 1994. Fuzzy Model Identification Based on Cluster Estimation, Journal of Intelligent and Fuzzy Systems, 2, 3, 267-278.
- Dixon, B., Scott, H. D., Steele, K. F. ve Dixon, J. C., 2002. Prediction of Aquifer Vulnerability to Pesticides Using Fuzzy Rule-based Models at the Regional Scale, Physical Geography, 23, 2, 130-153.
- Dixon, B., 2005a. Applicability of Neuro-Fuzzy Techniques in Predicting Groundwater Vulnerability: a GIS-based Sensitivity Analysis, Journal of Hydrology, 309, 17-38.
- Dixon, B., 2005b. Groundwater Vulnerability Mapping: A GIS and Fuzzy Rule-based Integrated Tool, Journal of Applied Geography, 25, 327-347.
- Dixon, B., 2009. A Case Study Using SVM, NN and Logistic Regression in a GIS to Predict Wells Contaminated with Nitrate, Hydrogeology Journal, 17, 1507- 1520.
- Ersoy, A., 2007. Gümüşhacıköy (Amasya) Akiferi'nin Yeraltısuyu Akım Modeli, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Ersoy, A. ve Ersoy, H., 2008. Stuyfzand Hidrojeokimyasal Modelleme Sistemi: Gümüşhacıköy (Amasya) Akiferi Örneği, Türkiye, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 32, 1, 37-51.
- Ersoy, A. ve Gultekin, F., 2013. DRASTIC-based Methodology for Assessing Groundwater Vulnerability in the Gümüşhacıköy and Merzifon Basin, Amasya, Turkey, Earth Sciences Research Journal, 17, 1, 33-40.
- Ferrara, V., 1990. Carta Della Vulnerabilità All'inquinamento Dell'acquifero Vulcanico Dell'Etna Alla Scala 1:50000. C.N.R. – GNDCI. S.EL.CA., Firenze.
- Fijani, E., Nadiri, A. A., Asghari Moghaddam, A., Tsai, F. ve Dixon, B., 2013. Optimization of DRASTIC Method by Supervised Committee Machine Artificial Intelligence to Assess Groundwater Vulnerability for Maragheh-Bonab Plain Aquifer, Iran, Journal of Hydrology, 503, 89-100.



- Fritch, L., McKnight, C., Yelderman, J. R., Jeff G. ve Todd, G., 2000. An Aquifer Vulnerability Assessment of the Paluxy Aquifer, Central Texas, USA, Using GIS and a Modified DRASTIC Approach, Environmental Management, 25, 3, 337-345.
- Gogu, R. C. ve Dassargues, A., 2000. Current Trends and Future Challenges in Groundwater Vulnerability Assessment Using Overlay and Index Methods, Environmental Geology, 39, 6, 549–559.
- Grande, J. A., Manuel Andujar, J., Aroba, J., Beltran, R., de la Torre, M. L., Ceron, J. C. ve Gomez, T. 2010. Fuzzy Modeling of the Spatial Evolution of the Chemistry in the Tinto River (SW Spain), Journal of Water Resources Management, 24, 12 , 3219-3235.
- Guo, H., Zhang, B., Li, Y., Berner, Z., Tang, X., Norra, S. ve Stueben, D., 2011. Hydrogeological and Biogeochemical Constrains of Arsenic Mobilization in Shallow Aquifers from the Hetao Basin, Inner Mongolia. Environmental Pollution, 159, 4, 876-883.
- Hamid, S. S., Pinelli, J. P., Chen, S. C. ve Gurley, K., 2011. Catastrophe Model-based Assessment of Hurricane Risk and Estimates of Potential Insured Losses for the State of Florida, Natural Hazards Review, 12, 4.
- Hill, M. C. ve Tiedeman, C. R., 2006. Effective Groundwater Model Calibration: With Analysis of Data, Sensitivities, Predictions, and Uncertainty, John Wiley and Sons Inc, Hoboken, New Jersey, 455 p.
- Holzbecher, E. ve Sorek, S., 2006. Numerical Models of Groundwater Flow and Transport. Encyclopedia of Hydrological Sciences, Edited by M G Anderson. John Wiley and Sons, Ltd. 2401-2414.
- Hongxing, L., Chen, P. C. P. ve Huang, H. P., 2000. Fuzzy Neural Intelligent System, Mathematical Foundation and the Application in Engineering, CRC Press LLC, Boca Raton, 392 p.
- Kord, M. ve Moghaddam, A. A., 2014. Spatial Analysis of Ardabil Plain Aquifer Potable Groundwater Using Fuzzy Logic, Journal of King Saud University –Science, 26, 2, 129–140.
- König, L. F. ve Weiss, J. L., 2009. Groundwater: Modelling, Management, and Contamination, Nova Science Publishers Inc, New York, 422 pp.
- Larsen, P. M., 1980. Industrial Applications of Fuzzy Logic Control, International Journal of Man-Machine Studies, 12, 1, 3-10.
- Lee, S. Y. ve Gilkes, R. J., 2005. Groundwater Geochemistry and Composition of Hardpans in Southwestern Australian Regolith, Geoderma, 126,1-2, 59-84.

