



**T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**SİLOPİ OVASI'NIN (ŞIRNAK) YERALTI SUYU KİRLENME
POTANSİYELİ'NİN DRASTIC YÖNTEMİ KULLANILARAK
BELİRLENMESİ**

Muhammet ECE

**Mayıs-2025
BATMAN**

**T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**SİLOPİ OVASI'NIN (ŞIRNAK) YERALTI SUYU KİRLENME
POTANSİYELİ'NİN DRASTIC YÖNTEMİ KULLANILARAK
BELİRLENMESİ**

Muhammet ECE

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi H. Alim BARAN**

**Diğer Jüri Üyeleri
Doç. Dr. Alican ÖZTÜRK Dr. Öğr. Üyesi Salih DİNÇ**

**Mayıs-2025
BATMAN**

TEZ KABUL VE ONAYI

Muhammet ECE tarafından hazırlanan “Silopi Ovası’nın (Şırnak) Yeraltı Suyu Kirlenme Potansiyelinin DRASTIC Yöntemi Kullanılarak Belirlenmesi” adlı tez çalışması 09/05/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Doç. Dr. Alican ÖZTÜRK

.....

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi H. Alim BARAN

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Salih DİNÇ

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Ömer Murat ÖTER
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYANI

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sorumluluğu kabullendiğimi bildiririm.

ETHICAL DECLARATION

I declare that all the information in this thesis has been obtained within the framework of ethical behavior and academic rules, and that the source of any statements and information that do not belong to me in this study prepared in accordance with the thesis writing rules has been fully cited, and I declare that I accept all kinds of legal responsibility in case of any contrary situation.

Muhammet ECE
Tarih:09/05/2025

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SİLOPİ OVASI'NIN (ŞIRNAK) YERALTI SUYU KİRLENME POTANSİYELİ'NİN DRASTIC YÖNTEMİ KULLANILARAK BELİRLENMESİ

Muhammet ECE

Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi H. Alim BARAN

2025, 63 Sayfa

Bu tez, Şırnak ili Silopi Ovası'nda yeraltı sularının kirlenmeye karşı hassasiyetini belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Yeraltı suları, bölgenin temel tatlı su kaynaklarından biri olup, yoğun tarımsal faaliyetler ve yerleşim birimlerinin etkisi altında bulunmaktadır. Çalışma kapsamında, yeraltı suyu kirliliği riskini değerlendirmek için DRASTIC yöntemi kullanılmıştır.

DRASTIC, yedi hidrojeolojik ölçütü (yeraltı suyu derinliği, beslenme, akifer ortamı, toprak ortamı, topografya/eğim, doymamış bölge etkisi ve hidrolik iletkenlik) dikkate alarak yeraltı suyu kirliliği potansiyelini değerlendiren bir indeks tabanlı yöntemdir. Tez çalışmasında, Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından sağlanan 397 sondaj verisi analiz edilmiş ve bu veriler Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yazılımı ArcGIS ile değerlendirilmiştir. Her bir parametrenin yoğunluk haritaları IDW interpolasyon yöntemiyle oluşturulmuş, ayrıca Japonya Uzay Araştırma Ajansı'ndan (JAXA) alınan sayısal yükseklik modeli kullanılarak topografya ile ilişkilendirilmiştir.

Çalışma alanının yeraltı suyu hassasiyet haritası oluşturulmuş, Hassasiyet haritası analizleri sonucunda havza alanının %19,4'ünün düşük, %76'sının orta ve %4,03'ünün ise yüksek hassasiyete sahip olduğu belirlenmiştir. Yerleşim yerlerine yakın bölgelerde yüksek hassasiyetin gözlenmesi, yeraltı suyu seviyesinin yüzeye daha yakın olduğu bu alanların antropojenik etkiler ve tarımsal faaliyetlerden daha fazla etkilendiğini göstermektedir. Ayrıca, bu bölgelerdeki alüvyonlu zemin yapısı ve düşük eğim değerleri, hassasiyeti artıran diğer önemli faktörler arasında yer almaktadır.

Bu çalışma, bölgedeki yeraltı suyu kaynaklarının korunması ve sürdürülebilir kullanımını desteklemek amacıyla hassasiyet haritalarının oluşturulmasıyla önemli bir bilimsel katkı sağlamaktadır. Elde edilen bulgular doğrultusunda, bölge için etkili bir çevre yönetim planı önerilmekte ve yüksek hassasiyet alanlarında koruma önlemlerinin alınmasının gerekliliği vurgulanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: CBS, DRASTIC, Hassasiyet, Silopi, Yeraltı Suyu

ABSTRACT

MASTER THESIS

DETERMINATION OF GROUNDWATER POLLUTION POTENTIAL OF SILOPI PLAIN (SIRNAK) BY USING DRASTIC METHOD

Muhammet ECE

Batman University Graduate Education Institute

Geological Engineering Department of Science

Advisor: Asst. Prof. Dr. H. Alim BARAN

2025, 63 Pages

This thesis was carried out to determine the vulnerability of groundwater to pollution in Silopi Plain of Şırnak province. Groundwater is one of the main freshwater resources of the region and is under the influence of intensive agricultural activities and settlements. Within the scope of the study, DRASTIC method was used to assess the risk of groundwater pollution.

DRASTIC is an index-based method that evaluates groundwater pollution potential by considering seven hydrogeological criteria (groundwater depth, recharge, aquifer environment, soil environment, topography/slope, unsaturated zone effect and hydraulic conductivity). In the thesis study, 397 borehole data provided by the State Hydraulic Works (DSİ) were analyzed and these data were evaluated with the Geographic Information Systems (GIS) software ArcGIS. The density maps of each parameter were created with the IDW interpolation method and were also associated with the topography using the digital elevation model obtained from the Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA).

The groundwater sensitivity map of the study area was created, and as a result of the sensitivity map analyses, it was determined that 19.4% of the basin area had low sensitivity, 76% had medium sensitivity, and 4.03% had high sensitivity. The observation of high sensitivity in areas close to settlements indicates that these areas, where the groundwater level is closer to the surface, are more affected by anthropogenic effects and agricultural activities. In addition, the alluvial soil structure and low slope values in these regions are among the other important factors that increase sensitivity.

This study provides an important scientific contribution by creating vulnerability maps to support the protection and sustainable use of groundwater resources in the region. In line with the findings, an effective environmental management plan is proposed for the region and the necessity of taking protection measures in high sensitivity areas is emphasized.

Keywords: GIS, DRASTIC, Sensitivity, Silopi, Groundwater

ÖNSÖZ

Su, tüm canlıların hayatta kalabilmesi için vazgeçilmez bir kaynaktır ve en küçük organizmalardan en büyük varlıklara kadar, biyolojik yaşamı ve insan faaliyetlerini sürdürebilmek için temel bir rol oynar. Yeryüzünün üçte ikisi suyla kaplı olsa da, kullanılabilir tatlı su oranı yalnızca %2,5 ile oldukça düşüktür. İnsanlar su ihtiyacını hem yer üstü hem de yeraltı kaynaklarından karşılamakta olup, yeraltı suyu, geniş kullanım alanı ile en önemli tatlı su kaynağını oluşturur.

Günümüzde küresel ısınmanın artışı, iklim değişiklikleri ve dünya nüfusunun hızla büyümesi, bununla birlikte endüstriyel ve tarımsal faaliyetlerin yoğunlaşması, su kaynakları üzerinde baskı oluşturmakta ve suya olan talebi artırmaktadır. Bu faktörler nedeniyle su kaynaklarının korunması, insanlık ve tüm ekosistem için kritik bir önem taşımakta ve en acil çözülmesi gereken sorunlardan biri haline gelmektedir.

"Silopi Ovası'nın (Şırnak) yeraltı sularının kirlenmeye karşı hassasiyetinin DRASTIC yöntemi kullanılarak belirlenmesi" başlıklı bu çalışma, kullanılabilir tatlı su kaynağının en önemli bileşenlerinden biri olan yeraltı sularının kirliliğe karşı hassasiyetini ölçmeyi ve bu konuda Silopi Ovası örneğiyle katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

Yüksek lisans tezim süresince bilgi ve tecrübeleriyle bana rehberlik eden değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Hacı Alim BARAN'a ve lisans ile lisansüstü eğitim hayatım boyunca üzerimde emeği geçen tüm bölüm hocalarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Çalışma sürecinde bölgeye dair tecrübelerini benimle paylaşan Jeoloji Mühendisi Müslüm DEDEOĞLU'na, çalışmalarım sırasında her zaman yanımda olan ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili Fatma Zehra AY'a ve yaşamım boyunca her koşulda yanımda olduklarını bildiğim sevgili aileme gönülden teşekkür ederim.

Muhammet ECE
BATMAN-2025

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELER/TABLolar LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Tez Çalışmasının Amacı	3
1.2. Çalışma Bölgesinin Coğrafi Konumu ve Havza Analizi	3
1.3. Şırnak İli ve Silopi İlçesi'nin İklim Özellikleri	10
1.4. Çalışma Bölgesinin Jeolojisi.....	12
1.5. Çalışma Bölgesinin Arazi Kullanımı	14
1.6. Kaynak Araştırması	16
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	18
2.1. Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS)	19
2.2. Yeraltı Suyu Hassasiyeti	20
2.3. DRASTIC Yöntemi	23
2.3.1. Yeraltı suyu derinliği (D).....	26
2.3.2. Beslenme (R)	27
2.3.3. Akifer ortamı (A)	28
2.3.4. Toprak ortamı etkisi (S).....	29
2.3.5. Topoğrafya etkisi (T)	30
2.3.6. Doymamış bölge etkisi (I)	31
2.3.7. Hidrolik iletkenlik etkisi (C).....	31
2.3.8. Drastik indeksi (DI)	32
3. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	34
3.1. Çalışma Alanı Yeraltı Suyu Derinliği (D)	35
3.2. Çalışma Alanı Beslenme (R)	37
3.3. Çalışma Alanı Akifer Ortamı (A)	39
3.4. Çalışma Alanı Toprak Ortamı (S).....	41
3.5. Çalışma Alanı Topoğrafya/Eğimi (T).....	43
3.6. Çalışma Alanının Doymamış Bölge (Vadoz zon) Etkisi (I)	44
3.7. Çalışma Alanı Akiferinin Hidrolik İletkenliği (C)	46
3.8. DRASTIC İndeksi (DI).....	49
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	53

4.1. Sonuçlar	53
4.2. Çalışma Sonuç Bulgularının Literatür Karşılaştırmalı İncelenmesi	55
4.3. Öneriler	56
KAYNAKLAR	59

ÇİZELGELER/TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1. Şırnak ili 1970-2023 yılları arası ölçülen meteorolojik veriler (MGM, 2024b)	11
Tablo 1.2. Silopi ilçesi detaylı arazi kullanım verileri (Corine, 2018)	15
Tablo 2.1. DRASTIC yöntemi parametrelerine ait ağırlık katsayıları (Aller et al., 1987)	25
Tablo 2.2. Derinlik ölçütüne ilişkin değerlendirme ve ağırlık katsayıları (Aller et al., 1987)	27
Tablo 2.3. Beslenme ölçütüne ilişkin değerlendirme ve ağırlık katsayıları (Piscopo, 2001)	28
Tablo 2.4. Akifer ortamı ölçütüne ilişkin değerlendirme ve ağırlık katsayıları (Aller et al., 1987)	29
Tablo 2.5. Toprak ortamı ölçütüne ilişkin değerlendirme ve ağırlık katsayıları (Aller et al., 1987)	30
Tablo 2.6. Topoğrafya ölçütüne ilişkin değerlendirme ve ağırlık katsayıları (Aller et al., 1987)	30
Tablo 2.7. Doymamış ölçütüne ilişkin değerlendirme ve ağırlık katsayıları (Aller et al., 1987)	31
Tablo 2.8. Hidrolik iletkenlik ölçütüne ilişkin değerlendirme ve ağırlık katsayıları (Aller et al., 1987)	32
Tablo 2.9. DRASTIC indeksi kullanılarak gerçekleştirilen hassasiyet analizi (Aller et al., 1987)	33
Tablo 3.1. Silopi Ovası'na ait derinlik ölçütü değeri ve ağırlık bilgileri	36
Tablo 3.2. Silopi Ovası'na ait beslenme ölçütü değeri ve ağırlık bilgileri	38
Tablo 3.3. Silopi Ovası'na ait akifer ortamı ölçütü değeri ve ağırlık bilgileri	40
Tablo 3.4. Silopi Ovası'na ait toprak ortamı ölçütü değeri ve ağırlık bilgileri	42
Tablo 3.5. Silopi Ovası'na ait topoğrafya ölçütü değeri ve ağırlık bilgileri	44
Tablo 3.6. Silopi Ovası'na ait doymamış bölge ölçütü değeri ve ağırlık bilgileri	46
Tablo 3.7. Silopi Ovası'na ait hidrolik iletkenlik ölçütü değeri ve ağırlık bilgileri	48
Tablo 3.8. Silopi Ovası'ndaki iki kuyuya ait DRASTIC İndeksi'ne ilişkin örnek sonuç değerleri	49
Tablo 3.9. Silopi Ovası'na ait DRASTIC İndeksinde kullanılan hassasiyet bilgileri	50

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. İnceleme alanının yer bulduru haritası	4
Şekil 1.2. Çalışma bölgesi Fırat-Dicle genel havzası ve Dicle Alt Havzası alt havzaları (TOB, 2020).....	5
Şekil 1.3. Silopi ve çevresine ait hidrografik havzaların CBS tabanlı analizi.....	6
Şekil 1.4. Silopi ve çevresine ait hidrografik havzaların CBS tabanlı gruplandırılması ..	7
Şekil 1.5. Silopi ve çevresine ait çok büyük ölçekli hidrografik havzaların gruplandırılması	7
Şekil 1.6. Silopi ve çevresine ait büyük ölçekli hidrografik havzaların gruplandırılması	8
Şekil 1.7. Silopi ve çevresine ait orta ölçekli hidrografik havzaların gruplandırılması ...	8
Şekil 1.8. Silopi ve çevresine ait küçük ölçekli hidrografik havzaların gruplandırılması	9
Şekil 1.9. İnceleme alanının 1970-2023 yılları arasında ait ortalama sıcaklık ve yağış grafiği (MGM, 2024b)	12
Şekil 1.10. İnceleme alanının jeoloji haritası	13
Şekil 1.11. Silopi ilçesi arazi kullanım alan dağılım grafiği (Corine, 2018).....	14
Şekil 1.12. Silopi ilçesi arazi kullanım alan yüzde grafiği (Corine, 2018).....	15
Şekil 2.1. İnceleme alanında değerlendirilen sondaj kuyularının lokasyon haritası	18
Şekil 2.2. DRASTIC yöntemi akış diyagramı	24
Şekil 3.1. İnceleme alanına ait Sayısal Yükseklik Modeli (DEM) görüntüleri.....	34
Şekil 3.2. Silopi Ovası'ndaki sondajlara ait yeraltı suyu derinlik haritası	35
Şekil 3.3. Silopi Ovası yeraltı suyu derinlik (D) ölçütü değerlerini gösteren harita	36
Şekil 3.4. Silopi Ovası'na ait 1970-2023 yıllık ortalama yağış dağılım haritası.....	37
Şekil 3.5. Silopi Ovası'na ait beslenme (R) ölçütü değerleri gösteren harita.....	39
Şekil 3.6. Silopi Ovası'na ait akifer ortamı (A) ölçütü değerlerini gösteren harita.....	40
Şekil 3.7. Silopi Ovası'na ait toprak türü haritası.....	41
Şekil 3.8. Silopi Ovası'na ait toprak ortamı (S) ölçütü değerlerini gösteren harita	42
Şekil 3.9. Silopi Ovası eğim haritası	43
Şekil 3.10. Silopi Ovası'na ait topografya/eğim (S) ölçütü değerlerini gösteren harita.	44
Şekil 3.11. Silopi Ovası'ndan geçen C-C' kesiti.....	45
Şekil 3.12. Silopi Ovası'ndan geçen C-C' Hidrojeoloji kesiti	45
Şekil 3.13. Silopi Ovası'na ait doymamış bölge (I) ölçütü değerlerini gösteren harita .	46
Şekil 3.14. Silopi Ovası'na ait hidrolik iletkenlik ölçütü değerlerini (K) gösteren harita	48
Şekil 3.15. Silopi Ovası'na ait hidrolik iletkenlik ölçütü (C) değerleri.....	49
Şekil 3.16. Silopi Ovası'na ait DRASTIC İndeks hassasiyet haritası	50
Şekil 3.17. Silopi Ovası'na ait DRASTIC İndeksi hassasiyet derecesi haritası	51
Şekil 3.18. İnceleme alanının uydu görüntüsü üzerindeki DRASTIC İndeksi hassasiyet derecesi haritasının görünümü	51

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A	: Akifer ortamı
Ar	: Akifer ortamı ölçütü reyting değeri
Aw	: Akifer ortamı ölçütü ağırlık değeri
C	: Hidrolik iletkenlik
C°	: Santigrad
Cr	: Hidrolik iletkenlik ölçütü reyting değeri
Cw	: Hidrolik iletkenlik ölçütü ağırlık değeri
D	: Yeraltı suyu derinliği
DI	: DRASTIC indeks
Dr	: Yeraltı suyu (D) ölçütü reyting değeri
Dw	: Yeraltı suyu (D) ölçütü ağırlık değeri
I	: Doymamış bölge (vadoz zon) etkisi
Ir	: Doymamış bölge (vadoz zon) ölçütü reyting değeri
Iw	: Doymamış bölge (vadoz zon) ölçütü ağırlık değeri
km	: Kilometre
km ²	: Kilometre kare
m	: Metre
m ³	: Metre küp
R	: Yeraltı suyu beslenme
RA	: Yağış oranı
Rr	: Beslenme ölçütü reyting değeri
Rw	: Beslenme ölçütü ağırlık değeri
S	: Toprak ortam etkisi
Sp	: Permeabilite
Sr	: Toprak ortam ölçütü reyting değeri
Sw	: Toprak ortam ölçütü ağırlık değeri
T	: Topografya/Eğim Etkisi
Tr	: Topografya/Eğim ölçütü reyting değeri
Tw	: Topografya/Eğim ölçütü ağırlık değeri
%	: Yüzde

Kısaltmalar

AHS	: Analitik Hiyerarşi Süreci
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
ÇED	: Çevresel Etki Değerlendirmesi
CORINE	: Çevresel Bilginin Koordinasyonu
DEM	: Sayısal Yükseklik Modeli
DİKA	: Dicle Kalkınma Ajansı
DSİ	: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
FAO	: Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü

GDA	: Güneydoğu Anadolu
GDAO	: Güneydoğu Anadolu Otoktonu
GIS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
IDW	: Ters Mesafe Ağırlığı
JAXA	: Japonya Uzay Araştırma Ajansı
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MTA	: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
NRC	: Amerikan Ulusal Araştırma Konseyi
SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
TOB	: Tarım ve Orman Bakanlığı
USEPA	: ABD Çevre Koruma Ajansı
UTM	: Evrensel Enlem Merkatörü Koordinat Sistemi
YAS	: Yeraltı su seviyesi
YÜS	: Yerüstü Suyu
WGS	: Dünya Jeodezik Sistemi

1. GİRİŞ

Su, hayatın varlığı ve sürekliliği için vazgeçilmez bir kaynaktır ve tüm ekosistemlerin ile canlıların yaşamını sürdürebilmesi için gereklidir. Dünya yüzeyinin yaklaşık %71'lik kısmı suyla kaplıdır. Ancak bu suyun büyük bir kısmı, yani %97,5'i okyanuslarda bulunan tuzlu sudur. Geriye kalan %2,5'lik kısmı ise tatlı sudur. Tatlı suyun büyük bir bölümü; buzullar, buz tabakaları ve yeraltı akiferlerinde bulunur. Tatlı su kaynakları bu şekilde farklı ortamlarda yoğunlaşmıştır (Meteoroloji Genel Müdürlüğü [MGM], 2024a).

Tatlı su kaynakları şu şekilde detaylandırılabilir:

- %68,7'si buzullar ve kalıcı kar örtülerinde (örneğin Antarktika ve Grönland gibi bölgelerde) bulunur.
- %30,1'i yer altı suyu olarak depolanmış üretim sularıdır.
- Sadece %1,2'si yüzey sularında (nehirler, göller gibi) yer alır ve bu su, insanların doğrudan erişebildiği tatlı sudur.

Bu durumda, dünya üzerindeki tüm su kaynaklarının yalnızca %0,007'lik bir kısmı, doğrudan insan kullanımı için erişilebilir tatlı su olarak değerlendirilirse, tatlı suyun canlı yaşamı için ne denli hayati bir öneme sahip olduğu bir kez daha ortaya çıkmaktadır.

Nüfus artışının yanı sıra endüstri ve sanayinin gelişimi ile sosyoekonomik ve kültürel değişimler, doğal kaynaklar üzerinde olumsuz etkiler yaratmakta, özellikle yüzey ve yeraltı su kaynaklarının kalitesini düşürmektedir. Günümüzde su kirliliği, doğal kaynakların bilinçsiz tüketimi, sanayileşme ve plansız kentleşme gibi etkenlerle ciddi bir sorun haline gelmiştir.

Artan nüfus, yapılaşma, teknolojik yenilikler ve endüstriyel gelişmelerin yanı sıra sosyoekonomik faaliyetlerdeki artış, içme, kullanma ve sulama suyu ihtiyacını giderek artırmaktadır. Bu talebin büyümesi, tatlı su kaynaklarının aşırı tüketimine yol açarak doğal kaynaklar üzerindeki insan baskısını her geçen gün artırmaktadır.

Yeraltı suları, dünya genelindeki tatlı su kaynaklarının yaklaşık %30'unu oluşturmaktadır. Tatlı su kaynaklarının yaklaşık %70'inin kutuplarda bulunan buzullar ve kar örtülerinde depolandığı düşünüldüğünde, yeraltı sularının kullanıma hazır ve etkin bir

şekilde yönetilmesi büyük bir önem taşımaktadır. Yağış miktarından yüzey akışına geçen ve buharlaşma nedeniyle kaybolan miktarlar çıkarıldığında, geriye kalan suyun toprak tarafından emilerek yeraltı suyu tabakalarına (akiferlere) ulaşması, "artan yağış" olarak adlandırılmaktadır. Bu süreç, bölgenin iklim koşullarına bağlı olarak farklılık gösterir. Örneğin, günümüzde etkisini giderek daha fazla hissettiren iklim değişikliği, özellikle Akdeniz havzasındaki su kaynaklarının miktarını ve kalitesini olumsuz etkileyebilecek önemli bir risk faktörüdür. Akdeniz ikliminde yağışların %10-20'si yeraltı sularına karışırken, sıcak ve kurak iklimlerde bu oran %2 gibi oldukça düşük seviyelere inebilmektedir.

Türkiye, yarı kurak iklim özelliklerine sahip bir ülkedir. Yağış rejimi, iklim yapısı ve mevsimsel değişikliklere bağlı olarak bölgesel farklılıklar göstermekle birlikte, yıllık ortalama yağış miktarı 574 mm olarak belirlenmiştir (Devlet Su İşleri Müdürlüğü [DSİ], 2023). Bu yağış, yaklaşık 450 milyar metreküp suya karşılık gelmektedir. Uzun yıllar boyunca toplanan veriler incelendiğinde, ülkemizin yıllık su potansiyeli 91,9 milyar metreküp yüzey suyu (YÜS) ve 18,6 milyar metreküp yeraltı suyu (YAS) olmak üzere toplamda 110,5 milyar metreküp olarak hesaplanmıştır (DSİ, 2023). Bu değerler, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetiminin önemini açıkça ortaya koymaktadır.

Türkiye İstatistik Kurumu [TÜİK] (2024) verilerine göre, Türkiye'nin nüfusu 31 Aralık 2023 itibarıyla 85.372.377 kişidir. Bir ülkenin su potansiyeli açısından zengin kabul edilebilmesi için kişi başına düşen yıllık su miktarının 1.700 m³'ten fazla olması gerekmektedir. Ancak, Türkiye'nin teknik ve ekonomik olarak kullanılabilir su potansiyeli dikkate alındığında, kişi başına düşen su miktarı 1.294 m³/yıl düzeyindedir (DSİ, 2023). Bu durum, Türkiye'nin su potansiyeli açısından zengin bir ülke olmadığını ortaya koymaktadır.

Ülkemizde, toprak ve su kaynaklarının geliştirilmesinden sorumlu kamu kurum ve kuruluşlarının hayata geçirdiği projeler sayesinde, çeşitli amaçlar için yıllık toplam su tüketimi 57 milyar m³ seviyesine ulaşmıştır. Bu miktarın, 44 milyar m³'ü (%77) sulama faaliyetlerinde, 13 milyar m³'ü (%23) ise içme, kullanma ve sanayi suyu ihtiyaçlarının karşılanmasında kullanılmaktadır (DSİ, 2023).

Yeraltı suyu kirliliğini etkileyen pek çok parametre bulunmaktadır. Yüzeyde gerçekleştirilen çeşitli faaliyetler, tarım uygulamaları, kentleşme ile yetersiz artırılmış evsel ve endüstriyel atıkların deşarjı; yüzeyden yeraltına sızan kirleticiler aracılığıyla, akiferleri kirliliğe karşı daha hassas hale getiren başlıca etkenlerdir. Bu kirletici unsurlar arasında ağır metaller, organik kimyasallar, pestisitler ve gübreler öne çıkmaktadır.

Özellikle nitrat, suda kolayca çözünmesi, negatif yüklü bir iyon olarak yüksek hareket kabiliyetine sahip olması ve doymamış bölgeden sızarak yeraltı suyuna ulaşma potansiyeli nedeniyle dikkat çekmektedir. Bu özellikleri nitratı yeraltı suyu kalitesini olumsuz etkileyen en önemli kirleticilerden biri haline getirmektedir. Yapılan çalışmalar, nitrat kirliliği ile tarımsal faaliyetler arasında doğrudan bir ilişki bulunduğunu ortaya koymuştur (Muhammetoğlu vd., 2002, Baalousha, 2006, Su et al., 2013).

1.1. Tez Çalışmasının Amacı

Nüfus artışı, iklim değişikliği ve bu faktörlere bağlı olarak gelişen endüstriyel etkiler, doğal kaynakların tükenmesi ve kirlenmesine yol açmaktadır. Bu durum, Türkiye'nin gelecekte su sıkıntısı yaşayan ülkeler arasında yer alabileceğini göstermektedir. Bu nedenle, çevre kirliliğinin önlenmesi ve su kaynaklarının daha verimli ve tasarruflu bir şekilde yönetilmesi, hem günümüz hem de gelecek için büyük önem arz etmektedir.

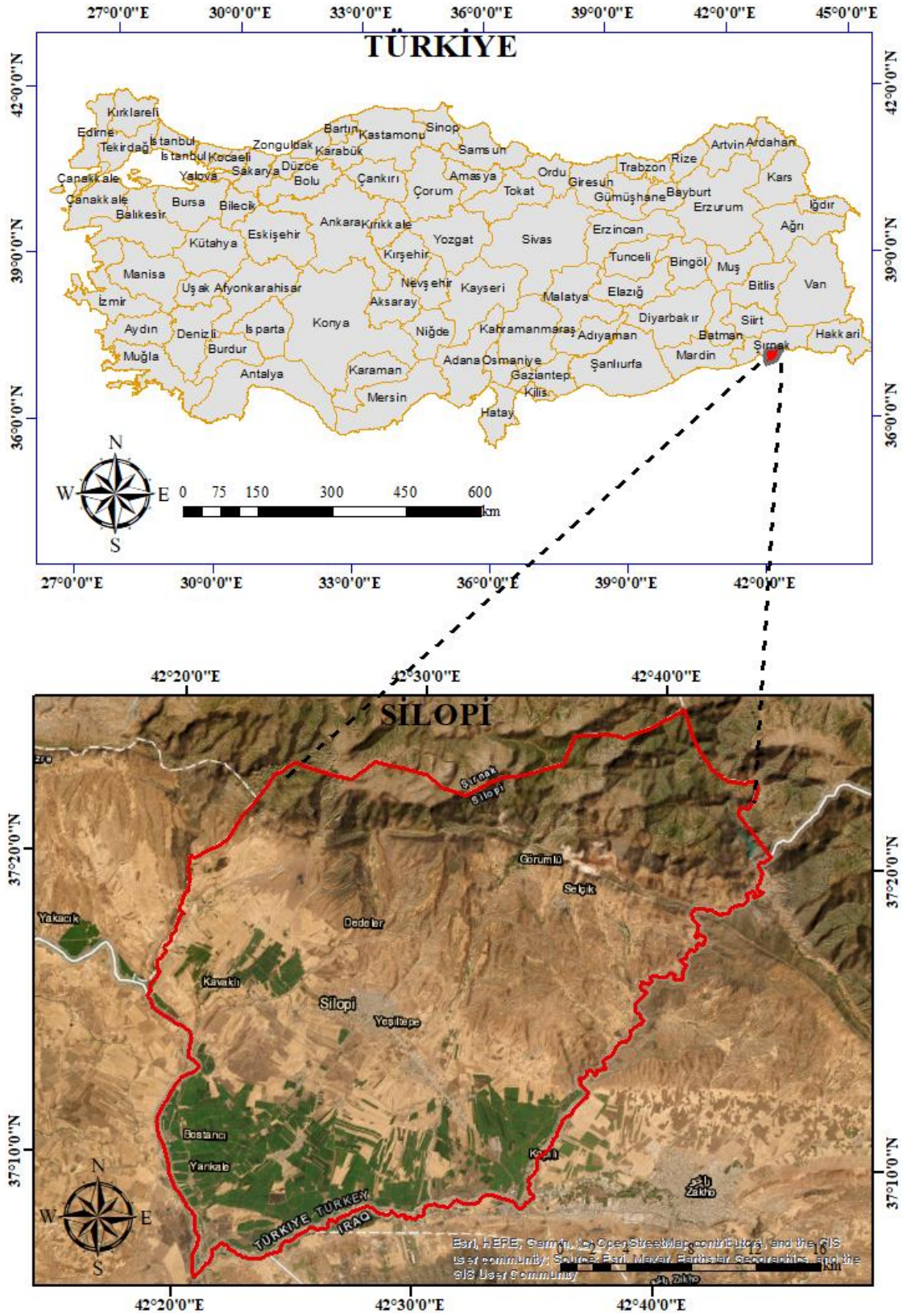
Bu yüksek lisans tez çalışmasının amacı, Şırnak ili Silopi ilçesindeki yeraltı sularının kirlenmeye karşı hassasiyetini DRASTIC metodu ile belirleyerek, sahadan elde edilen verileri Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanarak analiz etmek ve kirlenme hassasiyet haritaları oluşturup bu haritalar üzerinden hassasiyet alanlarını tespit etmektir.

Bu yöntemle, çalışma alanında yüksek kirlenme potansiyeli taşıyan alanlar, kirliliğe neden olan unsurlar, kirlenme hassasiyetinin düzeyi, günümüzde veya gelecekte oluşabilecek yeraltı suyu kirliliğinin kaynakları, bu durumun yaratabileceği riskler ve alınabilecek önlemler analiz edilebilecektir.

1.2. Çalışma Bölgesinin Coğrafi Konumu ve Havza Analizi

Bu yüksek lisans çalışmasının odak noktası olan Şırnak iline bağlı Silopi ilçesi, 37°31' kuzey enlemi ile 42°28' doğu boylamı arasında yer almaktadır (Bilir vd., 2023). İlçenin rakımı 510 metre olup, yüzölçümü 790 km²'dir. Silopi, güneybatıda Suriye'ye (20 km), güneydoğuda Irak'a (15 km), batıda Cizre ilçesine (29 km), kuzeyde Şırnak il merkezine (33 km) ve kuzeydoğuda Uludere ilçesine (11 km) komşudur (Şekil 1.1.).

Silopi ilçesinin topraklarının büyük bölümü güney ve güneybatıda Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin Dicle bölümünde, kuzey ve kuzeydoğuda ise Doğu Anadolu Bölgesi'nin Hakkari bölümünde yer almaktadır (Kösen, 2019).



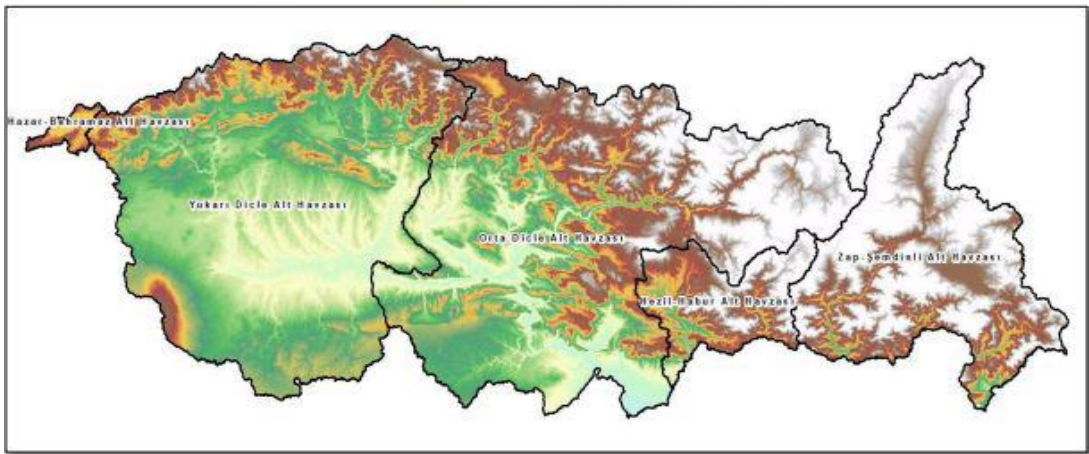
Şekil 1.1. İnceleme alanının yer bulduru haritası

Çalışma alanının kuzey ve kuzeydoğu kesimleri, büyük ölçüde Güneydoğu Toroslar sistemine bağlı yüksek dağlardan oluşmaktadır. Bölgedeki en önemli dağ, Cudi Dağı'dır (Tarım ve Orman Bakanlığı [TOB], 2016).

Türkiye, 25 ana hidrolojik havzaya ayrılmış olup, bu havzalar kendi içinde birden fazla alt havzaya bölünmüştür. Bu genel havzalardan biri olan Fırat-Dicle Havzası da Türkiye'nin 25 havzası arasında yer almakta ve birçok alt havzayı bünyesinde barındırmaktadır. Çalışma alanını kapsayan Silopi ilçesi, Dicle Alt Havzası içerisinde yer almaktadır. Dicle Alt Havzası, Türkiye yüzölçümünün yaklaşık %7'sine karşılık gelen 54.695,7 km²'lik bir alanı kaplamaktadır. Bu havza içerisinde Diyarbakır, Batman, Siirt, Şırnak, Hakkâri, Bitlis, Şanlıurfa, Elazığ, Van, Bingöl ve Mardin illerinin tamamı ya da bir kısmı yer almaktadır (Şekil 1.2.), (TOB, 2020).



Fırat-Dicle Havzası'nın Türkiye'deki Yeri



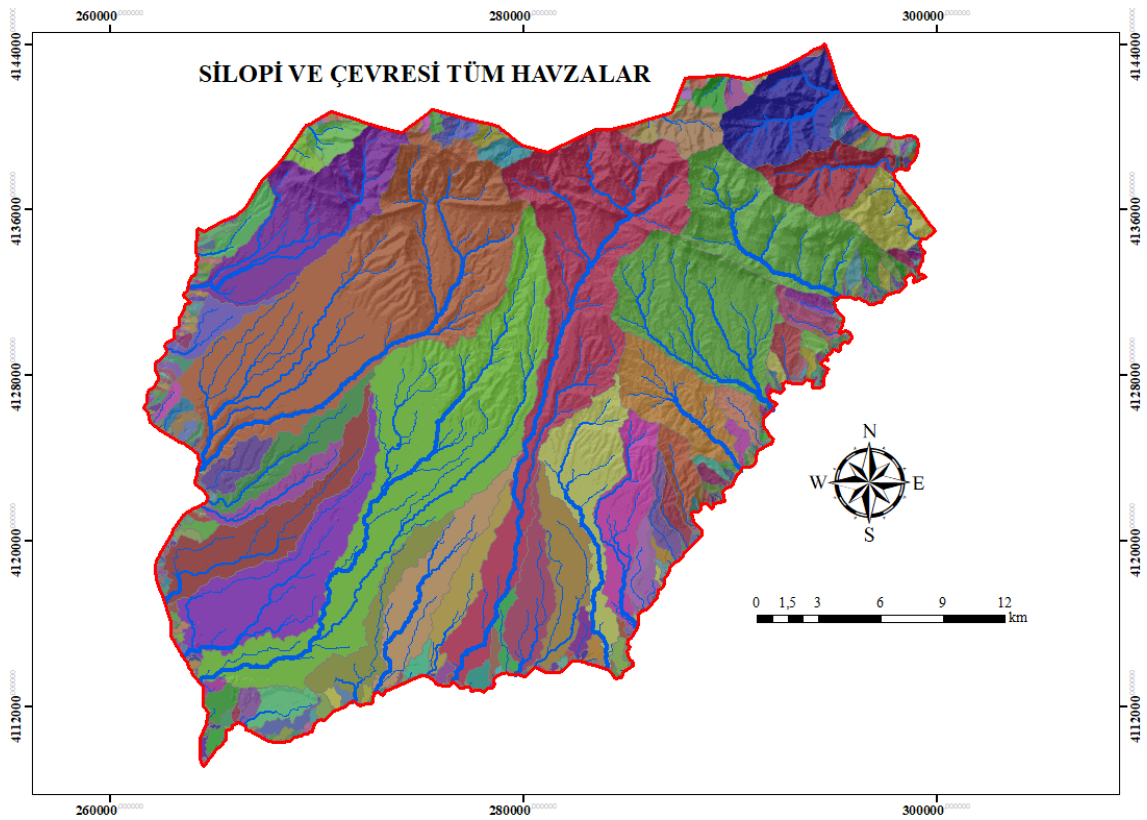
Dicle Alt Havzası Alt Havzaları

Şekil 1.2. Çalışma bölgesi Fırat-Dicle genel havzası ve Dicle Alt Havzası alt havzaları (TOB, 2020)

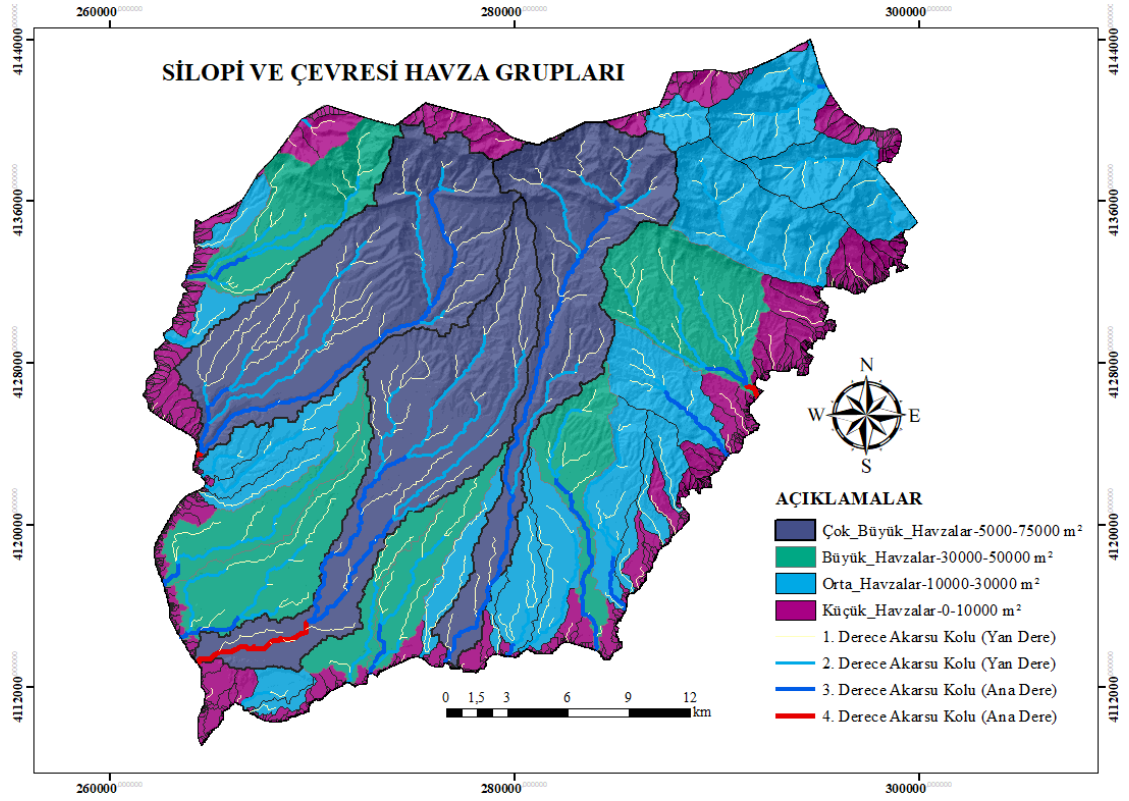
Şırnak ilinin büyük bir bölümü, toplamda 6.585,62 km²'lik alanla Hezil, Habur ve Orta Dicle alt havzaları içerisinde kalmaktadır. Bu alt havzalardan biri olan Hezil-Habur Alt Havzası, 3.429,54 km² büyüklüğünde olup yıllık ortalama 994,22 mm yağış almaktadır. Bölgedeki su kaynakları, hem havza içindeki hem de üst havzalardan gelen yağışlarla beslenmektedir. Bu kapsamda, Habur, Hezil, Kızılsu ve Nerdüş çayları ile bunlara bağlı küçük akarsular, Şırnak ili sınırları içerisinde geçmektedir (TOB, 2020).