- Mamdani, E. H. ve Assilian, S., 1975. An Experiment in Linguistic Synthesis with a Fuzzy Logic Controller, International Journal of Man-Machine Studies, 7, 1, 1-13.
- Mamdani, E. H., 1976. Advances in the Linguistic Synthesis of Fuzzy Controllers, International Journal of Man-Machine Studies, 8, 6, 669-678.
- Margat, J., 1968. Vulnerability des Nappes d'eau Souterraine a la Pollution [Ground water vulnerability to contamination]. Bases de la Cartographic, (Doc.) BRGM, 68 SGL 198 HYD, Orleans, France.
- Mertens, M. ve Huwe, B., 2002. FuN-Balance: A Fuzzy Balance Approach for the Calculation of Nitrate Leaching with Incorporation of Data Imprecision, Geoderma, 109, 3-4, 269-287.
- Mettler, S., Abdelmoula, M., Hoehn, E., Schoenenberger, R., Weidler, P. ve Gunten, U. V., 2005. Characterization of Iron and Manganese Precipitates from an in Situ Groundwater Treatment Plant, Groundwater, 39, 6, 921-930.
- Nadiri, A. A., Chitsazan, N., Tsai, F. T. C. ve Moghaddam, A. A., 2014. Bayesian Artificial Intelligence Model Averaging for Hydraulic Conductivity Estimation, Journal of Hydrologic Engineering, 19, 520-532.
- Nadiri, A. A., Gharekhani, M. ve Asghari Moghaddam, A., 2017. Assessment of Groundwater Vulnerability Using Supervised Committee to Combine Fuzzy Logic Models, Environmental Science and Pollution Research, 24, 9, 8562-8577.
- Panagopoulos, G., Antonakos, A. ve Lambrakis, N., 2006. Optimization of the DRASTIC Method for Groundwater Vulnerability Assessment via the Use of Simple Statistical Methods and GIS, Hydrogeology Journal, 14, 6, 894- 911.
- Perrin, J., Pochon, A., Jeannin, P. Y. ve Zwahlen, F., 2004. Vulnerability Assessment in Karstic Areas: Validation by Field Experiments, Environmental Geology, 46, 2, 237-245.
- Piscopo, G., 2001. Groundwater Vulnerability Map, Explanatory Notes, Castlereagh Catchment, NSW Department of Land and Water Conservation,
- Rahman, A., 2008. A GIS-based DRASTIC Model for Assessing Groundwater Vulnerability in Shallow Aquifer in Aligarh, India, Applied Geography, 28, 1, 32-53.
- Sadeghfam, S., Hassanzadeh, Y., Nadiri, A. A. ve Khatibi, R., 2016. Mapping Groundwater Potential Field Using Catastrophe Fuzzy Membership Functions and Jenks Optimization Method: A Case Study of Maragheh-Bonab Plain, Iran, Environmental Earth Sciences, 75, 545.

- Samake, M., Tang, Z., Hlaing, W., M'Bue, I. ve Kasereka, K., 2010. Assessment of Groundwater Pollution Potential of the Datong Basin, Northern China, Journal of Sustainable Development, 3, 2, 140-152.
- Stigter, T. Y., Ribeiro, L. ve Carvalho Dill, A. M. M., 2006. Evaluation of An Intrinsic and A Specific Vulnerability Assessment Method in Comparison with Groundwater Salinisation and Nitrate contamination Levels in Two Agricultural Regions in the South of Portugal, Hydrogeology Journal 14, 79-99.
- Sugeno, M., 1985. Industrial Application of Fuzzy Control. North-Holland. New York, 269 pp.
- Thom, R., 1972. Stabilité Structurelle et Morphogénèse, Benjamin, New York.
- Todd, D. K. ve Mays, L.W., 2005. Groundwater Hydrology. Third Ed., John Wiley and Sons Inc, U.S.A., 636 p.
- Tutmez, B. ve Hatipoglu, Z., 2010. Comparing Two Data Driven Interpolation Methods for Modeling Nitrate Distribution in Aquifer, Ecological Informatics, 5, 311–315.
- URL-1, [https://ccrma.stanford.edu/~jos/NumericalInt/Lumped\\_vs\\_Distributed\\_Systems.html](https://ccrma.stanford.edu/~jos/NumericalInt/Lumped_vs_Distributed_Systems.html). 1 Kasım 2018.
- Vrba, J. ve Zaporozec, A., 1994. Guidebook on Mapping Groundwater Vulnerability, International Contributions to Hydrogeology, Verlag Heinz Heise GmbH and Co. KG.
- Wang, H. F. ve Anderson, M. P., 1982. Introduction to Ground Water Modeling Finite-Difference and Finite-Element Methods, W. H. Freeman, San Francisco, 256 p.
- Wang, W., Liu, S., Zhang, S. ve Chen, J., 2011. Assessment of a Model of Pollution Disaster in Near-shore Coastal Waters Based on Catastrophe Theory, Ecological Modelling, 222, 2, 307–312.
- Xiao-jun, W., Jian-yun, Z., Shahid, S., Xing-hui, X., Rui-min, He. ve Man-ting, S., 2014. Catastrophe Theory to Assess Water Security and Adaptation Strategy in the Context of Environmental Change, Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 19, 4, 463-477.
- Zadeh, L. A., 1965. Fuzzy Sets, Journal of Information and Control, 8, 338-353.
- Zhang, T.J., Ren, S.X., Li, S.G., Zhang, T.C. ve Xu, H.J., 2009. Application of the Catastrophe Progression Method in Predicting Coal and Gas Outburst. Int J Min Sci Technol, 19, 430–434.

## 7. EKLER

Ek Tablo 1. Gümüşhacıköy-Merzifon Havzasının 2016 yılı Haziran ayına ait yeraltı suyu derinlik ve dereceleri

Kuyu NO	Kuyu koordinatı		Yeraltı suyu derinliği (m)	Derece
	X	Y		
15981/A	247781	4496930	-0.22	10
30715	703372	4521422	-1.00	10
61817	686329	4513627	-2.18	9
21378	257838	4495559	-3.32	9
1714	702460	4520230	-4.20	9
58431	701500	4522450	-4.64	7
16883	254663	4495660	-5.53	7
53806	693082	4522721	-6.75	7
20093	253191	4495655	-7.86	7
53056	685959	4522881	-8.00	7
52427	734194	4513556	-8.70	7
38710	744900	4494850	-9.25	5
25129	733975	4514477	-9.25	5
38227	749572	4495140	-11.10	5
58802	692300	4517900	-11.35	5
18743	695811	4519934	-11.65	5
61499	697656	4523677	-12.67	5
16047	684625	4528780	-14.00	5
17158	696091	4524188	-15.30	3
14579	685626	4527109	-18.53	3
58283	710359	4528323	-18.62	3
15215	684735	4523348	-21.10	3
58805	706580	4527180	-21.67	3
20546	688850	4526250	-21.76	3
58804	692980	4525280	-53.65	1
	706103	4527776	-86.90	1