Çalışma alanı olan Silopi ve Silopi Ovası'ndan Celal Deresi, Bezamir Deresi, Tepelik Deresi, Aksu Deresi, Beşköy Deresi, Nerdüş Deresi ve Çağlayan Deresi geçmektedir. Bu akarsulara ait drenaj sistemleri, sayısal yükseklik modeli (DEM) verileri kullanılarak analiz edilmiş ve morfometrik özelliklerine göre çeşitli alt havzalar tanımlanmıştır (Şekil 1.3., Şekil 1.4.).

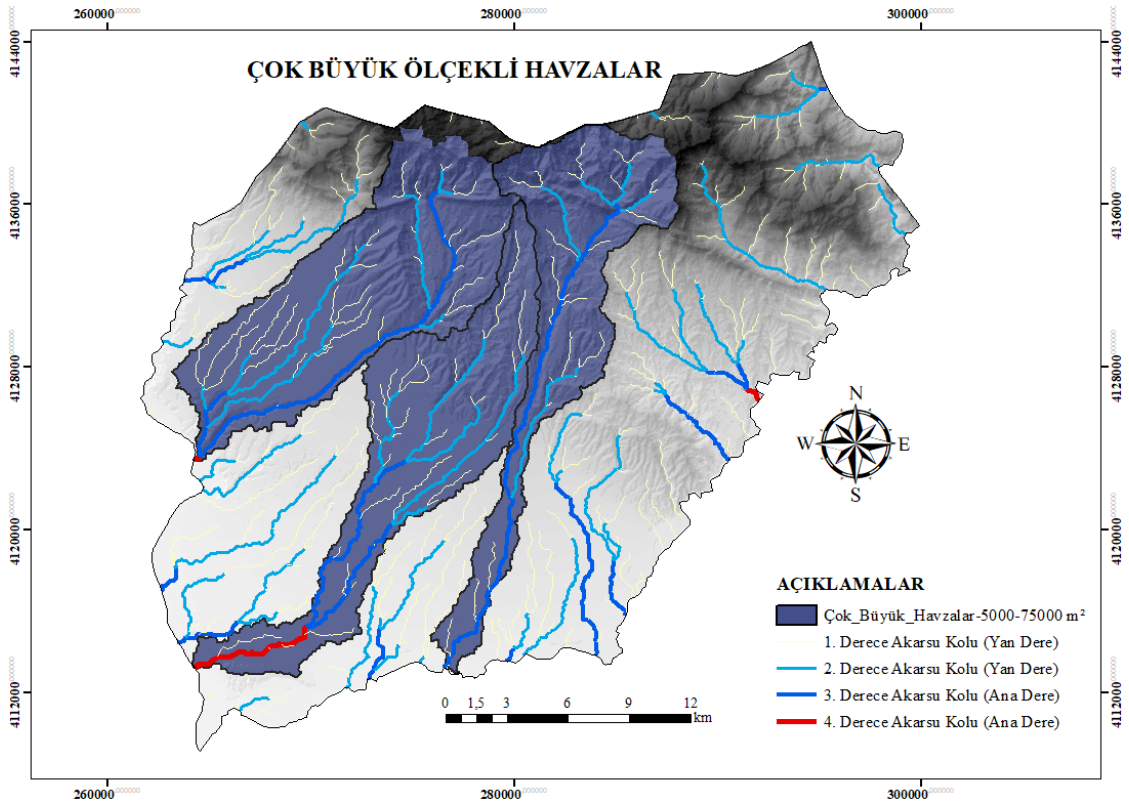
Alan genelinde ana akarsu gövdeleri ve bunlara bağlı yan kollar tarafından şekillendirilen havzalar, yüzey alanlarına göre “çok büyük”, “büyük”, “orta” ve “küçük ölçekli” olmak üzere dört sınıfa ayrılmış; bu sınıflandırmaya dayalı olarak detaylı havza sınırları CBS ortamında belirlenmiş ve haritalama çalışmaları gerçekleştirilmiştir (Şekil 1.5., Şekil 1.6., Şekil 1.7., Şekil 1.8.).



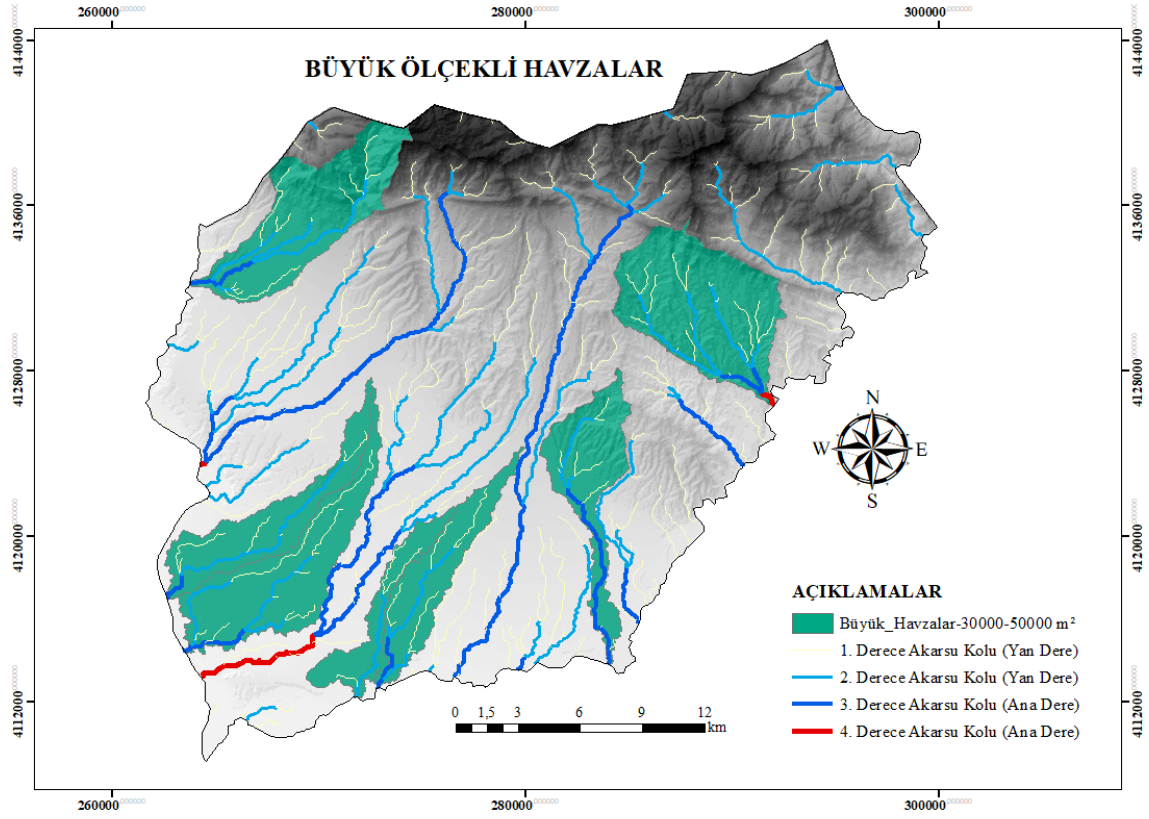
Şekil 1.3. Silopi ve çevresine ait hidrografik havzaların CBS tabanlı analizi



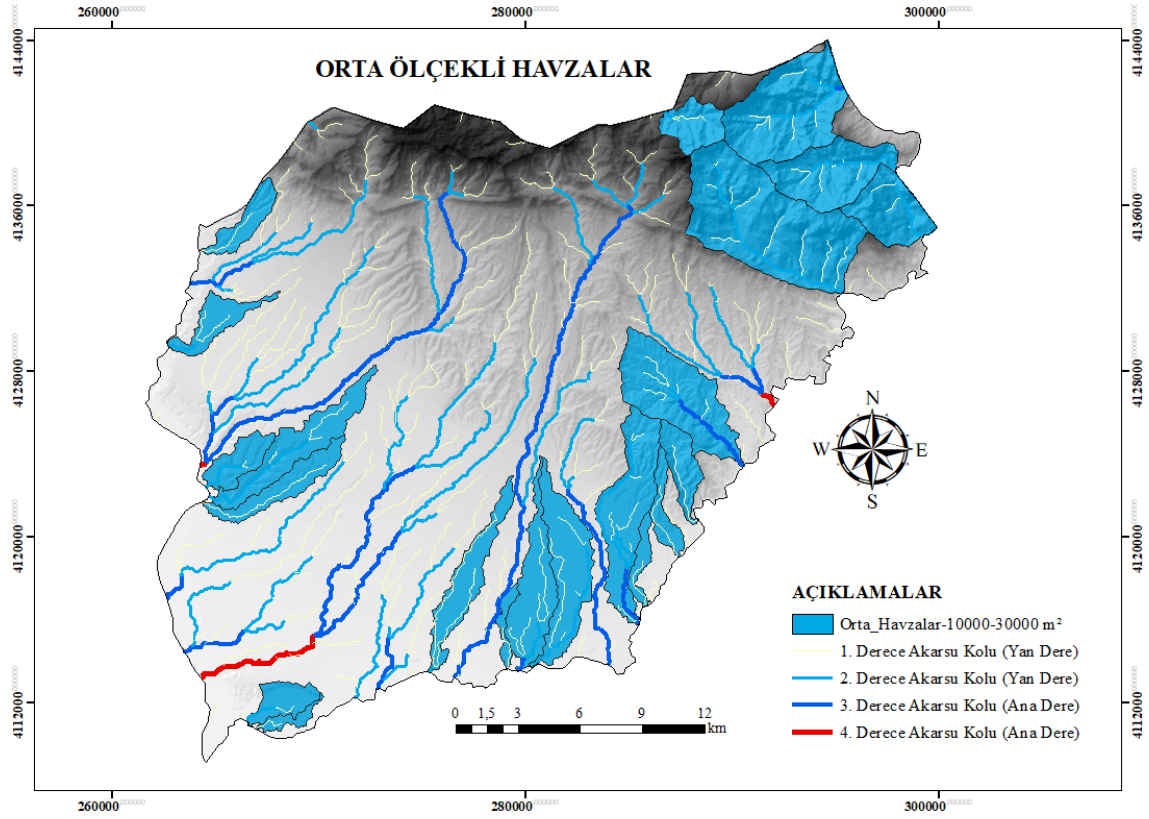
Şekil 1.4. Silopi ve çevresine ait hidrografik havzaların CBS tabanlı gruplandırılması



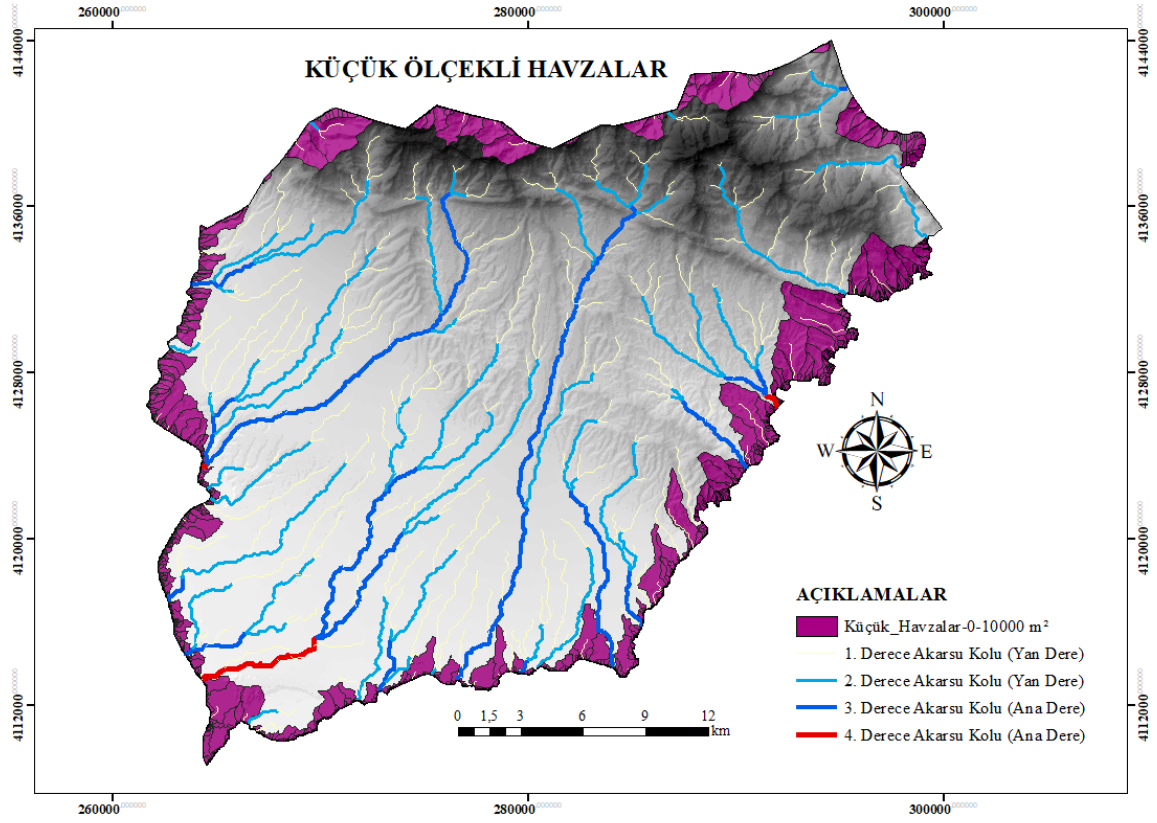
Şekil 1.5. Silopi ve çevresine ait çok büyük ölçekli hidrografik havzaların gruplandırılması



Şekil 1.6. Silopi ve çevresine ait büyük ölçekli hidrografik havzaların gruplandırılması



Şekil 1.7. Silopi ve çevresine ait orta ölçekli hidrografik havzaların gruplandırılması



Şekil 1.8. Silopi ve çevresine ait küçük ölçekli hidrografik havzaların gruplandırılması

Dicle Havzası, farklı iklimsel karakteristikleri bünyesinde barındıran geniş bir coğrafi alana yayılmaktadır. Havzanın güneybatısında Akdeniz ikliminin etkileri görülmekte olup, kuzeyde yer alan Güneydoğu Toros Dağları soğuk hava kütlelerinin havza içine girişini engelleyerek bölgenin kısmen ılımanlaşmasına katkı sağlamaktadır. Buna karşın, havzanın orta kesimlerinde kara iklimi daha baskın bir biçimde hissedilmektedir. Örneğin, Diyarbakır ilinde sert kara iklimi ile yarı kurak yayla iklimi birlikte etkili olmaktadır. Doğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan Zap-Şemdinli Alt Havzası'nda ise karasal iklim hâkimdir; bu bölgede kışlar oldukça sert ve soğuk, yazlar ise daha serin geçmektedir. Havzanın Doğu Anadolu sınırları içerisinde yer alması, bölgedeki topoğrafik çeşitliliği artırmakta; özellikle yükselti farkları nedeniyle sıcaklık değerlerinde önemli değişiklikler görülmesine neden olmaktadır. Yaz aylarında Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde kuraklık şiddetli biçimde hissedilirken, kuzeye doğru çıkıldıkça yıllık ortalama yağış miktarında belirgin bir artış gözlemlenmektedir. Kış aylarında Doğu Anadolu'ya düşen yağışın büyük bir kısmı kar şeklinde olurken, Güneydoğu Anadolu'da ise yağışlar genellikle yağmur şeklinde gerçekleşmektedir. Kar

yağışının uzun süreli kar örtüsü oluşturduğu yüksek dağlık kesimler, havzanın hidrolojik yapısını da doğrudan etkilemektedir (TOB, 2020).

Dicle Havzası'nda, tarım potansiyeli yüksek, düz veya düze yakın alanlardan oluşan ve sulamada yaygın olarak sondaj kuyularının kullanıldığı çalışma alanı, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin Dicle Bölümü'nde yer alan Silopi Ovası'nda gerçekleştirilmiştir. Silopi Ovası, Şırnak ilinin en önemli yeraltı suyu akiferlerinden birini oluşturmaktadır. Pliyosen dönemine ait formasyonlar, bu akiferin temel jeolojik birimlerini meydana getirmektedir. Bu formasyonlardaki konglomera ve kumtaşı seviyeleri yeraltı suyunu barındıran geçirgen tabakaları oluşturmaktadır. Akiferin toplam rezervi 155 milyon m³/yıl olarak hesaplanmış; yıllık güvenli verim ise 100 milyon m³/yıl olarak belirlenmiştir (Davraz vd. 2024, TOB, 2016).

Şırnak ilinin güney ve batı kesimlerinde, Tersiyer yaşlı birimler yüzeylenmektedir. Bol miktarda petrol içeren bu oluşumlar, İran ve Irak'ta da devam etmektedir. Türkiye'deki Tersiyer oluşumlarının uzantıları ise ince yapıli olup, tektonik hareketler sonucunda kıvrılmıştır (Davraz vd., 2024).

1.3. Şırnak İli ve Silopi İlçesi'nin İklim Özellikleri

Şırnak ili, karasal ve Akdeniz iklimi arasında geçiş özelliği gösteren bir bölgede konumlanmakta olup, Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinin kesişim noktasında yer almaktadır. Bu konum nedeniyle il, yıl boyunca farklı hava kütlelerinin etkisi altında kalmaktadır. Kış aylarında soğuk karasal hava kütleleri bölgeye hâkim olurken, yaz aylarında sıcak ve tropikal karakterdeki hava kütleleri etkisini göstermektedir. İl sınırları içerisindeki Doğu Anadolu'ya ait Hakkâri Bölümü'nde kışlar oldukça sert ve soğuk geçmekte, buna karşılık Güneydoğu Anadolu'nun Dicle Bölümü'nde kalan kesimlerinde ise kışlar daha yumuşak, yazlar ise oldukça sıcak ve kurak seyretmektedir. Özellikle Mardin Eşiğı sonrası bölgede Akdeniz ikliminin etkileri daha belirgin hâle gelmekte; pamuk, zakkum ve zeytin gibi bitkilerin yetişebilmesi bu durumu desteklemektedir.