Ek Tablo 2. Gümüşhacıköy ve Merzifon Akiferleri ortamının dereceleri

Kuyu NO	Kuyu koordinatı		Derece	Kuyu NO	Kuyu koordinatı		Derece
	X	Y			X	Y	
18743	695811	4519934	5	22191	689314	4525224	10
18927	710333	4528366	4	28798	684735	4523348	7
57447	692658	4519406	5	58752	684350	4523600	7
16047	684625	4528780	7	28751	696682	4524393	6
56606	701358	4522043	4	20849	697900	4523250	10
50525	686181	4525318	5	50228	691475	4523509	6
58710	699852	4519412	6	50362	692060	4522302	3
52420	692378	4518479	5	52423	701807	4521646	2
53029	696605	4520051	6	20854	690154	4517179	5
53054	686938	4523813	5	33995	691116	4517743	3
20850	698356	4523896	7	50357	691421	4518165	4
58849	692629	4518623	10	21860	692981	4524352	4
58388	601900	4523750	5	14583	687752	4526171	7
20853	690564	4517533	4	16048	689411	4525862	6
41281	694989	4521023	3	50527	686919	4526613	5
58850	693053	4518696	5	17160	694856	4522900	4
53806	693082	4522721	5	53059	694415	4524620	5
53807	693521	4522471	5	15215	684395	4523498	7
56905	689476	4516499	7	14579	685626	4527109	6
27386	702800	4521050	5	50527	686919	4526613	5
20175	689843	4523063	6	17158	696091	4524188	7
20176	689118	4524584	5	22162	700439	4522478	6
53058	694229	4523830	5	22160	702307	4522292	5
53055	688063	4523562	5	56609	702589	4521892	2
53030	695140	4519394	5	56607	702069	4522718	4
52421	693250	4519875	7	16048	689411	4525862	2
59155	686601	4524524	5	30714	703597	4520651	2

Ek Tablo 3. Gümüşhacıköy-Merzifon Havzası toprak ortamı dereceleri

Kuyu NO	Kuyu koordinatı		Derece	Kuyu NO	Kuyu koordinatı		Derece
	X	Y			X	Y	
18743	695811	4519934	3	22191	689314	4525224	9
18927	710333	4528366	3	28798	684735	4523348	3
57447	692658	4519406	3	58752	684350	4523600	10
16047	684625	4528780	10	28751	696682	4524393	5
56606	701358	4522043	9	20849	697900	4523250	3
50525	686181	4525318	7	50228	691475	4523509	3
58710	699852	4519412	3	50362	692060	4522302	3
52420	692378	4518479	8	52423	701807	4521646	3
53029	696605	4520051	3	20854	690154	4517179	10
53054	686938	4523813	5	33995	691116	4517743	10
20850	698356	4523896	3	50357	691421	4518165	3
58849	692629	4518623	3	21860	692981	4524352	3
58388	601900	4523750	3	14583	687752	4526171	5
20853	690564	4517533	3	16048	689411	4525862	3
41281	694989	4521023	3	50527	686919	4526613	3
58850	693053	4518696	9	17160	694856	4522900	3
53806	693082	4522721	3	53059	694415	4524620	3
53807	693521	4522471	9	15215	684395	4523498	3
56905	689476	4516499	10	14579	685626	4527109	10
27386	702800	4521050	9	50527	686919	4526613	3
20175	689843	4523063	9	17158	696091	4524188	9
20176	689118	4524584	3	22162	700439	4522478	3
53058	694229	4523830	3	22160	702307	4522292	3
53055	688063	4523562	3	56609	702589	4521892	3
53030	695140	4519394	3	56607	702069	4522718	3
52421	693250	4519875	3	16048	689411	4525862	3
59155	686601	4524524	4	30714	703597	4520651	3

Ek Tablo 4. Gümüşhacıköy-Merzifon Havzası doymamış bölge ortamı dereceleri

Kuyu NO	Kuyu koordinatı		Derece	Kuyu NO	Kuyu koordinatı		Derece
	X	Y			X	Y	
18743	695811	4519934	8	22191	689314	4525224	6
18927	710333	4528366	8	28798	684735	4523348	6
57447	692658	4519406	4	58752	684350	4523600	6
16047	684625	4528780	5	28751	696682	4524393	5
56606	701358	4522043	5	20849	697900	4523250	4
50525	686181	4525318	5	50228	691475	4523509	2
58710	699852	4519412	2	50362	692060	4522302	2
52420	692378	4518479	5	52423	701807	4521646	2
53029	696605	4520051	5	20854	690154	4517179	10
53054	686938	4523813	5	33995	691116	4517743	8
20850	698356	4523896	5	50357	691421	4518165	4
58849	692629	4518623	6	21860	692981	4524352	3
58388	601900	4523750	2	14583	687752	4526171	8
20853	690564	4517533	4	16048	689411	4525862	3
41281	694989	4521023	5	50527	686919	4526613	7
58850	693053	4518696	4	17160	694856	4522900	2
53806	693082	4522721	4	53059	694415	4524620	4
53807	693521	4522471	8	15215	684395	4523498	7
56905	689476	4516499	8	14579	685626	4527109	10
27386	702800	4521050	6	50527	686919	4526613	7
20175	689843	4523063	8	17158	696091	4524188	7
20176	689118	4524584	1	22162	700439	4522478	1
53058	694229	4523830	2	22160	702307	4522292	2
53055	688063	4523562	5	56609	702589	4521892	2
53030	695140	4519394	2	56607	702069	4522718	5
52421	693250	4519875	2	16048	689411	4525862	3
59155	686601	4524524	4	30714	703597	4520651	4

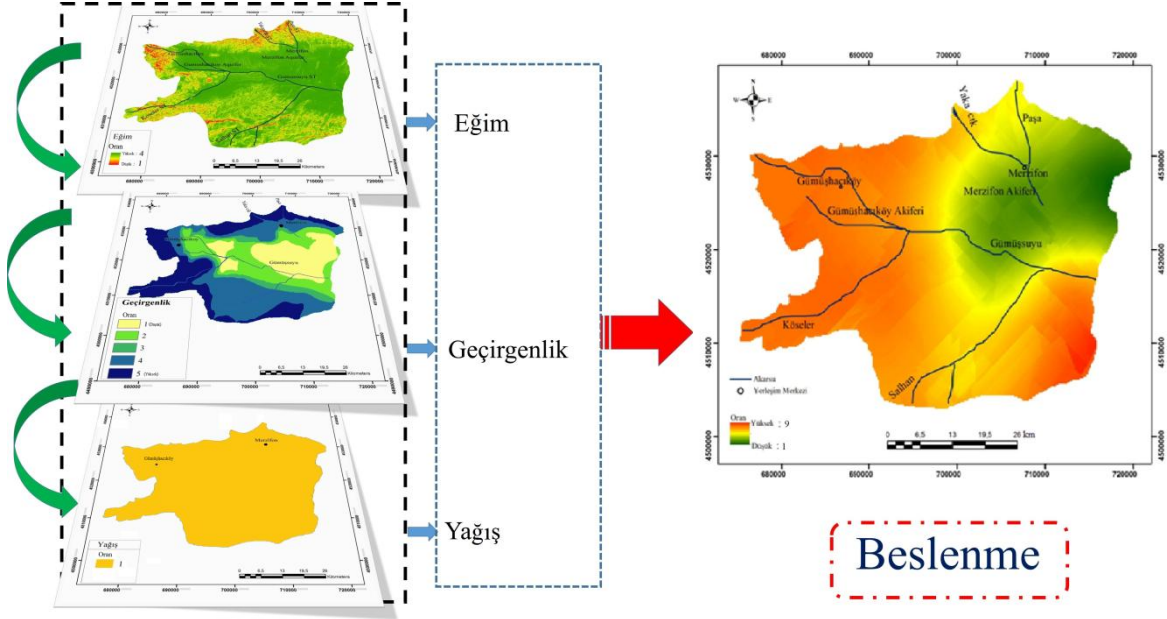
Ek Tablo 5. Gümüşhacıköy-Merzifon Havzası hidrolik iletkenlik değeri ve dereceleri

Kuyu NO	Kuyu koordinatı		k (m/gün)	Derece
	X	Y		
22191	689314	4525224	15.4	4
20798	684735	4523348	7.1	2
58752	684350	4523600	0.9	1
20751	696682	4524393	14	4
20849	697900	4523250	1.8	1
50228	691475	4523509	1.2	1
50362	692060	4522302	2.1	1
52423	701807	4521646	3.1	1
20854	690154	4517179	7.5	2
33995	691116	4517743	9	2
50357	691421	4518165	14	4
21860	692981	4524352	12.1	4
14583	687752	4526171	7.9	2
16048	689411	4525862	4	2
50527	686919	4526613	7	2
17160	694856	4522900	3.2	1
53059	694415	4524620	13	4
15215	684395	4523498	8.2	2
14579	685626	4527109	4.95	2
50527	686919	4526613	7	2
17158	696091	4524188	12	4
22162	700439	4522478	2.1	1
22160	702307	4522292	2	1
56609	702589	4521892	1.1	1
56607	702069	4522718	2.8	1
16048	689411	4525862	4	2
30714	703597	4520651	3.8	1