Çalışma alanı olan Silopi ilçesi ve Silopi Ovası, bu geçiş zonu içerisinde yer almakta ve hem karasal hem de Akdeniz ikliminin özelliklerini yansıtmaktadır. İlçede yaz ayları oldukça sıcak ve kurak geçmekte; hava sıcaklıkları genellikle 35°C'nin üzerine çıkmakta, bazı günlerde ise 40°C'yi aşmaktadır. Bu dönemde yağış neredeyse hiç görülmemekte ve uzun süreli kuraklık koşulları hâkim olmaktadır. Kış aylarında ise daha ılıman bir hava yapısı söz konusu olup, yağışlar çoğunlukla yağmur şeklindedir. Kar

yağışı nadiren gözlemlenmekte, sıcaklıklar genellikle 0°C civarında seyretmekte ve don olaylarına çok sık rastlanmamaktadır. Yağışlar ağırlıklı olarak kış ve ilkbahar aylarında yoğunlaşmaktadır.

Silopi'nin güney kesimleri ve Silopi Ovası, geniş düzlüklere sahip olduğu için rüzgârlara açık bir bölgedir. Özellikle yaz aylarında güneyden gelen çöl rüzgârlarının sıcaklığı artırdığı gözlemlenmektedir. Bölgenin açık ve kurak yapısı nedeniyle rüzgâr hızları yüksek, nem oranı ise düşüktür. Bu durum, özellikle yaz mevsiminde Silopi Ovası'nda tarım, hayvancılık ve genel yaşam için suya olan ihtiyacın oldukça fazla olduğunu göstermektedir. Ayrıca, su kaynaklarının miktarı ve kalitesi, bölgedeki su değişimleri ve kirlilik açısından büyük önem taşımaktadır.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından 1970-2023 yılları arasında kaydedilen ölçümlere göre; aylık ortalama en yüksek sıcaklık 40,4 °C, ortalama en düşük sıcaklık ise -14,5 °C olarak kaydedilmiştir. Yıllık ortalamalarda ise en yüksek sıcaklık 19,5 °C, en düşük sıcaklık 11,1°C olarak ölçülmüştür (Tablo 1.1.).

Bölgede yazlar sıcak ve kurak geçtiği için temmuz, ağustos ve eylül aylarında yağış çok nadiren görülmektedir. Bu dönemde ortalama güneşlenme süresinin artması ve buna bağlı olarak sıcaklıkların en yüksek seviyelere ulaşması, yaz aylarının kurak geçmesini kaçınılmaz hale getirmektedir (Şekil 1.9.).

Tablo 1.1. Şırnak ili 1970-2023 yılları arası ölçülen meteorolojik veriler (MGM, 2024b)

ŞIRNAK	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1970-2023)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	2,5	3,7	7,4	12,5	18,3	24,7	29,1	28,9	24,6	17,5	9,9	4,9	15,3
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	6	7,4	11,3	16,6	22,6	29,4	33,9	33,8	29,4	21,8	13,7	8,3	19,5
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-0,7	0,3	3,7	8,3	13,5	19,6	23,9	23,9	19,7	13,2	6,2	1,6	11,1
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	3,5	4,7	5,1	7,2	8,5	10,6	11,2	10,7	10,2	7,2	5,3	3,7	7,3
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	9,97	10,26	11,66	10,76	7,66	1,79	0,53	0,39	0,84	6	7,63	9,58	77,1
Aylık Toplam Yağış Miktarı (mm)	93,2	99,8	117,8	106,2	55,9	5,7	3,7	0,6	8,8	47,2	81,5	92	712,4
Ölçüm Periyodu (1970-2023)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	18,1	18,2	24,8	29	34,1	38,2	40,4	40,4	38,6	32,1	23,6	22,5	40,4
En Düşük Sıcaklık (°C)	-14,5	-13,2	-11,2	-4,7	0,8	9,2	13,1	15	3,2	-0,5	-5	-10,8	-14,5

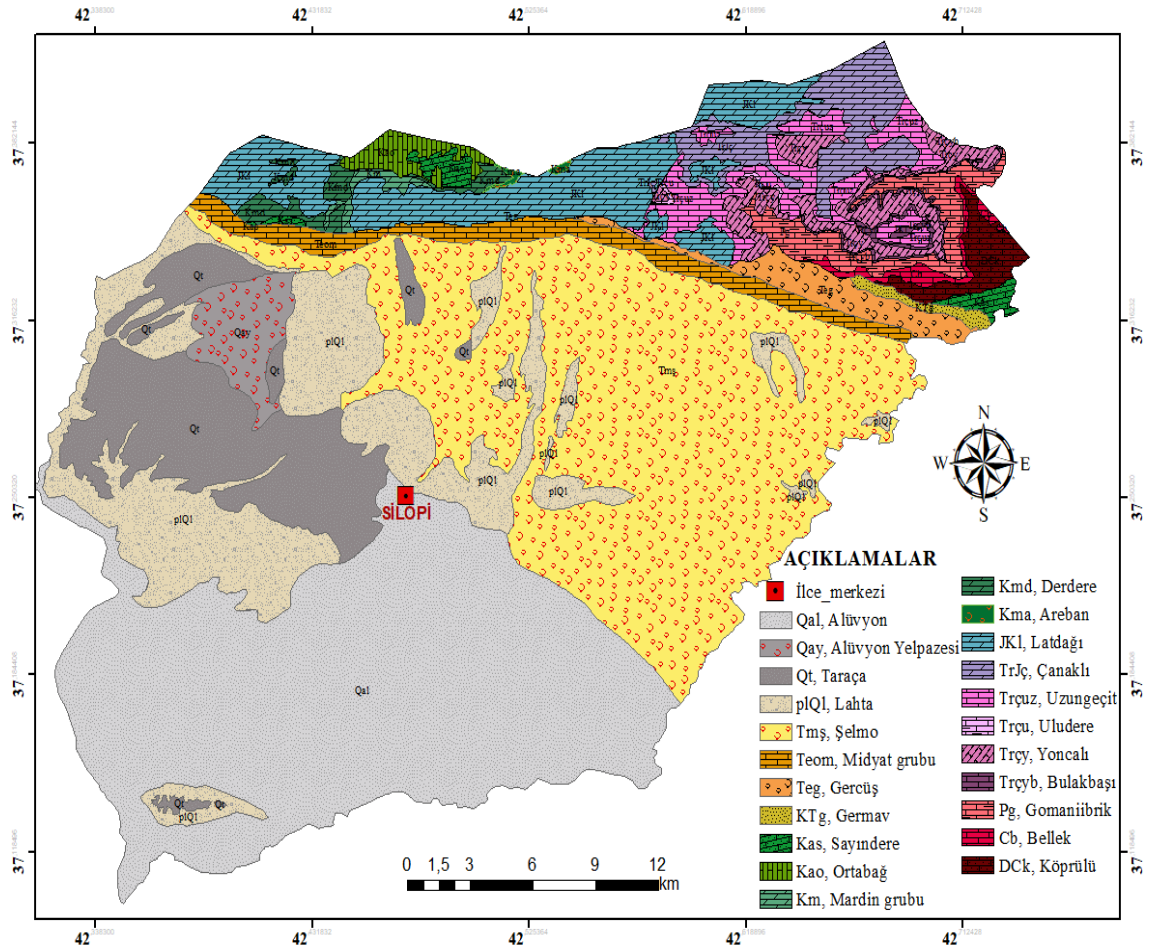


Şekil 1.9. İnceleme alanının 1970-2023 yılları arasına ait ortalama sıcaklık ve yağış grafiği (MGM, 2024b)

1.4. Çalışma Bölgesinin Jeolojisi

Arabistan Levhasının kuzeyinde yer alan ve Güneydoğu (GD) Anadolu coğrafi kuşağı olarak adlandırılan bölge, Türkiye'nin orojenik yapısında yer alan Alpin tektonostratigrafik birliklerden birini oluşturmaktadır. Güneydoğu Anadolu Kuşağı olarak bilinen bu platform, temel olarak Bitlis Pütürge Kristalin Karmaşığı ve Güneydoğu Anadolu Otoktonu (GDAO) kayaçlarını içermektedir (Göncüoğlu vd., 1997).

Araştırma sahası olarak belirlenen Şirnak ili ve Silopi ilçesi, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin Dicle Bölümü'nde yer almakta olup, Güneydoğu Anadolu Otoktonu (GDAO) olarak adlandırılan ve otokton kaya birimlerini içeren yapı içerisinde bulunmaktadır. GDAO, Arap Levhasının kuzey uzantısını oluşturmakta ve Prekambriyenden Kuvaterner'e kadar uzanan yaş aralığındaki sedimanter çökellerden oluşmaktadır. Çalışma alanındaki GDAO birimleri, Şekil 1.10'da görüldüğü üzere, Üst Devoniyen–Alt Karbonifer yaşlı Köprülü Formasyonu ile başlamakta olup sırasıyla; Alt Karbonifer yaşlı Belek, Alt Triyas yaşlı Yoncalı, Uludere ve Uzungeçit formasyonları; Orta Triyas–Alt Kretase yaşlı Çanaklı ve Latdağı formasyonları; Cudi Grubu; Apsiyen–Alt Sanoniyen yaşlı Derdere Formasyonu ve Mardin Grubu; Kampaniyen yaşlı Ortabağ ve Sayındere formasyonları; Adıyaman Grubu; Kampaniyen yaşlı Bozova ve Üçkiraz, Eosen–Oligosen yaşlı Germav, Eosen yaşlı Gercüş formasyonları ile Midyat Grubu; Orta–Üst Miyosen yaşlı Şelmo, Pliyo–Kuvaterner yaşlı Lahta formasyonları; Kuvaterner yaşlı Taraça (eski akarsu çökelleri), bazaltlar ve en üstte Kuvaterner yaşlı alüvyon birimlerinden oluşmaktadır (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü [MTA] 2007a, MTA, 2007b).



Şekil 1.10. İnceleme alanının jeoloji haritası

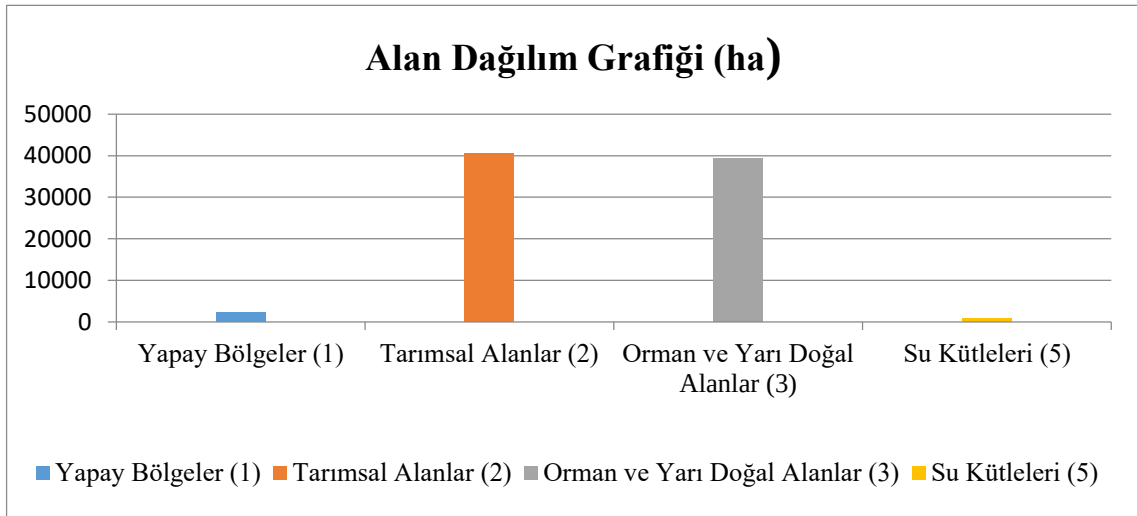
Silopi ilçesi ve Silopi Ovası'nda bu birimlerden özellikle Alüvyon, Taraça (Eski Akarsu Çökelleri), Bazalt ve Lahta Formasyonu geniş bir alana yayılmaktadır. Pliyo-Kuvaterner yaşlı Lahta Formasyonu, konglomera, kumtaşı ve çamurtaşı gibi kırıntılı kayalardan oluşmakta ve eski akarsu çökelleri, alüvyon yelpazeleri, bazaltlar ile alüvyonları içermektedir. Çalışma alanında en genç kaya birimleri, çakıl, blok, kum ve siltlerden oluşan alüvyonlardır (MTA, 2007a, MTA, 2007b).

Silopi bölgesi ve çevresinde Neojen dönemine ait katmanlar, çoğunlukla konglomera ve kum (grek) serilerinden oluşmaktadır. Bu serilerin alt bölümleri kısmen denizel özellik gösterirken, üst bölümleri karasal fasiyes karakterindedir (Altınlı, 1966). Bazaltik yaygılar ise Cizre'nin doğusuna kadar uzanır ve buradan itibaren Silopi Ovası'na kadar geniş, eski alüvyon düzlükleri ile yer değiştirir (Arıncı, 2011).

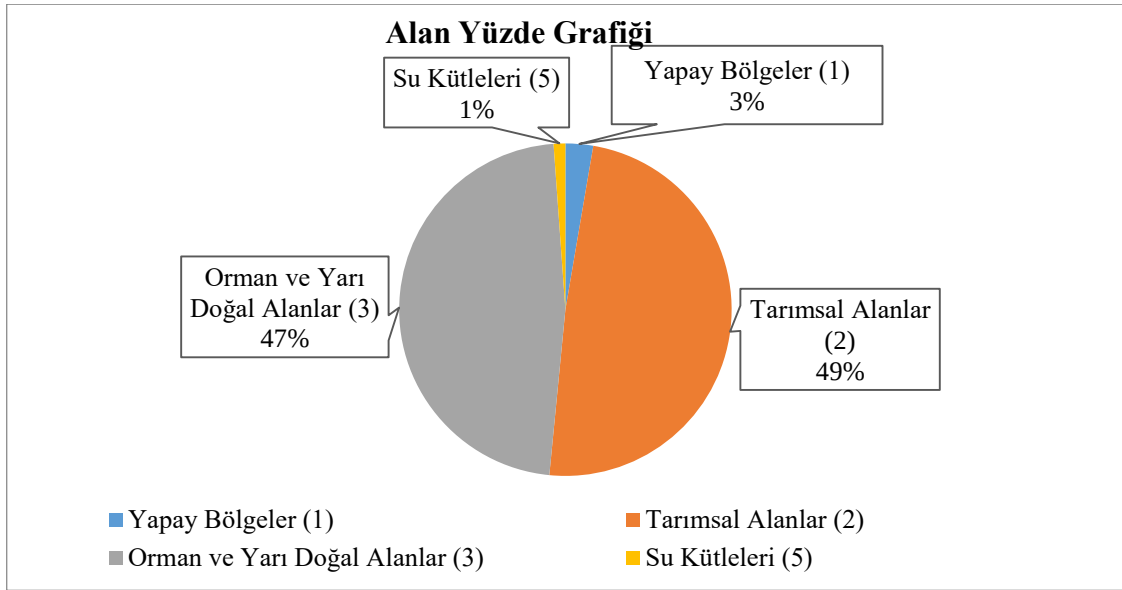
1.5. Çalışma Bölgesinin Arazi Kullanımı

Çalışma alanı, Silopi ilçesinin sınırları içinde yer almakta olup, bu alanın toplam büyüklüğü 730 km²'dir (göl hariç). Silopi, Şırnak ilinin en büyük ikinci kenti olup, ilçenin sınır alanı başına düşen nüfus yoğunluğu 166,3 kişi/km²'dir (Dicle Kalkınma Ajansı [DİKA], 2017). Silopi bölgesi, iki farklı yeryüzü şekline sahip bir yapıya sahiptir. İlçenin kuzey kısmı dağlık bir yapıya sahipken, güney kesimlere doğru inildikçe geniş düzlüklere sahip bir bölgeye dönüşür ve burada Türkiye'nin en önemli ovalarından biri olan Silopi Ovası yer alır. Corine (2018) projesi verilerine göre, Silopi geniş ve verimli tarım alanlarına sahip olup, topraklarının %49'u tarıma elverişli ekilebilir alanlardan oluşmaktadır. %47'lik kısmı ise orman ve yarı doğal alanlardır. Ayrıca, %3'lük bir alan yapay bölgeler, %1'lik bir alan ise su kütleleri ile kaplanmaktadır.

İlçenin sahip olduğu arazilerin alan dağılım grafiği Şekil 1.11. ve alan yüzde grafiği Şekil 1.12. sunulmuştur.



Şekil 1.11. Silopi ilçesi arazi kullanım alan dağılım grafiği (Corine, 2018)



Şekil 1.12. Silopi ilçesi arazi kullanım alan yüzde grafiği (Corine, 2018)

İlçe sınırları içindeki arazilerin detaylı kullanım alanları ve oranları Tablo 1.2.'de sunulmuştur.

Tablo 1.2. Silopi ilçesi detaylı arazi kullanım verileri (Corine, 2018)

Katman	Alan (ha)	Yüzde (%)
Sulanmayan Ekilebilir Alanlar	23251,04	28,03
Seyrek Bitki Alanları	15240,19	18,37
Sürekli Sulanan Alanlar	9187,5	11,08
Bitki Değişim Alanları	8958,01	10,8
Doğal Çayırliklar	5235,36	6,31
Geniş Yapraklı Ormanlar	4524,96	5,45
Çıplak Kayalık	4347,77	5,24
Doğal Bitki Örtüsü İle Karışık Tarım Alanları	4160,57	5,02
Mera Alanları	3048,71	3,68
Su Yolları	902,5	1,09
Sulanmayan Karışık Tarım Alanları	874,5	1,05
Karışık Ormanlar	821,26	0,99
Sürekliliği Olmayan Kırsal Yerleşim Alanları	688,3	0,83
Sürekliliği Olmayan Yerleşim Alanları	605,88	0,73
Karayolları, Demiryolları ve İlgili Alanlar	427,87	0,52
İnşaat Sahaları	212,05	0,26
Sürekli Şehir Yapısı	126,7	0,15
Sahiller, Kumsallar, Kumluklar	126,23	0,15
Endüstriyel ve Ticari Birimler	103,89	0,13
Maden Çıkarım Sahaları	67,49	0,08
Su Kütleleri	40,08	0,05

1.6. Kaynak Araştırması

Aller vd. (1987), yedi parametreden oluşan indeks tabanlı bir yöntem olan DRASTIC metodunu geliştirmiş ve önermiştir.

Bariş (2008), İzmir ilinin güneybatısında yer alan ve kentin içme suyunun %34'ünü sağlayan Tahtalı Baraj Havzası'nın hidrojeolojik özelliklerini doktora tezinde incelemiş ve havzanın yeraltı suyu duyarlılığını AHS-DRASTIC yöntemlerini kullanarak değerlendirmiştir.

Şener ve diğerleri (2009), çalışmalarında Senirkent-Uluborlu Havzası'nın yer altı suyu hassasiyetini CBS tabanlı DRASTIC ve AHS yöntemleriyle değerlendirmiş ve havzanın %17,71'lik kısmının yüksek hassasiyet gösterdiğini tespit ederek akifer duyarlılık haritalarını oluşturmuşlardır.

Şener (2011), Yüksek lisans tezi çalışmasında Eğirdir Gölü Havzası'nın yer altı suyu hassasiyetini CBS tabanlı DRASTIC yöntemi ile modifiye-DRASTIC-AHP yöntemlerini kullanarak incelemiştir.

Türkay (2015), Köyceğiz-Dalyan Havzası'nın yer altı suyu kirlenme potansiyelini DRASTIC yöntemiyle değerlendirdiği yüksek lisans tezinde, havzanın ve kısmen koruma altında bulunan lagün ekosisteminin yer altı suyuna bağımlı olduğunu vurgulamıştır. Bu nedenle, yer altı suyu hassasiyetindeki değişimlerin lagünleri de etkileyebileceğine dikkat çekmiştir. Ayrıca, havzanın % 24,4'ünün çok yüksek, % 8,3'ünün ise yüksek düzeyde yer altı suyu hassasiyetine sahip olduğunu belirlemiştir.

Yavuz (2017) "Batman Ovası'nın Yeraltı Suyu Potansiyeli ve Kalitesinin Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ile Modellenmesi" başlıklı doktora teziyle yaptığı çalışmasında, Batman ilinin % 81,69'unun düşük hassasiyet düzeyine sahip olduğunu ve kirlenme riski taşımadığını belirlemiştir. Ayrıca, kuyu verilerinden faydalanarak su kalitesi analizleri gerçekleştirmiştir.