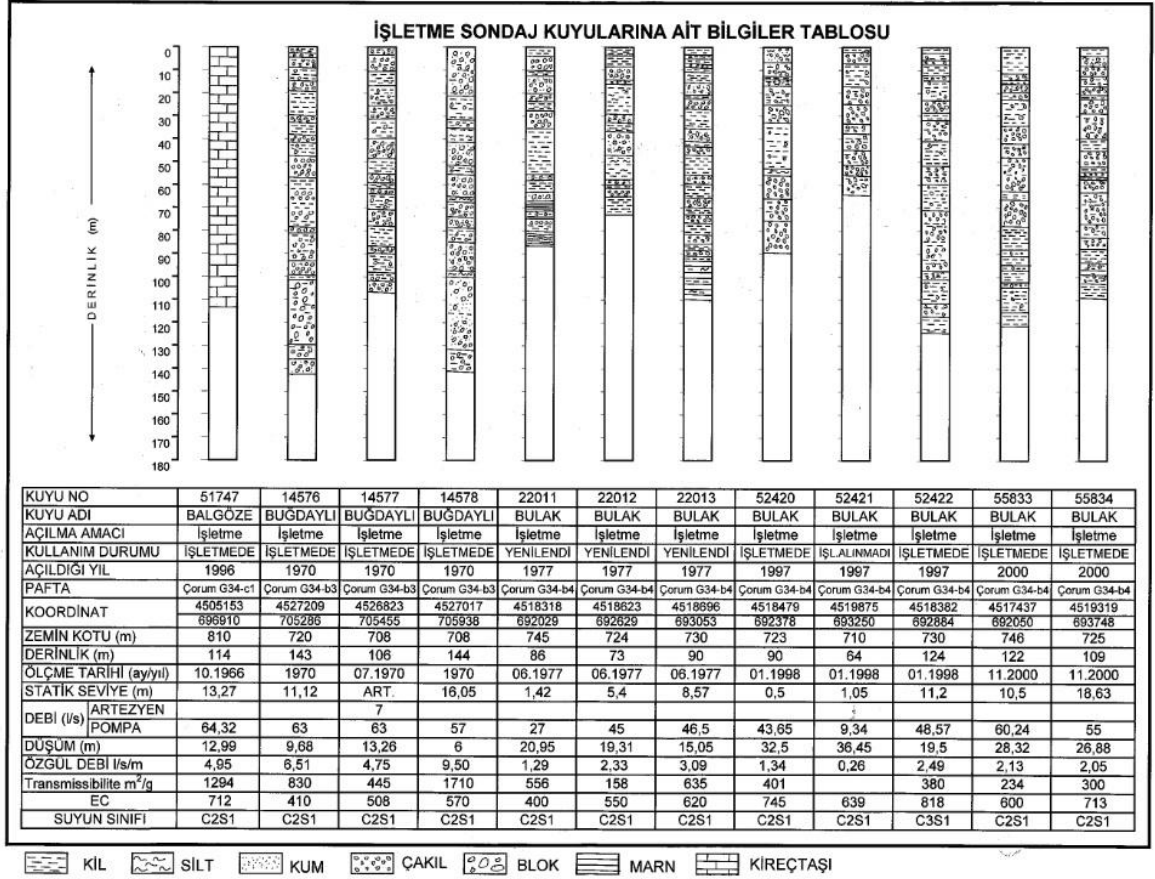


Ek Tablo 5'in devamı

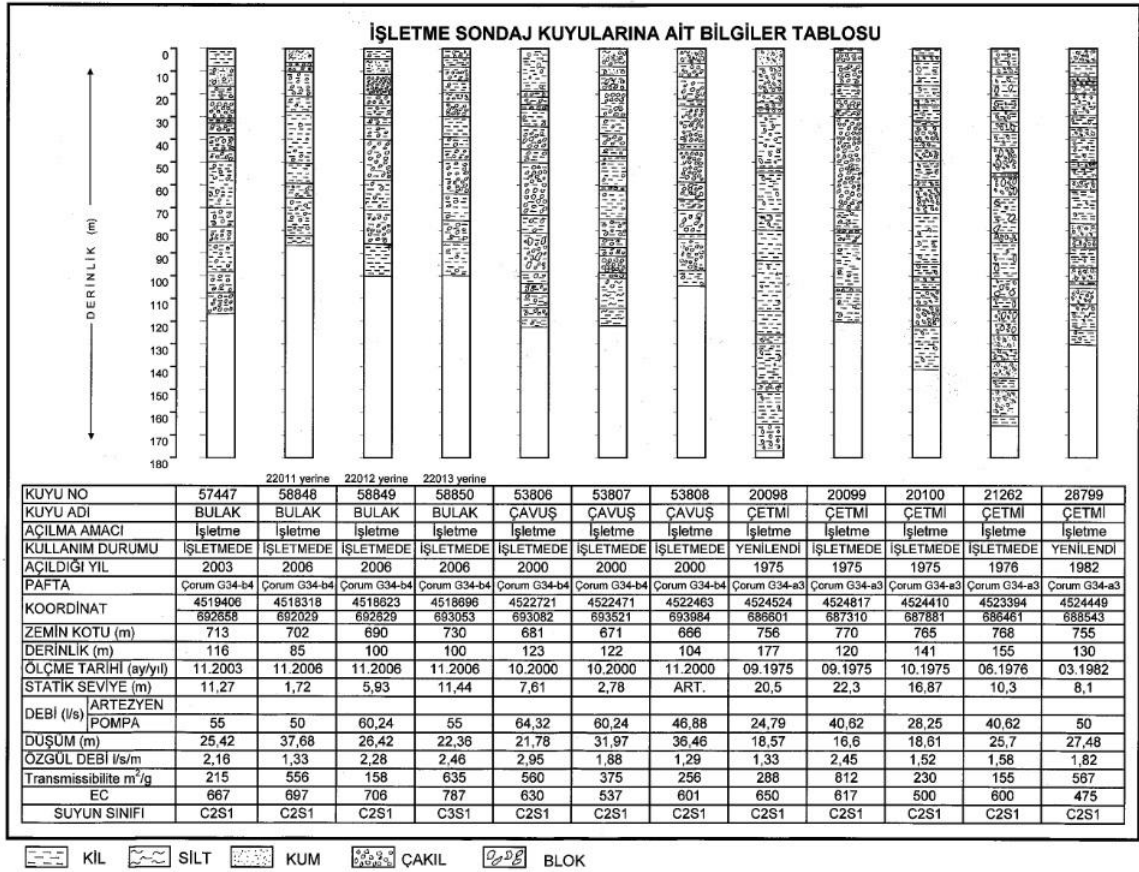
Kuyu NO	Kuyu koordinatı		k (m/gün)	Derece
	X	Y		
18743	695811	4519934	12.2	4
18927	710333	4528366	8.4	2
57447	692658	4519406	7.4	2
16047	684625	4528780	10	2
56606	701358	4522043	4	2
50525	686181	4525318	1.53	1
58710	699852	4519412	1.2	1
52420	692378	4518479	14.5	4
53029	696605	4520051	0.8	1
53054	686938	4523813	9.2	2
20850	698356	4523896	2.2	1
58849	692629	4518623	4.2	2
58388	601900	4523750	2.9	1
20853	690564	4517533	4.1	2
41281	694989	4521023	6.2	2
58850	693053	4518696	11.9	2
53806	693082	4522721	10.2	2
53807	693521	4522471	8.8	2
56905	689476	4516499	9.2	2
27386	702800	4521050	4.2	2
20175	689843	4523063	7.9	2
20176	689118	4524584	16.6	4
53058	694229	4523830	3.8	1
53055	688063	4523562	7.5	2
53030	695140	4519394	4.5	2
52421	693250	4519875	0.9	1
59155	686601	4524524	8.1	2



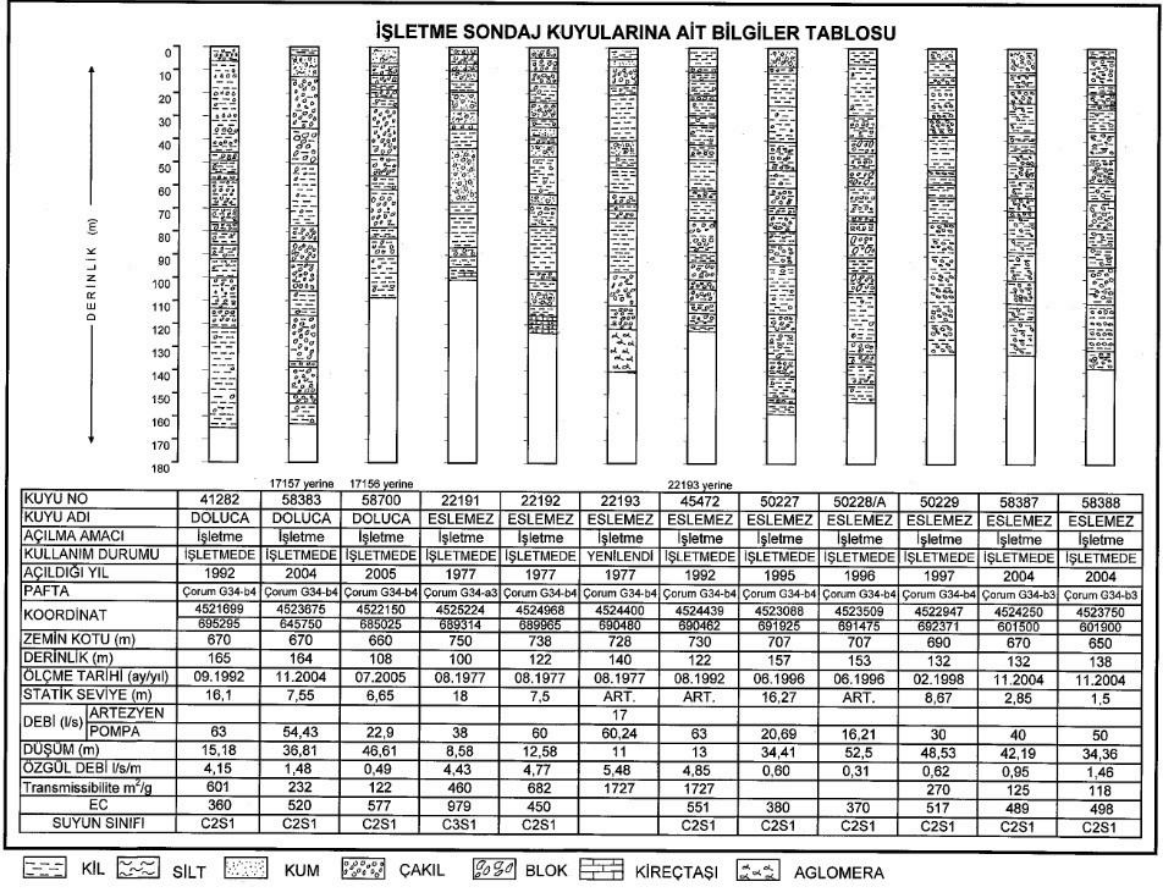
Ek Şekil 1. Net beslenme katmanının akış diyagramı



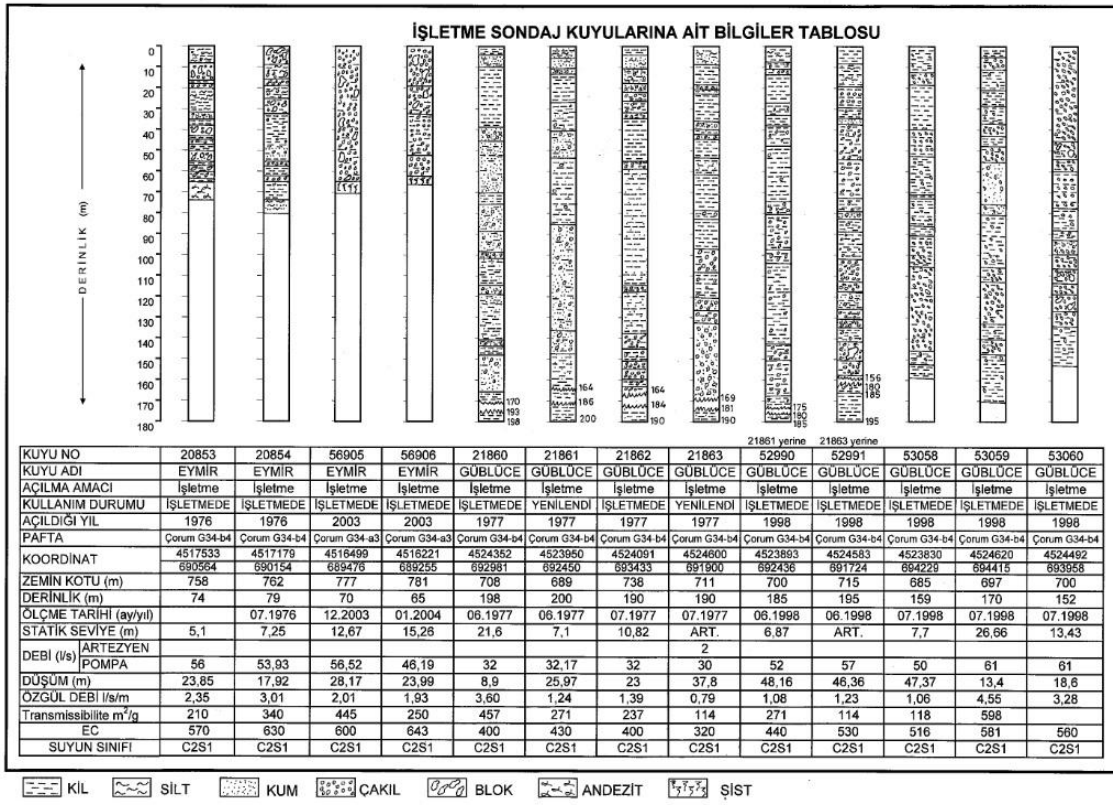
Ek Şekil 2. Gümüşhacıöy-Merzifon Havzasının kuyu logları