Arkoç (2018) "Trakya Bölgesi Hayrabolu Havzasında Akiferin Kirlenmeye Karşı Duyarlılığının DRASTIC ve DRASTIC-AHS Yöntemleri ile Haritalanması" başlıklı çalışmasında, akiferin %28,2'sinin kirlenmeye karşı yüksek bir hassasiyete sahip olduğunu belirlemiştir. Çalışmasında, yaptığı haritaların doğruluğunu nitrat konsantrasyonu değerleriyle değerlendirmiş ve Hayrabolu Nehri'nin geçtiği yerdeki alüvyon akiferinin ciddi bir risk altında olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Sayılgan'ın (2019) "Göksu Deltası'nda Kıyı Akiferinin Yeraltı Suyu Hassasiyetinin CBS Tabanlı DRASTIC Metodu ile Belirlenmesi" başlıklı yüksek lisans

tezinde, kıyı akiferinin kirlenmeye karşı alansal hassasiyet eğilimleri analiz edilmiştir. Araştırma sonucunda, akiferin %0,001'lik kısmının çok yüksek, %22,69'luk kısmının yüksek, %49,8'lik kısmının orta ve %27,2'lik kısmının düşük hassasiyet düzeyinde olduğu saptanmıştır.

Kösen (2019), Silopi şehrinin fonksiyonel özelliklerini coğrafi faktörlerle ilişkilendirerek mevcut sorunları tespit etmeye ve tespit ettiği sorunlara yönelik çözüm önerileri sunmak amacıyla bir yüksek lisans çalışması gerçekleştirmiştir.

Tabatabaei (2019), doktora tezinde Gümüşhacıköy-Merzifon Havzası'nda yer altı sularının duyarlılığını değerlendirmek amacıyla DRASTIC yönteminin yedi katmanını kullanmış ve CBS ortamında havzanın duyarlılık haritasını oluşturmuştur. Ayrıca, duyarlılık haritalarını Fuzzy ve Catastrophe modelleriyle optimize ederek geliştirmiştir.

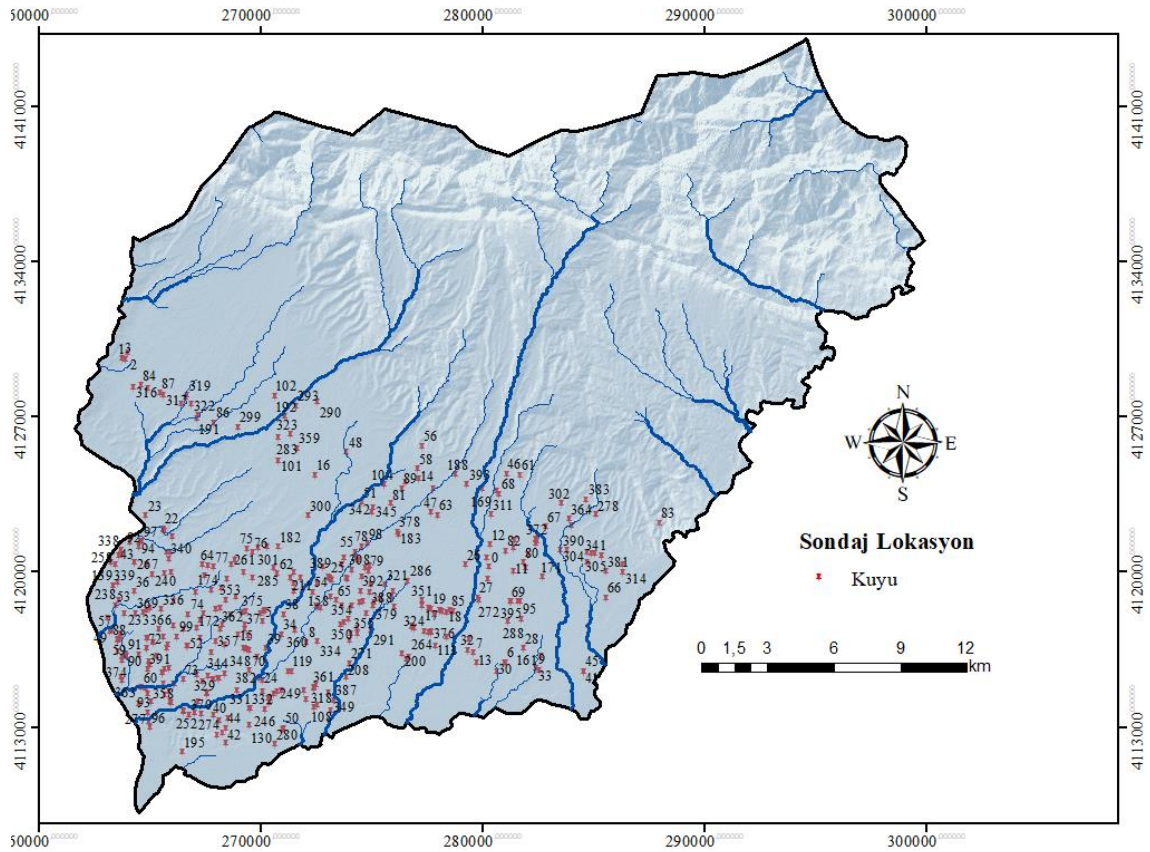
Arra (2021), Karacabey ve Mustafakemalpaşa ovalarında yeraltı suyu kirlenebilirliğini değerlendirmek amacıyla CBS tabanlı DRASTIC yöntemini yüksek lisans tezinde kullanmıştır. Tezde, çalışılan alanın %16,3'ü düşük, %18,8'i orta, %39'u yüksek ve %25,5'i çok yüksek kirlenebilirlik sınıfında belirlenmiştir. Ayrıca, duyarlılık analizi yapılarak net beslenme ve hidrolik iletkenliğin en etkili parametreler olduğu tespit edilmiştir.

Yüksel'in (2023) "Bismil Ovası (Diyarbakır) Yeraltı Sularının Kirlenmeye Karşı Hassasiyetinin DRASTIC Yöntemiyle Hesaplanması" başlıklı çalışmasında, 942 sondaj verisi değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında oluşturulan DRASTIC indeksine dayalı hassasiyet haritası, ovanın toplam alanının %64'nün düşük, %18'nin orta ve %8'nin ise yüksek hassasiyet kategorisinde olduğunu ortaya koymuştur.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma kapsamında, Silopi ilçesinde kamu kurumları ve özel şahıslar tarafından açılan ve Devlet Su İşleri (DSİ) Müdürlüğü tarafından kontrol edilerek kullanıma uygun bulunan sondaj verileri kullanılmıştır (Şekil 2.1.).

DSİ'den alınan bu veriler, uydu destekli olarak veri-konum uyumu, veri güvenliği ve uyumsuzluk analizlerine tabi tutulmuş, değerlendirme sonucunda geçerli kabul edilen 397 adet sondaj verisi coğrafi bilgi sistemi yazılımı ArcGIS 10.8 ile incelenmiştir.



Şekil 2.1. İnceleme alanında değerlendirilen sondaj kuyularının lokasyon haritası

Çalışma sırasında yararlanılan verilerin anlamlılığını artırmak amacıyla, Japonya Uzay Araştırma Ajansı'na (JAXA) ait ALOS PALSAR uydusu tarafından sağlanan ve 12,5 metre hassasiyete sahip sayısal yükseklik modelinden (SYM) yararlanılmıştır. Bu model kullanılarak, çalışma alanına ait kabartma haritası, eğim haritası hazırlanmıştır. Ayrıca, MTA Genel Müdürlüğü tarafından oluşturulan Cizre N48-N49 Paftalı jeoloji

haritası, ArcGIS programı yardımıyla sayısallaştırılarak kabartma haritasına entegre edilmiştir.

Toprak ortamı hesaplamalarında, bölgenin önceki çalışmalarda belirtilen toprak yapısı bilgileri ile CORINE projesinden elde edilen veriler kullanılmıştır. Tüm haritalar, UTM projeksiyon sistemi ve European ED 1950 datum temel alınarak oluşturulmuştur.

2.1. Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS)

"Geography Information System (GIS)" terimi, Türkçe'de "Geography = Coğrafya", "Information = Bilgi" ve "System = Sistem" kelimelerinin karşılıklarıyla "Coğrafi Bilgi Sistemi" olarak ifade edilmektedir ve Türkiye'de genellikle CBS kısaltmasıyla tanınmaktadır.

CBS, mekânsal veya coğrafi veri setlerinin bir sistem içerisinde toplanmasını, depolanmasını, analiz edilmesini, görselleştirilmesini ve sunulmasını sağlayan bilgisayar tabanlı bir sistem ve yazılım bütünüdür (Singh & Fiorentino, 1996; Stillwell & Clarke, 2004; Taşdemir ve Çam, 2024). Bu sistemin temel kullanım alanları, haritalama, veri ön analizi, modelleme ve politika geliştirme olmak üzere dört ana başlıkta toplanmaktadır (Singh & Fiorentino, 1996; Yavuz, 2017).

CBS, grafiksel veriler (raster ve vektör) ile grafik dışı verilerin (veri tabanları) birleştirilmesiyle tematik haritalar üretme imkânı sunar. Bu haritalar, dünya genelinde yaygın kullanılan ArcGIS, MapInfo, QGIS ve SYMAP gibi CBS yazılımları kullanılarak hazırlanabilir.

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), birçok farklı alanda geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir ve şu başlıklar altında değerlendirilebilir:

- Jeoloji ve Yer Bilimleri
- Su Kaynakları ve Hidroloji
- Coğrafya
- Tarım ve Gıda
- Ormancılık
- Petrol ve Maden Arama
- Kentsel Planlama
- Ulaşım ve Lojistik (Navigasyon, araç takip, taşımacılık vb.)
- Haritacılık
- Sağlık

- Afet Yönetimi
- Askeri ve Güvenlik Uygulamaları
- Meteoroloji
- Turizm ve Rekreasyon

Bu ana başlıkların her biri altında pek çok alt dal bulunmaktadır. CBS, sahip olduğu bu çeşitlilik sayesinde birçok sektörde etkili bir şekilde kullanılmaktadır.

2.2. Yeraltı Suyu Hassasiyeti

Su, yaşamın sürdürülebilmesi için en temel unsurlardan biridir ve tüm canlıların varlığı için vazgeçilmezdir. Bu denli hayati öneme sahip olan su, yeryüzünde en yaygın bulunan organik maddelerden biridir ve sürekli bir döngü içerisinde. "Su döngüsü" olarak adlandırılan bu süreçte, su atmosfer ile yeryüzü arasında kesintisiz bir hareket halindedir. Güneş'ten gelen enerji, deniz yüzeyindeki saf suyun buharlaşarak atmosfere karışmasına yol açar; bu sırada çözünmüş iyonlar suda kalır. Bu durum, zamanla deniz ve okyanus sularındaki tuz oranının artmasına neden olur. Okyanus ve denizlerdeki tuzlu sular, su döngüsüne dahil olarak yayılan ısı ile etkisiyle buharlaşır ve atmosfere karışır.

Atmosferde yoğunlaşan su buharı bulutları oluşturur ve ardından yağmur olarak tekrar yeryüzüne iner. Yağmur suyu, bulunduğu bölgenin iklim, jeolojik yapısı ve coğrafi özelliklerine bağlı olarak ya yüzey akışlarıyla göl ya da denizlere ulaşır ya da yeraltına sızarak tatlı suyun en önemli kaynağı olan yeraltı sularını oluşturur. Yeraltı suları, yüzeyden sızan suların gözenekli (kumtaşı, çakıl taşı gibi) veya çatlaklı-kırıklı (örneğin kireçtaşı) kayaların içindeki boşlukları doldurmasıyla meydana gelir. Bu tür kayalar, suyu biriktirme özelliğinden dolayı "akifer" olarak adlandırılır.

Yeraltı sularının oluşabilmesi için, gözenekli kayaların veya tabakaların yüzeyde açıkta bulunması, yani yeryüzüyle bağlantılı olması gerekir. Eğer bu bağlantı sağlanamazsa, su yeraltına sızamaz ve dolayısıyla yeraltı suyu da meydana gelemez (Su Üreticileri Derneği [SUDER], 2024).

Yeraltı suyu hassasiyeti kavramını tanımlamak için günümüze kadar çeşitli tanımlar geliştirilmiştir. 1960'lı yıllarda Fransa'da Margat (1968) tarafından, yeraltı suyunun yüzeysel kirlenmeye karşı duyarlılığına dayalı bir kavram geliştirilmiştir. Daha sonra "akifer kirliliği kırılganlığı" ya da "yeraltı suyu hassasiyeti" terimi, akiferlerin yüzeyden gelen kirleticilere karşı gösterdiği duyarlılığı değerlendirmek için kullanılmaya

başlanmıştır. Bu kavram, zaman içinde, yeraltı suyu kirliliğinin farklı bölgelerdeki etkilerini analiz etmek için bir araç olarak geliştirilmiştir.

Amerikan Ulusal Araştırma Konseyi [NRC] (1993), yeraltı suyu hassasiyetini “Bir kirleticinin, akiferin yüzeyindeki herhangi bir noktadan sisteme girdikten sonra yeraltı suyunda belirli bir noktaya ulaşma olasılığı” olarak tanımlamıştır. Başka bir deyişle, kırılgenlik, bir akiferin kirleticilere karşı duyarlılığını ve zamanla kirlenme riskini ifade etmektedir (Liggett & Talwar, 2009).

Vrba ve Zaporozec (1994), yeraltı suyu sistemlerini “doğal etkiler veya insan faaliyetleri gibi dış faktörlere karşı gösterdikleri duyarlılık” ile tanımlamışlardır. Bu tanım, yeraltı suyu sistemlerinin çevresel ve insan kaynaklı tehditlere karşı ne kadar hassas olduğunu ifade etmektedir.

Yeraltı suyu hassasiyeti, bir kirleticinin kaynaktan çıkıp alıcı ortama ulaşma sürecindeki kolaylık veya zorlukla doğrudan bağlantılıdır. Bu kavram, kirleticili kaynak ile alıcı ortam arasındaki geçiş yolunu, yani çevresel faktörleri ve jeolojik özellikleri dikkate alır. Başka bir deyişle, kirleticili maddelerin çevreye ne kadar hızlı veya yavaş sızabileceği, yeraltı suyu sisteminin hassasiyetini belirleyen temel unsurlardan biridir. Bu model, kirlenme süreçlerinin analizinde kullanılan başlıca yöntemlerden biri olarak öne çıkar.

Yeraltı suyu hassasiyeti, doğrudan ölçülebilen bir özellik olmaktan ziyade, belirli bölgelerin yeraltı suyu kirliliğine diğerlerine göre daha duyarlı olabileceğini öngörmek için kullanılan bir kavramdır. Bu hassasiyet, bölgenin doğal koruma mekanizmalarına bağlı olarak farklılık gösterir. Başka bir deyişle, bir alanın yeraltı suyu kirliliğine karşı duyarlılığı, o bölgenin jeolojik, hidrolojik ve çevresel özelliklerine bağlı olarak değişkenlik gösterir (Gogu & Dassargues, 2000). Bu yaklaşım, yeraltı suyunun korunmasına yönelik stratejilerin oluşturulmasında önemli bir rol oynar.

Kirlenme hassasiyeti doğrudan ölçülebilen bir özellik olmadığı için değerlendirmeler genellikle iki farklı yöntemle yapılır. Birinci yöntem, kirleticinin izlediği yol ve bu yolun geçtiği çevresel koşulların, özellikle de yeryüzü özelliklerinin dikkate alınmasıyla özel hassasiyet düzeyinin belirlenmesidir. Özel hassasiyet düzeyi, kirleticinin taşınım mekanizmalarını (difüzyon, dispersiyon, biyolojik ayrışma vb.) ve bu süreçlerin gerçekleştiği ortamın doğal özelliklerini kapsamlı bir şekilde değerlendirmeyi içerir. İkinci yaklaşım ise, akiferdeki suyun ve akiferin çevresinin doğal özelliklerini göz önünde bulunduran içsel hassasiyet düzeyidir. Bu iki yöntem, kirlenme riskini değerlendirirken farklı çevresel unsurları göz önünde bulundurur.

Akiferlerin kirlenme riskini değerlendirmek için hassasiyet haritaları hazırlanır. Bu haritalar, yeraltı suyunun hidrojeolojik yapısı ve insan etkileri gibi unsurların neden olabileceği kirlenme riskinin yüksek olduğu bölgeleri belirlemeyi amaçlar. Bu sayede, risk altındaki alanların korunması ve yönetimi için daha etkili çözümler oluşturulabilir.

Yeraltı suyu hassasiyet haritalarının oluşturulmasında dört ana yaklaşım kullanılmaktadır (Wang & Yang, 2008). Bu yaklaşımlar şu şekilde sınıflandırılabilir: (a) süreç odaklı yöntemler, (b) gözleme dayalı yöntemler, (c) istatistiksel analiz yöntemleri ve (d) indeks temelli yöntemler. Her bir yaklaşım, yeraltı suyu kirliliği riskini değerlendirmek için farklı veri türlerini ve analiz tekniklerini içermektedir.

- **Süreç Odaklı Yöntemler:** Bu yaklaşım, kirleticinin kaynağının konumu, kirleticinin yeraltı suyuna olan uzaklığı ve yeraltı suyu biriminin özelliklerini değerlendirerek analiz yapar.
- **Gözlem Temelli Yöntemler:** Hassasiyet haritaları, gözlem kuyularından elde edilen kirlilik verileri temel alınarak oluşturulur. Ancak bu yöntemde, kirleticinin kaynağının yeri ve yeraltı suyuna olan mesafe göz önünde bulundurulmaz.
- **İstatistiksel Analiz Yöntemleri:** Mevcut veriler kullanılarak, eksik veri bulunan bölgeler için çeşitli ilişkilendirmeler yapılır ve analiz gerçekleştirilir. Bu yöntemle hassasiyet haritaları hazırlanırken, genellikle yeraltı suyu hareketine yer verilmez.
- **İndeks Temelli Yöntemler:** Kirleticinin yeraltı suyuna ulaşırken izlediği yol ve bu yolun özellikleri dikkate alınır. Hassasiyet haritalarının hazırlanmasında, kirleticinin geçtiği ortamların fiziksel ve kimyasal nitelikleri ayrıntılı bir şekilde analiz edilir.

Yeraltı suları, genellikle geçirgen tabakaların bulunduğu bölgelerde ve jeolojik ile jeomorfolojik olarak çöküntü alanlarında birirmektedir. Bu bağlamda, Türkiye’de yeraltı sularının en yoğun şekilde bulunduğu ve en fazla yararlanıldığı bölgelerden biri de Silopi-Cizre alt havzasıdır.

Silopi ilçesi, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin Dicle bölümünde yer almakta olup, Güneydoğu Anadolu otoktonuna (GDAO) ait kaya birimlerini temsil eder. GDAO, Arap levhasının kuzey uzantısı olarak tanımlanmakta ve Prekambriyen'den Kuvaterner'e kadar uzanan yaş aralığında sedimanter çökellerden oluşmaktadır. Silopi ve çevresinde, bu otokton birimler içerisinde geniş bir yayılım gösteren Alüvyon, Taraça (eski akarsu çökelleri), Bazalt ve Lahta formasyonları bulunmaktadır (MTA, 2007a, MTA, 2007b). Pliyo-Kuvaterner yaşlı kırıntılı kayaçlar (konglomera, kumtaşı, çamurtaşı) içeren Lahta formasyonu bölgedeki en genç kaya birimlerini meydana getiren eski akarsu çökelleri,

alüvyon yelpazeleri, bazaltlar ve alüvyonları içerir. Alüvyonlar, çakıl, kum ve silt gibi birimlerden oluşur (MTA, 2007a, MTA, 2007b).

Silopi Ovası'ndaki akifer birimleri serbest akifer niteliği taşımaktadır. Pliyosen-Kuvaterner yaşlı Lahta formasyonunun çakıl ve konglomera içeren seviyeleri, yeraltı suyu kullanımı ve verim açısından büyük bir öneme sahiptir. Yeraltı suyu akış yönü ise, Silopi Ovası'nın kuzeyinden güneye doğru ilerleyerek Hezil Suyu'na ulaşmaktadır.

Silopi ovasında bulunan Pliyosen yaşlı formasyonlar, önemli bir akifer özelliği taşımaktadır ve konglomera ile kumtaşı birimlerinden yeraltı suyu temin edilmektedir. Akiferin toplam rezervi yaklaşık 155 milyon m³/yıl olarak hesaplanmış olup, bu miktarın yaklaşık 100 milyon m³/yıl kadarı emniyetli verim olarak değerlendirilmektedir (TOB, 2016). Silopi ilçesinde, Dicle Nehri'ne yakın alanlarda bulunan sığ kuyular yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ovanın üst kısımlarında ise Lahta ve Şelmo formasyonlarının kumtaşı ve çakıltası tabakalarından su temin eden kuyular mevcuttur. Bu kuyuların su verimi genellikle 20-40 lt/sn arasında değişmektedir (Çevresel Etki Değerlendirmesi İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü [ÇED], 2018). Yeraltı suyu kalitesi açısından ise herhangi bir sorun tespit edilmemiştir.

Yeraltı suyu hassasiyetinin belirlenmesi için birçok yöntem geliştirilmiştir. Geçirgen akiferlerin hassasiyet haritalarını oluşturmak amacıyla DRASTIC (Aller et al., 1987), GOD (Foster, 1987), AVI (Stempvoort et al., 1993), SINTACS (Civita, 1994), ISIS (Civita & De Regibus, 1995) ve SEEPAGE (Navulur, 1996) gibi yöntemler kullanılmaktadır.

Karstik akiferlerin hassasiyetini belirlemek için EPIK (Dörfliger et al., 1999), PI (Goldscheider et al., 2000) ve COP (Vias et al., 2006) yöntemleri geliştirilmiştir (Büyükdemirci, 2012). Bu yöntemler, farklı jeolojik koşullara uygun olarak yeraltı suyu koruma çalışmalarında önemli bir rol oynamaktadır. Bu çalışmada ise yeraltı suyu hassasiyetinin değerlendirilmesi için index tabanlı yöntemler içinde olan DRASTIC metodu tercih edilmiştir.

2.3. DRASTIC Yöntemi

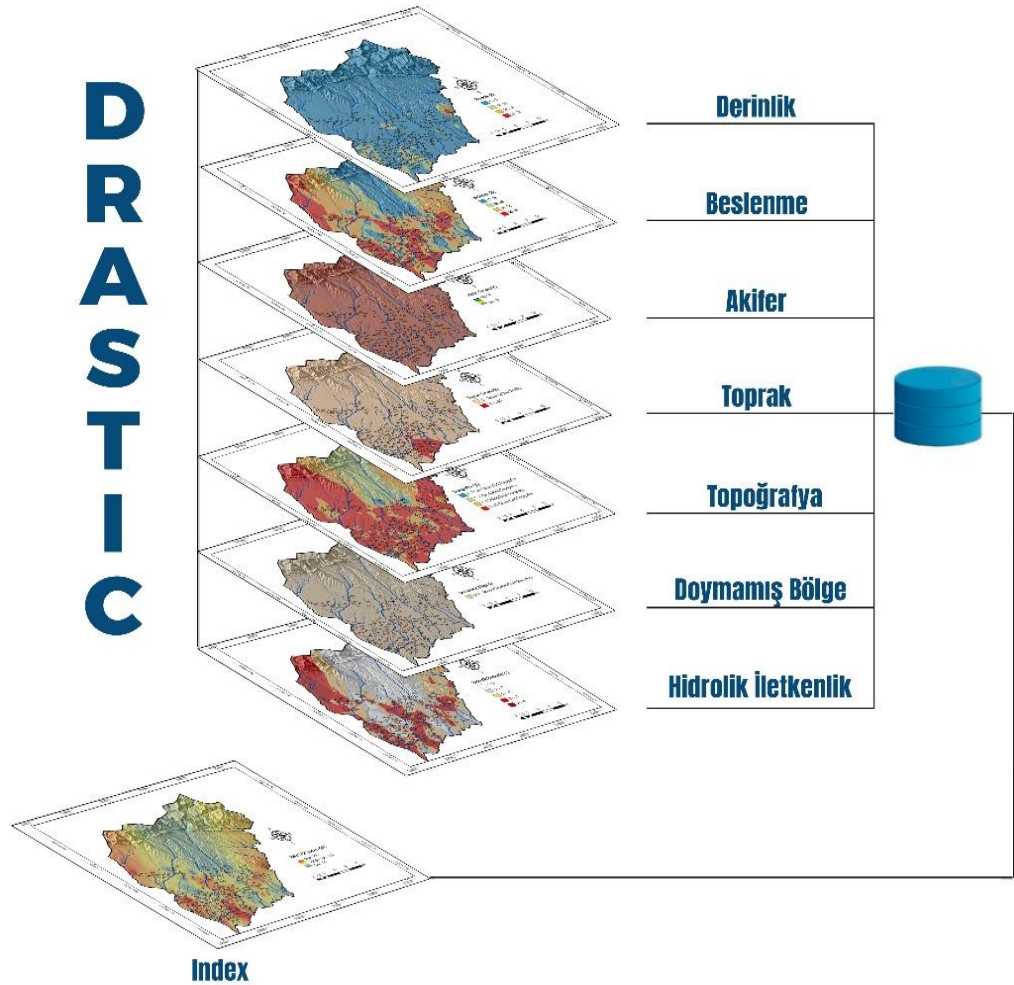
DRASTIC modeli, yeraltı suyu kaynaklarının kirlenme potansiyelini değerlendirmek ve bu kaynakları korumak amacıyla geliştirilmiştir. 1987 yılında Aller ve ekibi tarafından ABD Çevre Koruma Ajansı'nın (USEPA) katkılarıyla tasarlanan bu

yöntem, sürdürülebilir su yönetimi ve çevresel risk analizlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

DRASTIC kısaltması yöntemin değerlendirme kriterlerini temsil eden yedi hidrojeolojik ölçüte atıfta bulunur. Bu ölçütler sırasıyla;

1. **D** - Depth to water (Yeraltı suyunun derinliği)
2. **R** - Net Recharge (Şarj oranı/Net beslenme)
3. **A** - Aquifer media (Akifer ortamı)
4. **S** - Soil media (Toprak ortamı)
5. **T** - Topography/slope (Topografya/eğim)
6. **I** - Unsaturated Zone (Vados Zone) (Doymamış Bölge (Vadoz zon) Etkisi)
7. **C** – Hydraulic Conductivity (Hidrolik iletkenlik)

Bu parametreler yeraltı suyu kirlenme potansiyelini kontrol eden haritalanabilen en önemli faktörlerdir (Şekil 2.2.).



Şekil 2.2. DRASTIC yöntemi akış diyagramı

DRASTIC yöntemi temel olarak iki aşamadan oluşmaktadır:

1. Hidrojeolojik açıdan önemli ve haritalanabilir parametrelerin belirlenerek sınıflandırılması,
2. Sınıflandırılan bu parametrelerin, yöntemle özgü katsayılar kullanılarak ağırlıklandırılması (Aller et al., 1987).

Birinci aşama, suyun hareketine etki eden tüm hidrojeolojik ve jeolojik unsurları kapsamaktadır. Bu aşamada ele alınan haritalanabilir hidrojeolojik parametreler suyun hareketi ve sürekliliği üzerinde etkili olan faktörleri yansıtmaktadır. İkinci aşamada ise bu parametreler göreceli olarak derecelendirilmekte ve bu derecelendirme sonucunda bir indeks hesaplanmaktadır. Söz konusu indeks, yeraltı suyunun kirlenebilirliğine ilişkin önemli veriler sağlamaktadır (Aller et al., 1987).

DRASTIC yöntemi, dört temel ilke göz önünde bulundurularak geliştirilmiştir:

1. Kirletici, yüzeyde (toprak üzerinde) bulunmaktadır.
2. Kirletici, yağmur suları aracılığıyla yeraltı suyuna ulaşabilir.
3. Kirletici, suyun hareketine bağlı olarak yer değiştirebilir.
4. DRASTIC yönteminin uygulanacağı alanın büyüklüğü, en az 0,4 km² olmalıdır (Aller et al., 1987).

Yeraltı suyu kirlenme potansiyelini belirlemek amacıyla DRASTIC parametreleri, sayısal bir derecelendirme yöntemi ile değerlendirilir. Bu yöntem iki ana aşamadan oluşur: Parametrelerin derecelendirilmesi (Rating) ve ağırlıklandırılması (Weights).

DRASTIC yönteminde, her bir harf, hidrojeolojik açıdan haritalanabilir bir parametreyi simgelemektedir. Bu parametrelerin kirlilik üzerindeki etkisi belirli ağırlık değerleriyle tanımlanmıştır. Aller vd. (1987) tarafından belirlenen bu ağırlık değerleri, Tablo 2.1.'de detaylı olarak açıklanmıştır ve kullanıcıların bu değerleri değiştirmesi engellenmiştir.

Tablo 2.1. DRASTIC yöntemi parametrelerine ait ağırlık katsayıları (Aller et al., 1987)

Sembol	DRASTIC Parametre	Ağırlık(Weights)
D	Yeraltı Suyuna Uzaklık	5
R	Net Beslenim	4
A	Akifer Ortam	3
S	Toprak Ortamı	2
T	Topoğrafya/Eğim	1
I	Vadoz Zon	5
C	Hidrolik İletkenlik	3

Her parametrenin ağırlık değeri 1 ile 5 arasında belirlenmiş olup, yüksek bir değer parametrenin kirliliğe olan etkisinin büyük olduğunu, düşük bir değer ise bu etkinin diğer parametrelere göre daha az olduğunu gösterir.

Her bir parametre için belirlenen ağırlık değerlerinin yanı sıra, 1 den 10'a kadar reyting(sınıf) değerleri de atanmıştır. Bu reyting değerleri, belirli bir aralıktaki değerlere karşılık gelir ve her çalışma alanına özgü farklılık gösterebilir. Parametrelerin ağırlık ve sınıf değerlerinin çarpılmasıyla, her bir parametre için bir değer elde edilir. Elde edilen bu yedi parametre değerinin toplamı (Denklem 2.1) formülüne yerleştirilerek, DRASTIC İndeks değeri bulunur. DRASTIC İndeks değerinin düşük olması, yeraltı suyu hassasiyetinin az olduğunu, yüksek olması ise yeraltı suyu hassasiyetinin fazla olduğunu gösterir.

$$DI=(Dr \times Dw)+(Rr \times Rw)+(Ar \times Aw)+(Sr \times Sw)+(Tr \times Tw)+(Ir \times Iw)+(Cr \times Cw) \quad (2.1)$$

2.3.1. Yeraltı suyu derinliği (D)

DRASTIC yöntemine göre, yeraltı suyu kirlenmesine neden olan doğal ve yapay faktörler yeryüzünde bulunur, çünkü kirleticiler ve kirlenme kaynakları yer altına yüzeyden iner. Bu nedenle, yeraltı suyu derinliği çok önemli bir parametredir. Yeraltı suyu derinliği, serbest akiferlerde topoğrafik yüzey ile su yüzeyi arasındaki mesafeyi ve aynı zamanda doymamış bölgenin kalınlığını gösterir. Sınırlanmış akiferler serbest akiferin altında olması sebebiyle serbest akiferler kirlenmeye karşı daha hassastırlar. Yeraltı suyu seviyesinin yüzeye yakın olması, kirleticilere karşı yeraltı suyunun hassasiyetini artırır. Yeraltı suyu derinliği, metre (m) cinsinden değerlendirilir ve derinlik arttıkça, yeraltı suyunun kirlenme riski de azalır.

Çalışma alanındaki sondajlardan elde edilen derinlik verilerine dayanarak, her sondaj için yöntem tarafından önerilen sınıf aralığı belirlenmiştir (Tablo 2.2.). Bu süreçte, ilk olarak sondaj bilgilerine göre bir derinlik haritası oluşturulur. Ardından, her sondajın derinlik verilerine dayalı olarak uygun sınıf aralığına ait derinlik ölçütü reyting değerleri haritası (Dr) oluşturulur. Son olarak, yeraltı suyu derinlik ölçütü ağırlık (Dw) değeri ile çarpılarak yeraltı suyu derinlik değeri (D) hesaplanır (Denklem 2.2).

$$D=Dr \times Dw \quad (2.2)$$

Tablo 2.2. Derinlik ölçütüne ilişkin değerlendirme ve ağırlık katsayıları (Aller et al., 1987)

DRASTIC Parametre (D)	Sınıf Aralığı(r)	Reyting Değeri (Dr)	Ağırlık (Dw)
Yeraltı suyu derinliği (m)	0 - 1,52	10	5
	1,52 - 4,57	9	
	4,57 - 9,14	7	
	9,14 - 15,24	5	
	15,24 - 22,86	3	
	22,86 - 30,48	2	
	>30,48	1	

2.3.2. Beslenme (R)

Beslenme parametresi, genellikle yağışların etkisiyle yüzeyden doymamış bölgeye sızarak serbest akifere ulaşan net su miktarı olarak tanımlanır ve bu miktar mm/yıl birimiyle ifade edilir (Aller et al., 1987; Al-Zabet, 2002). Ayrıca, bir havzaya düşen yıllık yağışın bir kısmı yüzeysel akış yoluyla akarsulara, göllere ve denizlere taşınırken, geri kalan kısmı buharlaşma ile atmosfere karışır. Bu durum göz önüne alındığında, yıllık yağışın yaklaşık %30-40'ının akifere sızdığı kabul edilmektedir (Baalousha, 2006).

Beslenme değeri, bir ortamın geçirgenliği (permeabilite), topografik eğimi ve yıllık yağış miktarı kullanılarak hesaplanabilir (Piscopo, 2001). Piscopo (2001) tarafından önerilen denklem, çalışma alanında hesaplanan parametrelere dayalı sınıflandırma ile beslenme ölçütü reyting değerinin (Rr) belirlenmesine olanak sağlamaktadır (Tablo 2.3.). Çalışma alanındaki her sondaj noktası için yağış miktarı belirlenip ve buna uygun yağış (RA) oranı hesaplanır. Sayısal yükseklik modeli (DEM) kullanılarak alanın eğim haritası oluşturulur ve bu harita yardımıyla, denklemin diğer bir ölçütü olan topografya (T) tespit edilir. Akifer'in hidrolik iletkenliği ölçütüde değerlendirilerek buna bağlı olarak SP değeri hesaplanır.

Bu ölçütler kullanılarak aşağıdaki Rr reyting değeri bulunur (Denklem 2.3).

$$R=RA+T+SP \quad (2.3)$$

R: Beslenme miktarı RA: Yağış oranı T: Topoğrafya/eğim SP: Permeabilite

Bulunan değerler ile beslenmenin yönteme etkisi, beslenme reyting değeri (Rr) ve beslenme ölçütü ağırlık değeri (Rw) çarpılarak bulunur. (Denklem 2.4).

$$R=R_r \times R_w \quad (2.4)$$

Tablo 2.3. Beslenme ölçütüne ilişkin değerlendirme ve ağırlık katsayıları (Piscopo, 2001)

Yağış (mm/y)		Topografya (%Eğim)		Permeabilite		Beslenme Değeri	Reyting Değeri (Rr)	Ağırlık (Sw)
Aralık	RA	Aralık	T	Aralık	SP	Aralık		
<500	1	>33	1	Çok Düşük	1	3-5	1	4
500-700	2	10-33	2	Düşük	2	5-7	3	
700-850	3	2-10	3	Orta	3	7-9	5	
>850	4	<2	4	Yüksek	4	9-11	8	
				Çok Yüksek	5	11-13	10	

2.3.3. Akifer ortamı (A)

Su depolayabilen ve bu suyu iletebilme özelliğine sahip, suya doymun jeolojik yapılar akifer olarak adlandırılmaktadır. Kumtaşı, kilitaşı, çakıl, konglomera ve kireçtaşı gibi sedimanter kayaçların yanı sıra bazalt gibi volkanik kayaçlar ile bazı metamorfik ve diğcr kayaç türleri de akifer özellikleri gösterebilmektedir. Bu çeşitlilik, kayaçların geçirgenlik ve porozite özelliklerinden kaynaklanır. Tane boyutunun büyük olması ve akifer ortamında yarıklar ile boşlukların bulunması, ortamın geçirgenliğini artırarak akış hızını yükseltir ve bu durum akiferin kirlenme riskini büyütür. Bu nedenle, DRASTIC yönteminde akifer ortamı, kirleticilerin yeraltı suyuna ulaşma hızı ve kirlilik seviyesi üzerinde etkili olan önemli bir parametre olarak ele alınmaktadır (Aller et al., 1987).

Çalışma alanı için seçilen akifer ortamının, Tablo 2.4.'te sunulan sınıflamaya dayanarak ortalama sınıf değeri hesaplanır. Sınıf değerinin aralıklarla verilmesi, aynı litolojinin farklı jeolojik özellikler gösterebilmesinden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, alandaki birimlerin jeolojik analizleri sonucunda litolojiye uygun ortalama reyting değeri (Ar) belirlenir. Ardından, bu değcr, Akifer ölçütü değerinin etkisini yansıtan Akifer ölçütü ağırlık değeri (Aw) ile çarpılarak akifer ortamının etkisi hesaplanır (Denklem 2.5).

$$A=A_r \times A_w \quad (2.5)$$

Tablo 2.4. Akifer ortamı ölçütüne ilişkin değerlendirme ve ağırlık katsayıları (Aller et al., 1987)

Akifer Ortamı (A)	Sınıf Değeri	Ortalama Reyting Değeri (Ar)	Ağırlık (Aw)
Masif şeyl	1-3	2	3
Metamorfik/Volkanik kayaç	2-5	3	
Bozunmuş metamorfik/Volkanik kayaç	3-5	4	
Buzul çökeli	4-6	5	
Tabakalı kumtaşı, kireçtaşı ve şeyl	5-9	6	
Masif kumtaşı	4-9	6	
Masif kireçtaşı	4-9	8	
Kum ve çakıl	4-9	8	
Bazalt	2-10	9	
Karstik kireçtaşı	9-10	10	

2.3.4. Toprak ortamı etkisi (S)

Toprak ortamı (S), biyolojik faaliyetlerin en yoğun olduğu, doğal ve yapay kirleticilere direkt açık olması sebebiyle kirlilik kaynağına dönüşmüş doymamış bölgenin en üst kısmıdır. Yüzey suları ve yağışlar aracılığıyla topraktaki olumsuz etkiler toprak ortamından geçerek yeraltı suyuna iletilir.

Toprağın türü ve yapısı, yeraltı suyunun beslenme miktarını belirlemede önemli bir rol oynar ve kimyasal ile biyolojik kirleticilerin filtrelenmesinde kritik bir öneme sahiptir. Toprağın organik ve mineral bileşenleri, biyolojik ve kimyasal reaksiyonları etkileyerek kirletici maddelerin miktarını azaltır ve filtreleme etkisiyle sızma oranını düşürerek etkili bir rol oynar.

Aller vd. (1987) tarafından belirlenen toprak türleri için tespit edilen reyting değeri (Sr) ve toprak ortamı ölçüt ağırlığı (Sw) kullanılarak toprak ortamının hassasiyete etkisi belirlenir ve Tablo 2.5.'deki ortam ve değerlere göre hesaplanır (Denklem 2.6).

$$S = S_r \times S_w \quad (2.6)$$

Tablo 2.5. Toprak ortamı ölçütüne ilişkin değerlendirme ve ağırlık katsayıları (Aller et al., 1987)

Toprak Ortamı (S)	Reyting Değeri (Sr)	Ağırlık (Sw)
Küçülmemiş veya kümelenmemiş kil	1	2
Bataklık	2	
Killi tın	3	
Siltli tın	4	
Tın	5	
Kumlu tın	6	
Küçülmüş veya kümelenmiş kil	7	
Torf	8	
Kum	9	
Çakıl	10	
İnce veya yok	10	

2.3.5. Topoğrafya etkisi (T)

Topoğrafya, arazinin eğimini ve eğimdeki değişimleri tanımlar (Aller et al., 1987). Eğim, yüzeysel akışa geçen suyun yüzeyde ne kadar süreyle kalacağını belirler ve bu durum, kirleticilerin sızarak akifere ulaşma sürecini doğrudan etkiler.