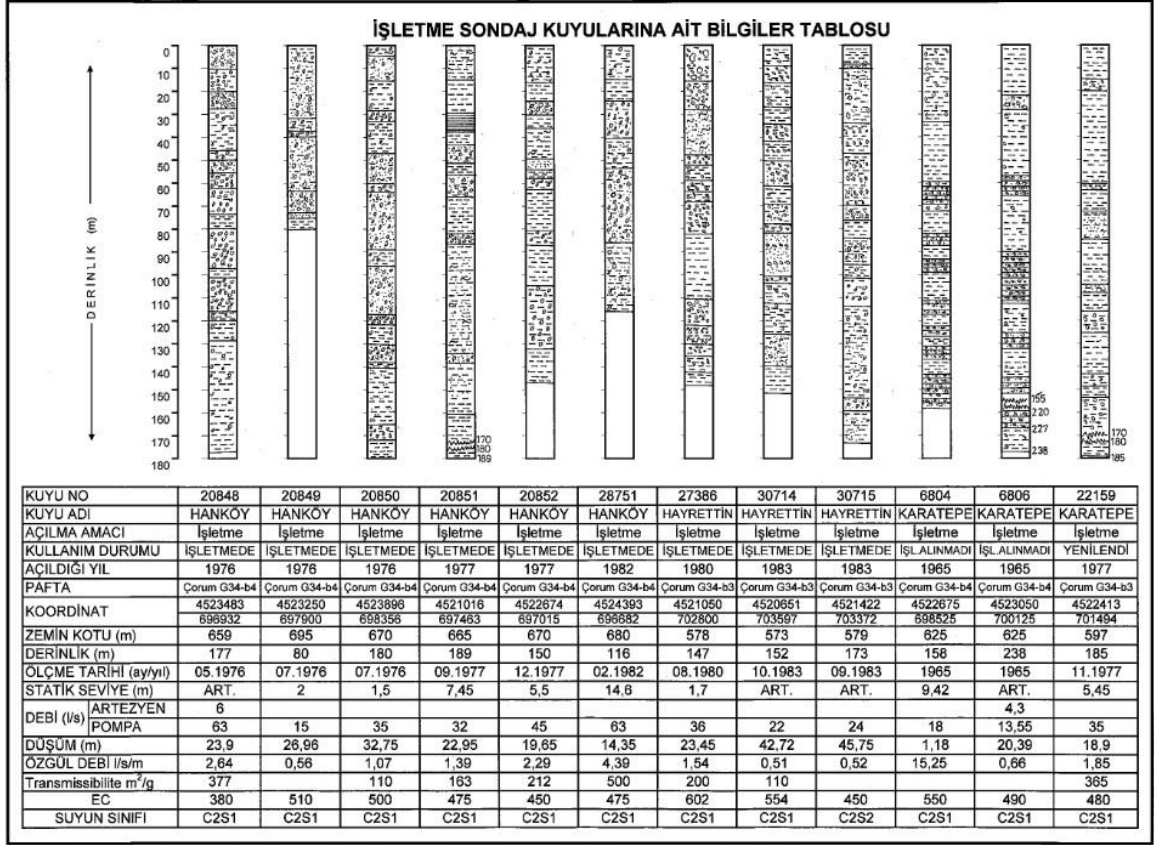
Ek Şekil 3. Gümüşhacıöy-Merzifon Havzasının kuyu logları



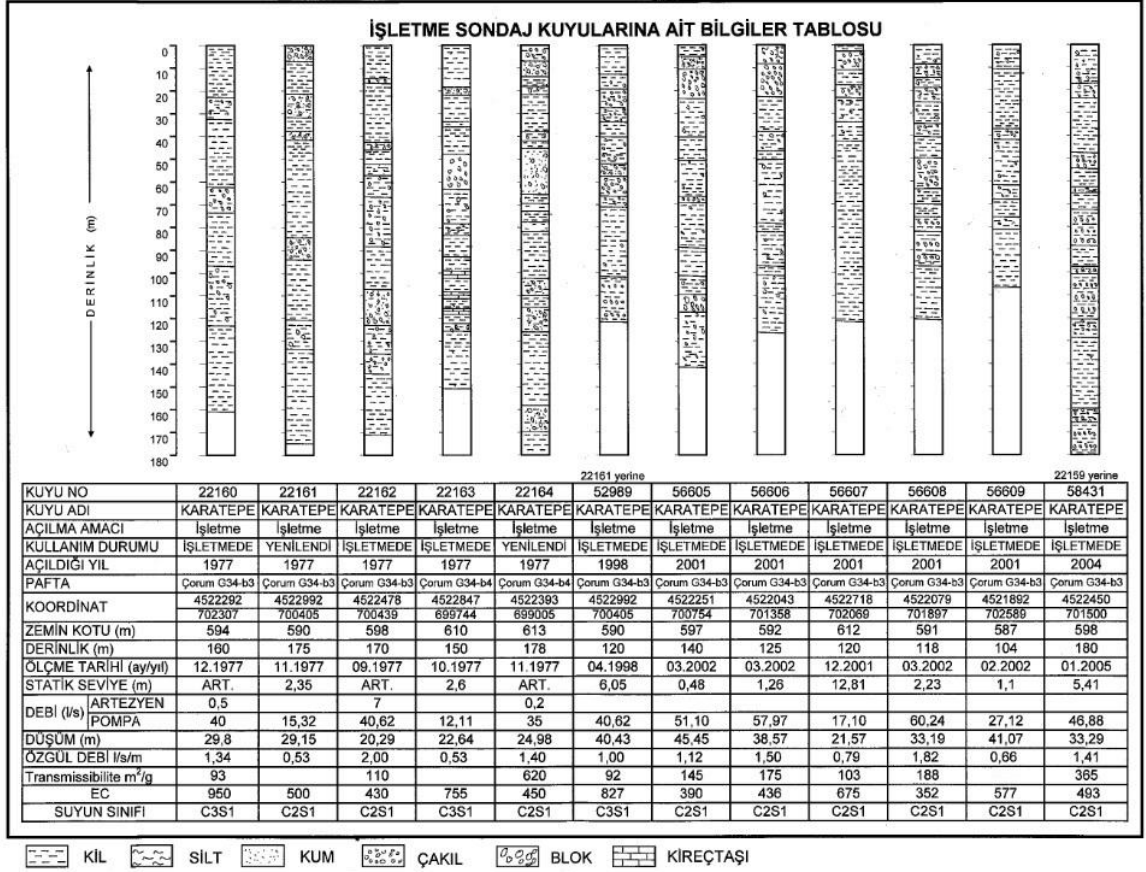
Ek Şekil 4. Gümüşhacıöy-Merzifon Havzasının kuyu logları