Topoğrafya, kirleticilerin yüzeyden derinlere sızmasında önemli bir etkiye sahiptir. Eğim düşük olduğunda, yüzey akışı yavaşlayacak ve kirleticilerin yeraltına sızma olasılığı artacaktır. Buna karşılık, eğimin fazla olduğu durumlarda yüzey akışı hızlanacak, kirleticilerin yeraltına ulaşma süresi kısalmayacak ve yeraltı suyu kirliliği azalacaktır. Belirlenen reyting değer aralığı (Tr) ve topoğrafya ölçüt ağırlığı (Tw) kullanılarak çalışma alanının topoğrafyası (T) (Denklem 2.7) hesaplanır (Tablo 2.6.).

$$T = Tr \times Tw \quad (2.7)$$

Tablo 2.6. Topoğrafya ölçütüne ilişkin değerlendirme ve ağırlık katsayıları (Aller et al., 1987)

Eğim (T, %)	Reyting Değeri (Tr)	Ağırlık (Tw)
0-2	10	1
2-6	9	
6-12	5	
12-18	3	
>18	1	

2.3.6. Doymamış bölge etkisi (I)

Vadoz zon veya doymamış alan, toprak ile yeraltı suyu arasındaki kısım olup, kısmen doygun veya tamamen doygun olmayan bir bölgeyi ifade eder. Bu alan, yüzey sularının yeraltı suyuna ulaşma süresi ve yolu üzerinde etkili olduğu için büyük bir öneme sahiptir ve kirleticilerin hareketi üzerinde belirleyici bir rol oynar. Doymamış bölgedeki toprak yapısı ve jeolojik özellikler, kirleticilerin biyolojik bozulma, kimyasal reaksiyonlar, filtreleme, buharlaşma gibi bir dizi arıtma sürecinden geçmesini sağlar. Bu süreçler, kirli suyun yeraltı akiferine ulaşma süresini uzatır ve kirlenme potansiyelini azaltır. Bu nedenle, DRASTIC yönteminde bu bölge önemli bir parametre olarak kabul edilir. Kısacası, ortamın suyu geçirme hızını yavaşlatan özellikleri mevcutsa, kirlenme potansiyeli azalır (Aller et al., 1987).

Bu parametre, farklı toprak birimleri için önerilen reyting (Ir) değerleri ile doymamış bölge ölçüt ağırlığı (Iw) değerlerinin kullanılmasıyla (Denklem 2.8). hesaplanır (Tablo 2.7.).

$$I=I_r \times I_w \quad (2.8)$$

Tablo 2.7. Doymamış ölçütüne ilişkin değerlendirme ve ağırlık katsayıları (Aller et al., 1987)

Doymamış Bölge Etkisi (I)	Sınıf Değer Aralığı	Reyting Değeri(Ir)	Ağırlık (Iw)
Karstik kireçtaşı	8-10	10	5
Bazalt	2-10	9	
Kum veya çakıl	6-9	8	
Mağmatik veya metamorfik	2-8	4	
Belirgin miktarda silt ve kil içeren kum ve çakıl	4-8	6	
Katmanlı kumtaşı, kireçtaşı ve şist	4-8	6	
Kumtaşı	4-8	6	
Kireçtaşı	2-7	6	
Şist	2-5	3	
Silt veya kil	2-6	3	
Geçirimsiz tabaka	1	1	

2.3.7. Hidrolik iletkenlik etkisi (C)

Hidrolik iletkenlik, akifer malzemelerinin suyu iletme kapasitesini belirler ve bu özellik, yeraltı suyunun belirli bir hidrolik eğim altında ne hızla hareket edeceğini kontrol

eder (Aller et al., 1987). Akiferin gözenek yapısının özellikleri, bu gözeneklerin birbirine bağlılık düzeyi ve eğimi, hidrolik iletkenlik üzerinde önemli bir rol oynar. Hidrolik iletkenlik değerinin yüksek olması, kirleticilerin akifer içerisinde daha kolay hareket edebilmesine neden olarak kirlenme riskini artırabilir. Bu parametrenin değerlendirilmesi, diğer ölçütlerde olduğu gibi Tablo 2.8.'ta gösterilen reyting değeri (Cr) ile hidrolik iletkenlik ölçüt ağırlık değeri (Cw) çarpılarak hesaplanır (Denklem 2.9). Hidrolik iletkenlik, m/gün birimi ile ölçülmektedir (Aller et al., 1987).

$$C=Cr \times Cw \quad (2.9)$$

Tablo 2.8. Hidrolik iletkenlik ölçütüne ilişkin değerlendirme ve ağırlık katsayıları (Aller et al., 1987)

Hidrolik İletkenlik (C,m/gün)	Reyting Değeri (Cr)	Ağırlık (Cw)
> 82	10	3
41 - 82	8	
29 - 41	6	
12 - 29	4	
4 - 12	2	
0 - 4	1	

2.3.8. Drastic indeksi (DI)

DRASTIC kısaltması, yöntemin değerlendirme kriterlerini oluşturan yedi hidrojeolojik parametrenin ilk harflerinden meydana gelmektedir. Daha önceki başlıklarda ayrıntılı şekilde açıklanan bu yedi parametre, kirliliği etkileyen faktörler olarak, Denklem 2.1'deki formüle yerleştirilip toplanarak DRASTIC İndeks (DI) değeri hesaplanır.

$$DI=(Dr \times Dw)+(Rr \times Rw)+(Ar \times Aw)+(Sr \times Sw)+(Tr \times Tw)+(Ir \times Iw)+(Cr \times Cw) \quad (2.1)$$

DI: DRASTIC İndeksi

Dr :Yeraltı suyu ölçütü reyting değeri

Dw :Yeraltı suyu ölçütü ağırlık değeri

Rr :Beslenme ölçütü reyting değeri

Rw :Beslenme ölçütü ağırlık değeri

Ar :Akifer ortamı ölçütü reyting değeri

Aw	:Akifer ortamı ölçütü ağırlık değeri
Sr	:Toprak ortamı ölçütü reyting değeri
Sw	:Toprak ortamı ölçütü ağırlık değeri
Tr	:Topografya/Eğim etkisi ölçütü reyting değeri
Tw	:Topografya/Eğim etkisi ölçütü ağırlık değeri
Ir	:Doymamış bölge (vadoz zon) ölçütü reyting değeri
Iw	:Doymamış bölge (vadoz zon) ölçütü ağırlık değeri
Cr	:Hidrolik iletkenlik ölçütü reyting değeri
Cw	:Hidrolik iletkenlik ölçütü ağırlık değeri

Hesaplanan DI değerleri, önerilen sınıflandırma yöntemine göre değerlendirildiğinde, incelenen alanın yeraltı suyu hassasiyet derecesi belirlenir (Tablo 2.9). DRASTIC İndeksi hesaplamaları ve yeraltı suyu hassasiyetinin kirlilik değerlendirmesi, bu süreçler kapsamında CBS ortamında veri girişi, işleme, analiz ve çıktı üretimi aşamalarıyla gerçekleştirilir.

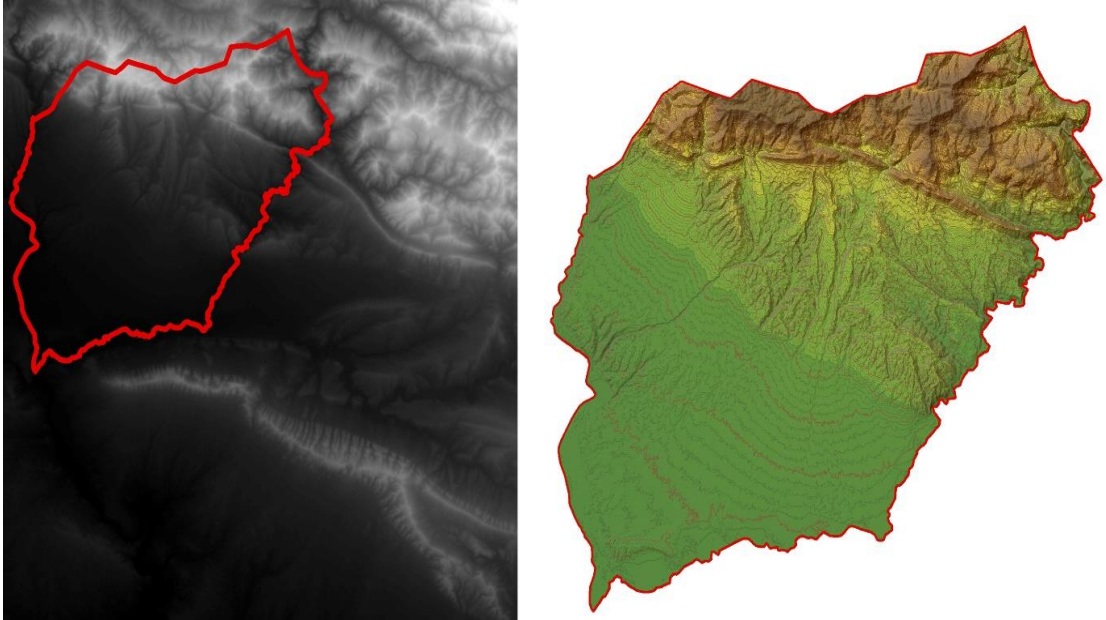
Tablo 2.9. DRASTIC indeksi kullanılarak gerçekleştirilen hassasiyet analizi (Aller et al., 1987)

DI İndeksi	Hassasiyet derecesi	Açıklama
$DI \leq 80$	Çok düşük	Kirlenme riski düşük
$80 < DI < 120$	Düşük	Kirlenme hassasiyeti az
$120 < DI < 160$	Orta	Kirlenme riski var
$160 < DI < 200$	Yüksek	Kirlenmeye karşı hassas, yönetim planı gerekli
$DI > 200$	Çok yüksek	Kirlenmeye karşı çok hassas, yönetim planı gerekli

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Silopi Ovası yeraltı suyu hassasiyetini belirlemek amacıyla, öncelikle DSI'den temin edilen bölgeye ait kuyu verileri incelenmiş, uyumsuz veya hatalı olanlar ayıklanmış ve koordinat ile lokasyon kontrolü yapılarak çalışma alanı dışında kalan veriler analiz dışında bırakılmıştır. Kalan 397 kuyu sondaj verisi hesaplamalarda değerlendirilmiş olup, tüm veriler ArcGIS 10.8 CBS yazılımı kullanılarak işlenmiştir.

CBS haritalama çalışmalarının ilk aşamasında, JAXA'dan elde edilen 12,5x12,5 metre çözünürlükte ve 16 bit piksel kalitesindeki ALOS PALSAR uydu verileri kullanılarak sayısal yükseklik modeli (DEM) indirilmiştir. Bu model, çalışma alanına uygun şekilde kırpılarak, parametre değerlendirmelerinde harita altlığı olarak kullanılmak üzere bir kabartma haritası (hillshade) oluşturulmuştur (Şekil 3.1.). Kabartma haritasında oluşabilecek hataları önlemek için XY koordinat sistemi olarak D_WGS_1984_UTM_Zone 38N seçilmiştir. Daha sonra, elde edilen haritaların koordinat doğruluğunu artırmak amacıyla projeksiyon sistemi European (ED) 1950 Zone 38N datum ile güncellenmiştir.

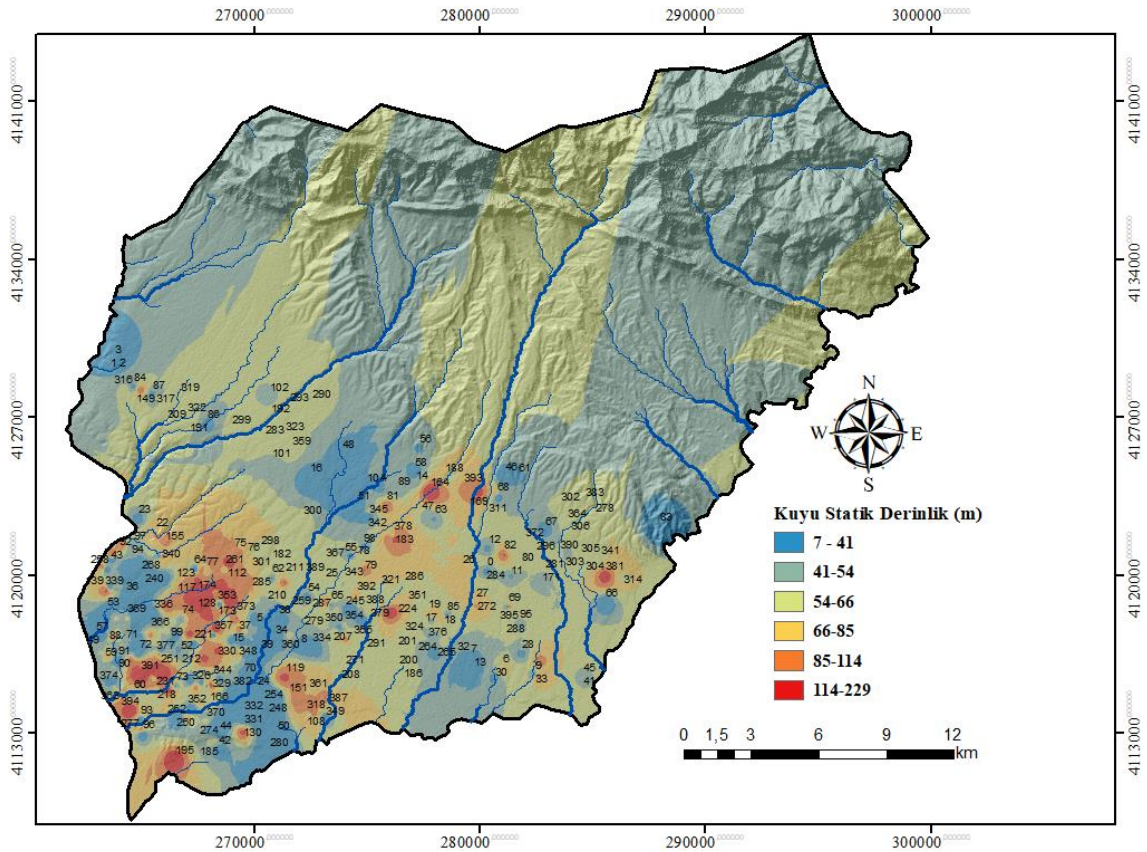


Şekil 3.1. İnceleme alanına ait Sayısal Yükseklik Modeli (DEM) görüntüleri

Sondaj noktalarının konumlandırılmasında UTM projeksiyon sistemi ve European (ED) 1950 Zone 38 datum kullanılmıştır. Tüm haritalar, ters mesafe ağırlıklı enterpolasyon (IDW) yöntemi ile oluşturulmuştur. Bölgedeki toprakların özelliklerinin belirlenmesinde ise önceki araştırmalar ve Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü [FAO] (1981) toprak haritasına ait verilerden faydalanılmıştır.

3.1. Çalışma Alanı Yeraltı Suyu Derinliği (D)

DRASTIC yöntemi kullanılarak yüzeyden yer altına doğru ilerleyen kirlenmenin tespiti ve akifer kirlenebilirliğinin değerlendirilmesi amacıyla, çalışma alanındaki 397 adet sondaj kuyusu noktasına ait veriler kullanılarak yeraltı suyu derinlik haritası oluşturulmuştur. Bu harita 7-41 m, 41-54 m, 54-66 m, 66-85, 85-114 ve 114-229 m sondaj kuyusu statik seviyesi derinliğine göre altı farklı sınıfa ayrılmıştır (Şekil 3.2.).



Şekil 3.2. Silopi Ovası'ndaki sondajlara ait yeraltı suyu derinlik haritası

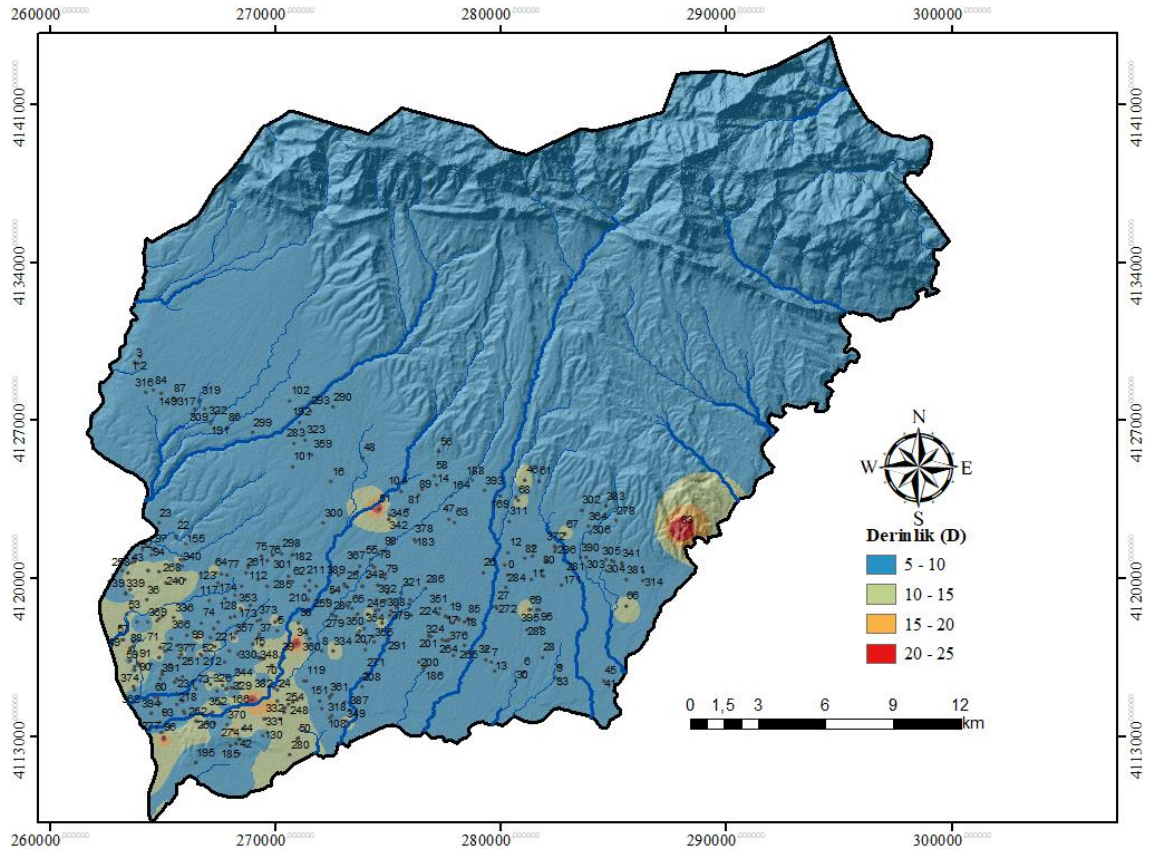
Yeraltı suyunun yüzeye yakın olduğu bölgeler, kirlenmeye karşı en riskli alanlar olarak değerlendirildiği için bu bölgelere en yüksek derinlik ölçüt ağırlık (D_w) değeri olan 5 verilmiştir. Çalışma alanındaki 397 sondaj derinlik verisi ise sınıflandırma

kriterlerine göre değerlendirilmiş ve Silopi Ovası'ndaki her bir bölgedeki kuyulara 1 ile 7 arasında değişen reyting değerleri atanarak derinlik reyting değeri (Dr) hesaplanmıştır (Tablo 3.1.).