Ek Şekil 5. Gümüşhacıöy-Merzifon Havzasının kuyu logları

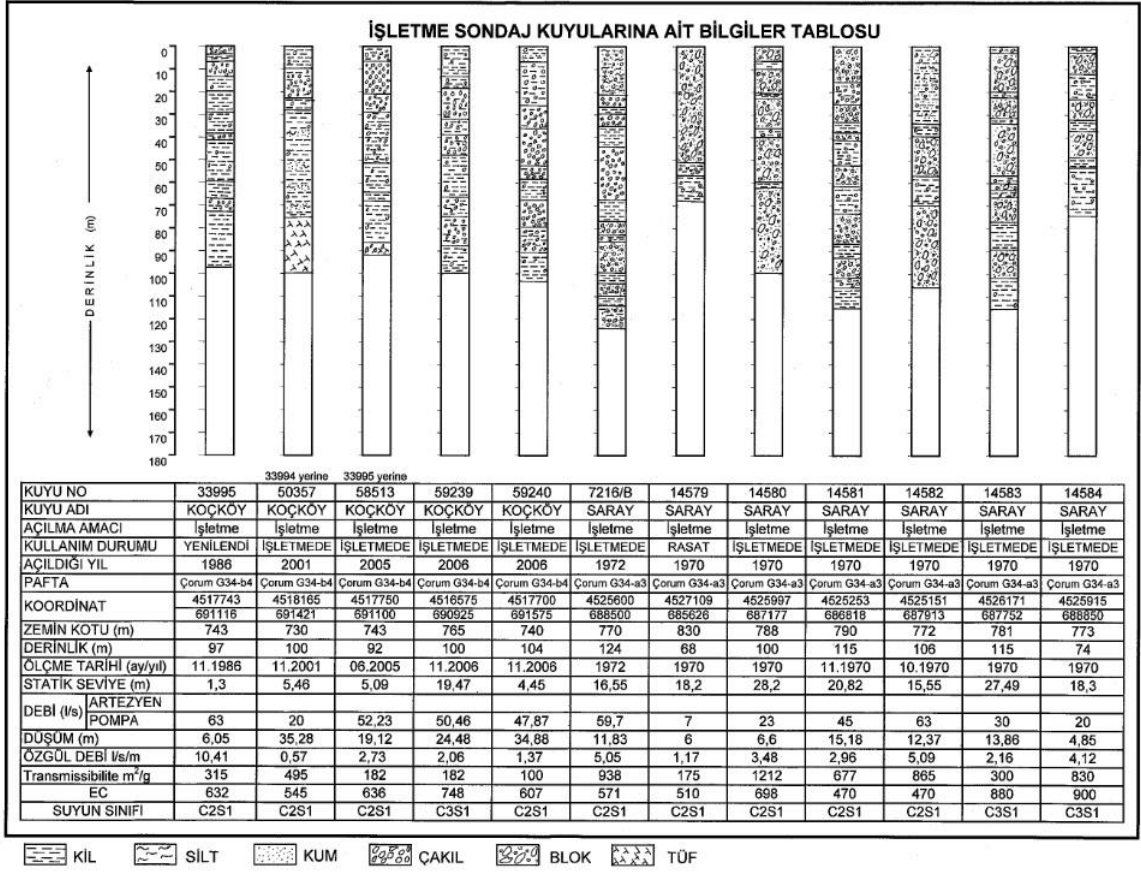


Ek Şekil 6. Gümüşhacıöy-Merzifon Havzasının kuyu logları

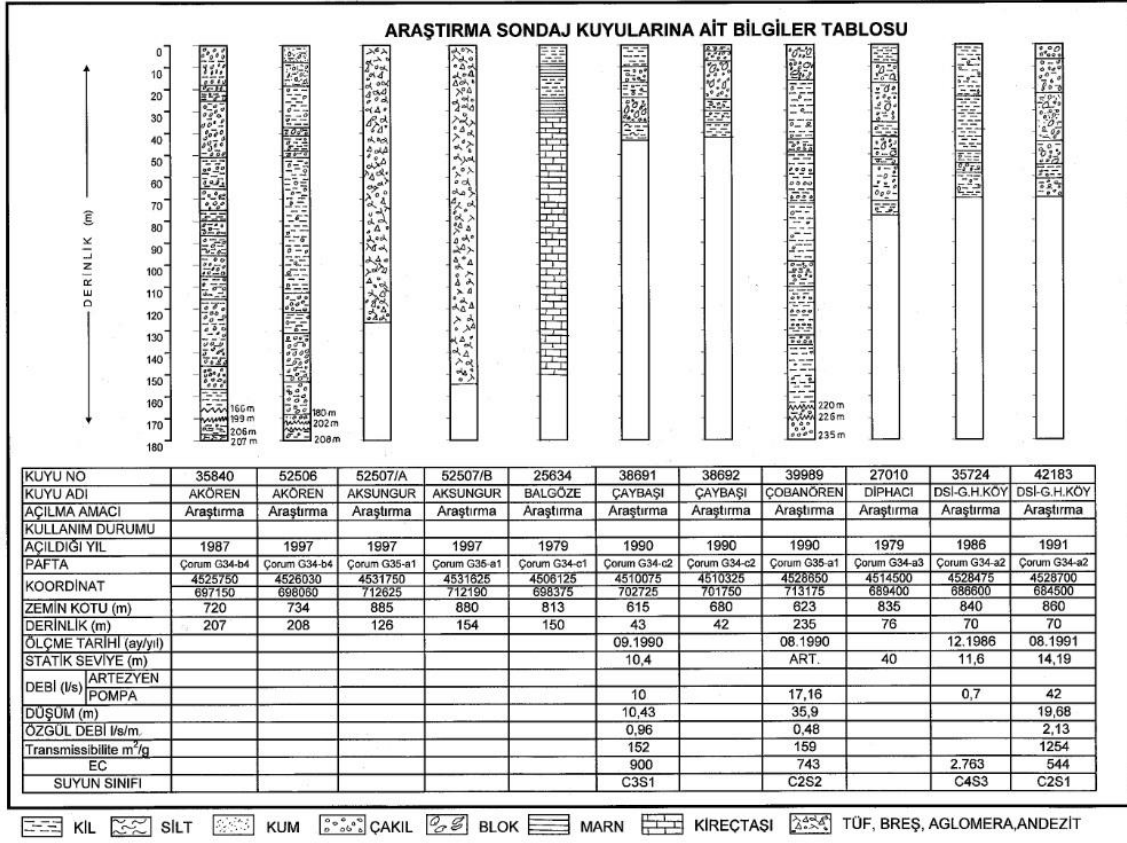


Ek Şekil 7. Gümüşhacıöy-Merzifon Havzasının kuyu logları





Ek Şekil 8. Gümüşhacıöy-Merzifon Havzasının kuyu logları



Ek Şekil 9. Gümüşhacıöy-Merzifon Havzasının kuyu logları

## ÖZGEÇMİŞ

1980 yılında Tabriz’de doğdu. 1998 yılında girdiği Tabriz Azad Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden 2003 yılında mezun oldu. 2007 yılında başladığı Mahabad Azad Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Yüksek Lisans öğrenimini 2009 yılında tamamladı. 2011 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Doktora öğrenimine başladı. Yabancı dili İngilizce olup, C seviyesidir.