Tablo 3.1. Silopi Ovası'na ait derinlik ölçütü değeri ve ağırlık bilgileri

DRASTIC Parametre (D)	Sınıf Aralığı(m)	Reyting Değeri (Dr)	Ağırlık (Dw)
Yeraltı suyu derinliği (m)	4,57 - 9,14	7	5
	9,14 - 15,24	5	
	15,24 - 22,86	3	
	22,86 - 30,48	2	
	>30,48	1	

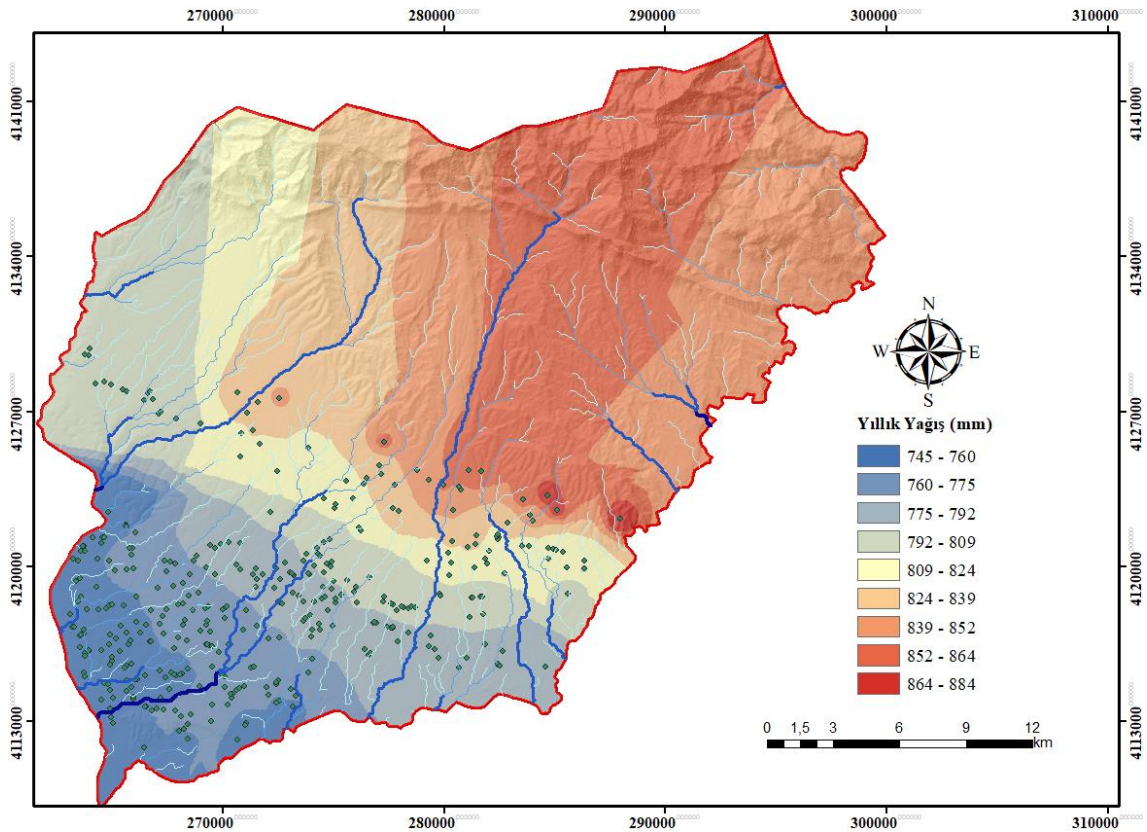
DRASTIC yöntemi kapsamında, yeraltı suyu derinliği ölçütü için atanan ağırlık (Dw) ve reyting değerleri (Dr) kullanılarak DRASTIC ağırlıklı yeraltı suyu derinliği haritası (D) oluşturulmuştur (Şekil 3.3.).



Şekil 3.3. Silopi Ovası yeraltı suyu derinlik (D) ölçütü değerlerini gösteren harita

3.2. Çalışma Alanı Beslenme (R)

Çalışma bölgesinin ana beslenme kaynağını havzaya düşen yağış miktarı oluşturmaktadır. Yıllık yağış verileri, MGM (2024) elde edilmiştir. İnceleme alanının yıllık ortalama yağış dağılımı ise ArcGIS yazılımı kullanılarak ters mesafe ağırlıklı (IDW) interpolasyon yöntemiyle haritalandırılmıştır (Şekil 3.4.). İnceleme alanına düşen yağış miktarı yıllık 712.4 mm'dir.



Şekil 3.4. Silopi Ovası'na ait 1970-2023 yıllık ortalama yağış dağılım haritası

Beslenme değeri, bir havzanın geçirgenliği (permeabilite), topografik eğimi ve yıllık yağış miktarı kullanılarak hesaplanabilir (Piscopo, 2001). Piscopo'nun (2001) önerdiği denklem, incelenen alan için hesaplanan parametrelere dayalı bir sınıflandırma yaparak beslenme sınıf değerinin (Rr) belirlenmesine olanak tanımaktadır (Tablo 3.2.).

Tablo 3.2. Silopi Ovası'na ait beslenme ölçütü değerleri ve ağırlık bilgileri

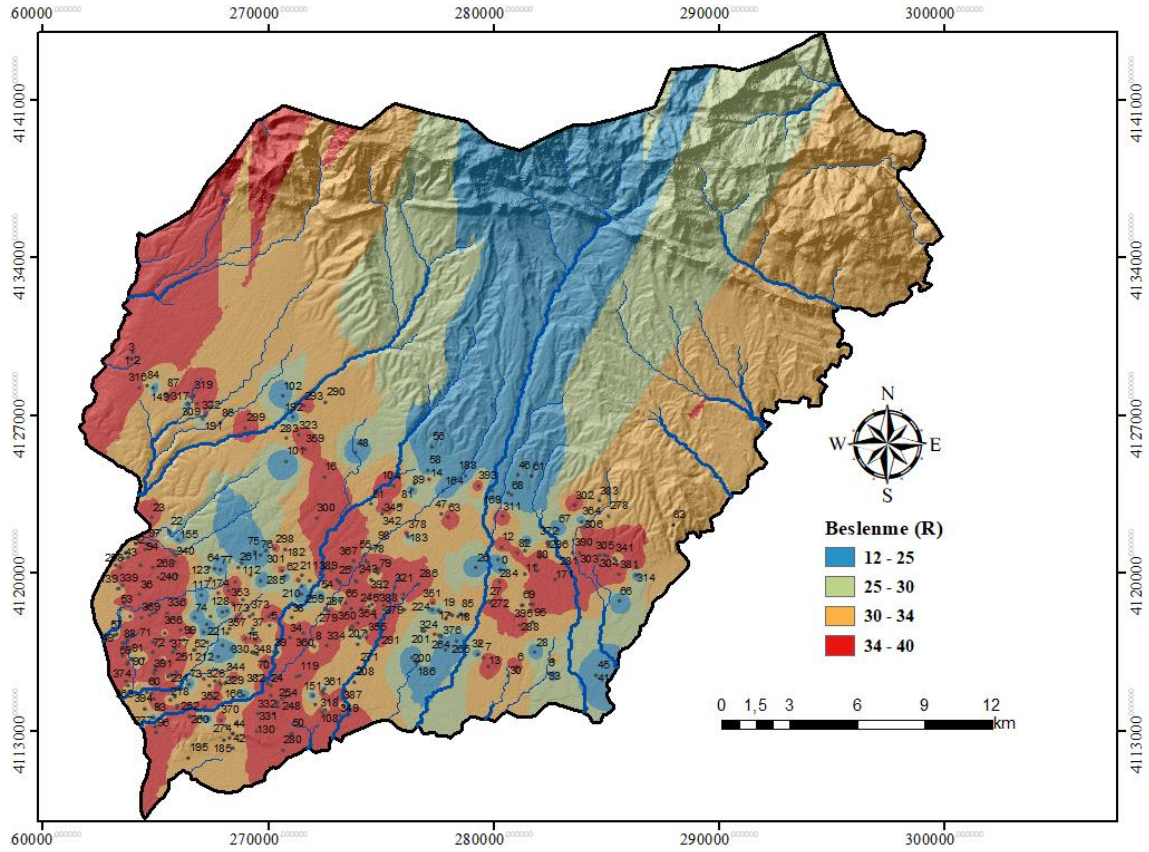
Yağış (mm/y)		Topografya (%Eğim)		Permeabilite		Beslenme Değeri	Reyting Değeri (Rr)	Ağırlık (Sw)
Aralık	RA	Aralık	T	Aralık	SP	Aralık		
500-700	2	10-33	2	Düşük	2	5-7	3	4
700-850	3	2-10	3	Orta	3	7-9	5	
>850	4	<2	4	Yüksek	4	9-11	8	
				Çok Yüksek	5	11-13	10	

Çalışma sahasındaki her bir sondaj noktasında yıllık ortalama yağış miktarı (712,4 mm) esas alınmış, Tablo 3.2’de belirtilen değerlere göre yağış sınıfı '3' olarak belirlenmiş ve bu sınıfa karşılık gelen yağış oranı (RA) hesaplanmıştır. Sayısal Yükseklik Modeli (DEM) kullanılarak çalışma alanına ait eğim haritası oluşturulmuş, elde edilen sayısal veriler Tablo 3.2’deki karşılıklarına göre sınıflandırılmış ve bu harita aracılığıyla denklemin bir diğer bileşeni olan topografya faktörü (T) belirlenmiştir. Akiferin hidrolik iletkenliğide değerlendirilerek buna bağlı olarak SP değeri hesaplanmıştır. Belirlenen parametreler ile aşağıdaki denklem kullanılarak Rr sınıf değeri bulunmuştur.

$$R = RA + T + SP \quad (2.3)$$

DRASTIC yönteminde yeraltı suyu beslenme miktarının (R) belirlenebilmesi amacıyla, çalışma alanındaki 397 kuyudan elde edilen veriler analiz edilmiştir. Bölgeye düşen yağış miktarları esas alınarak yapılan değerlendirmede; 2 kuyu 12 mm, 82 kuyu 20 mm, 132 kuyu 32 mm ve 179 kuyu 40 mm beslenme miktarına sahip olduğu tespit edilmiş ve dört farklı sınıfa ayrılmıştır. Bu sınıflara ait R parametresi için tanımlanan reyting (Rr) değerleri, DRASTIC yönteminde bu ölçüte ait 4'lük ağırlık katsayısı (Rw) ile birlikte değerlendirilmiş ve Tablo 3.2'deki sınıflandırmaya göre çalışma alanının DRASTIC ağırlıklı beslenme haritası oluşturulmuştur (Şekil 3.5).

$$R = Rr \times Rw \quad (2.4)$$



Şekil 3.5. Silopi Ovası'na ait beslenme (R) ölçütü değerleri gösteren harita

3.3. Çalışma Alanı Akifer Ortamı (A)

Su barındırma ve bu suyu iletebilme yeteneğine sahip, suya doygun jeolojik oluşumlar "akifer" olarak adlandırılır. Akiferler, kumtaşı, kilitaşı, çakıl, konglomera, kireçtaşı gibi sedimanter kayaçların yanı sıra bazalt gibi volkanik, metamorfik ve diğer kayaç türlerinden oluşabilir. Bu çeşitlilik, kayaçların geçirgenlik ve porozite özelliklerinden kaynaklanır. Akifer ortamında tane boyutunun büyük olması ve yarıklar ile boşlukların bulunması, ortamın geçirgenliğini ve akış hızını artırarak kirlenme riskini de yükseltir.

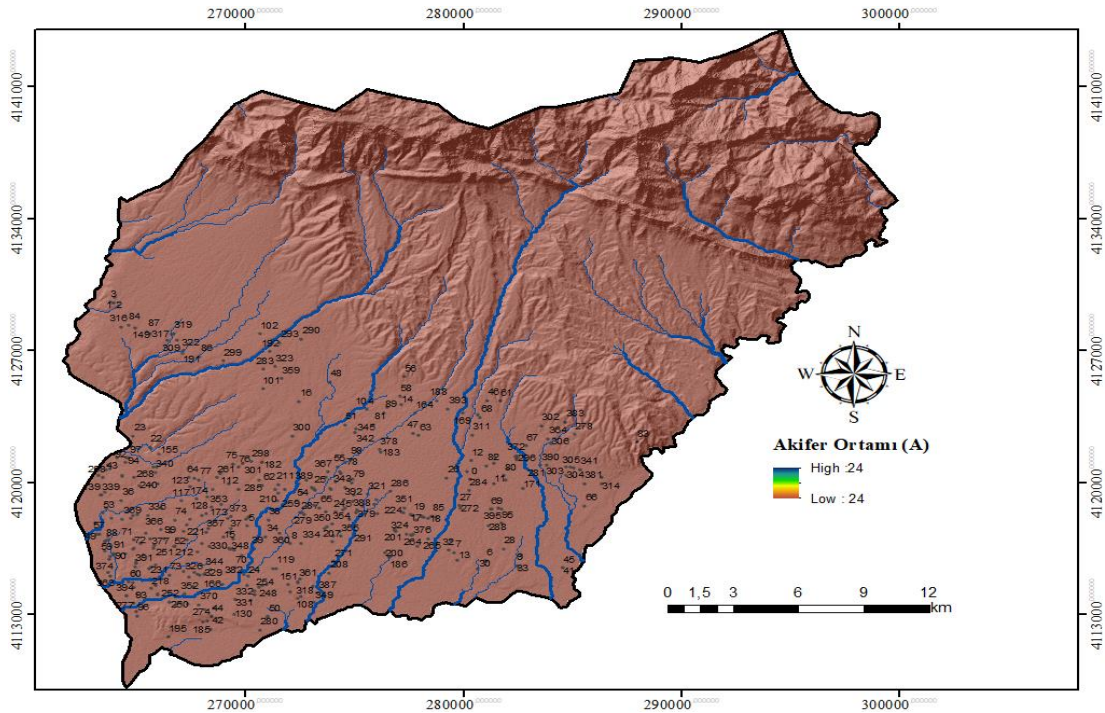
Çalışma alanı, Silopi ve çevresinde geniş bir yayılım gösteren Alüvyon, Taraça (eski akarsu çökelleri), Bazalt ve Lahta formasyonu geniş bir alana yayılmaktadır. Pliyo-Kuvaterner yaşlı Lahta Formasyonu, konglomera, kumtaşı ve çamurtaşı gibi kırıntılı kayaçlardan oluşmakta ve eski akarsu çökelleri, alüvyon yelpazeleri, bazaltlar ile alüvyonları içermektedir. Çalışma alanında en genç kaya birimleri, çakıl, kum ve siltlerden oluşan alüvyonlardır (MTA, 2007a, MTA, 2007b).

Çalışma alanı olan Silopi Ovası, Şırnak ilinin en önemli yeraltı suyu akiferini oluşturmaktadır ve bu akifer birimleri serbest akifer niteliğindedir. Pliyosen-Kuvaterner yaşlı Lahta formasyonunun çakıl ve konglomera içeren seviyeleri ile Pliyosen dönemine ait diğer formasyonlar, akiferin temel birimlerini meydana getirmektedir. Özellikle alüvyonlar, ovanın en büyük akiferini oluşturmaktadır.

DRASTIC yöntemi kapsamında, çalışma alanındaki sondaj verileri, bölgenin genelleştirilmiş dikey kesiti ve jeolojik özellikleri dikkate alınarak akifer ortamı belirlenmiştir. İnceleme alanındaki en büyük akifer biriminin alüvyonlar olması nedeniyle, Tablo 3.3.'te önerilen reyting (Ar) değerleri doğrultusunda bu birime 8 reyting değeri atanmıştır. Bu değer, 3 (Aw) ölçüt ağırlığı ile çarpılarak akifer ortamı (A) parametresi hesaplanmıştır. Bu veriler doğrultusunda, DRASTIC yöntemiyle ağırlıklandırılmış akifer ortam haritası hazırlanmıştır (Şekil 3.6.). Harita sonuçlarına göre, inceleme alanının akifer ortamı ölçütü açısından yüksek risk taşıdığı tespit edilmiştir.

Tablo 3.3. Silopi Ovası'na ait akifer ortamı ölçütü değerleri ve ağırlık bilgileri

Akifer Ortamı (A)	Sınıf Değeri	Ortalama Reyting Değeri (Ar)	Ağırlık (Aw)
Kum ve çakıl	4-9	8	3

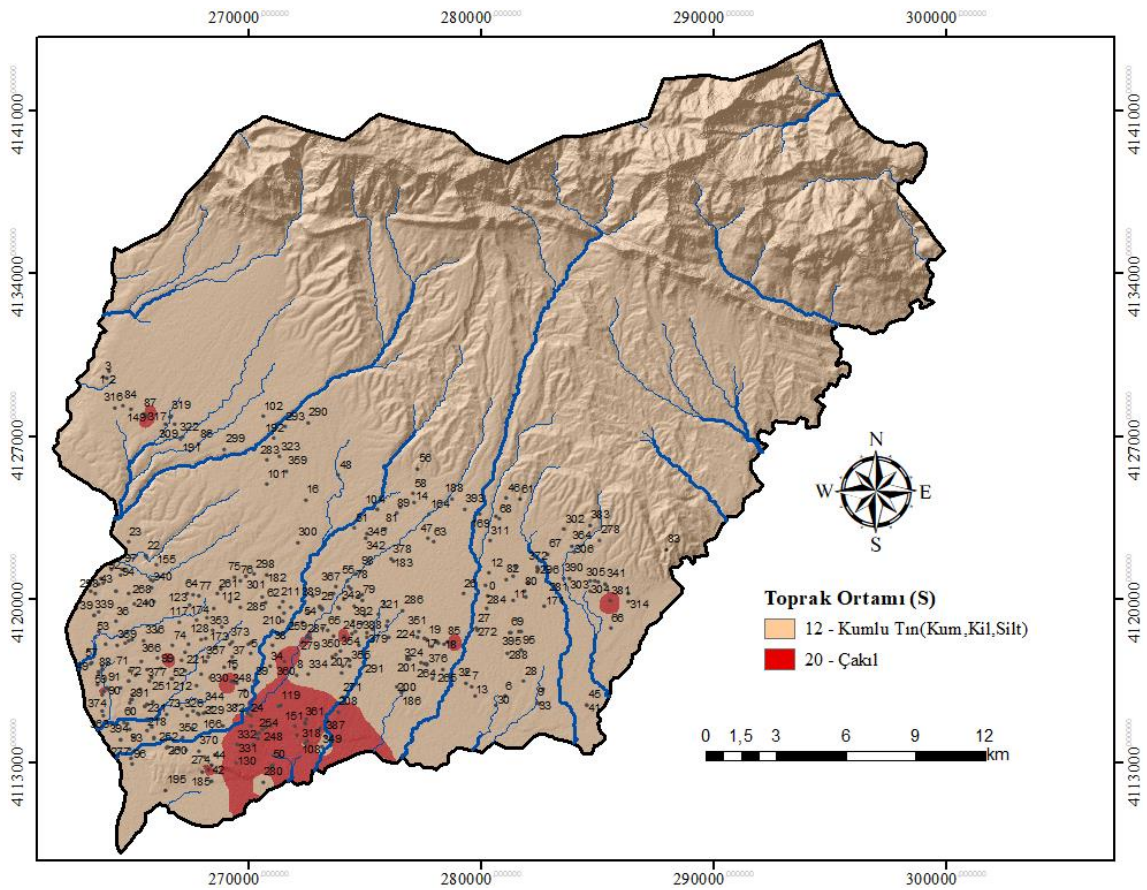


Şekil 3.6. Silopi Ovası'na ait akifer ortamı (A) ölçütü değerlerini gösteren harita

3.4. Çalışma Alanı Toprak Ortamı (S)

Toprak ortamı, yeraltı suyu beslenim miktarı üzerinde önemli bir role sahiptir. Toprak örtüsünü oluşturan malzemelerin tane boyutu, kirleticilerin süzülme sürecini doğrudan etkiler. İnce taneli materyaller, özellikle kil ve silt düşük geçirgenlik göstererek kirleticilerin hareketini kısıtlar. Buna karşılık, iri taneli malzemeler kirleticilerin daha kolay ve hızlı bir şekilde geçmesine olanak tanır.

Çalışma alanına ait toprak haritası FAO (1981)'dan temin edilmiştir. ArcGIS 10.8 yazılımı kullanılarak oluşturulan toprak türü haritasına göre, kum silt ve kilin karışımından oluşan kumlu tın (tın veya tınlı toprak özellikle siltin belirgin bir şekilde bulunması ve kumla karışması) toprak türü ile çakıl çalışma alanında yaygın olarak görülmektedir (Şekil 3.7.).



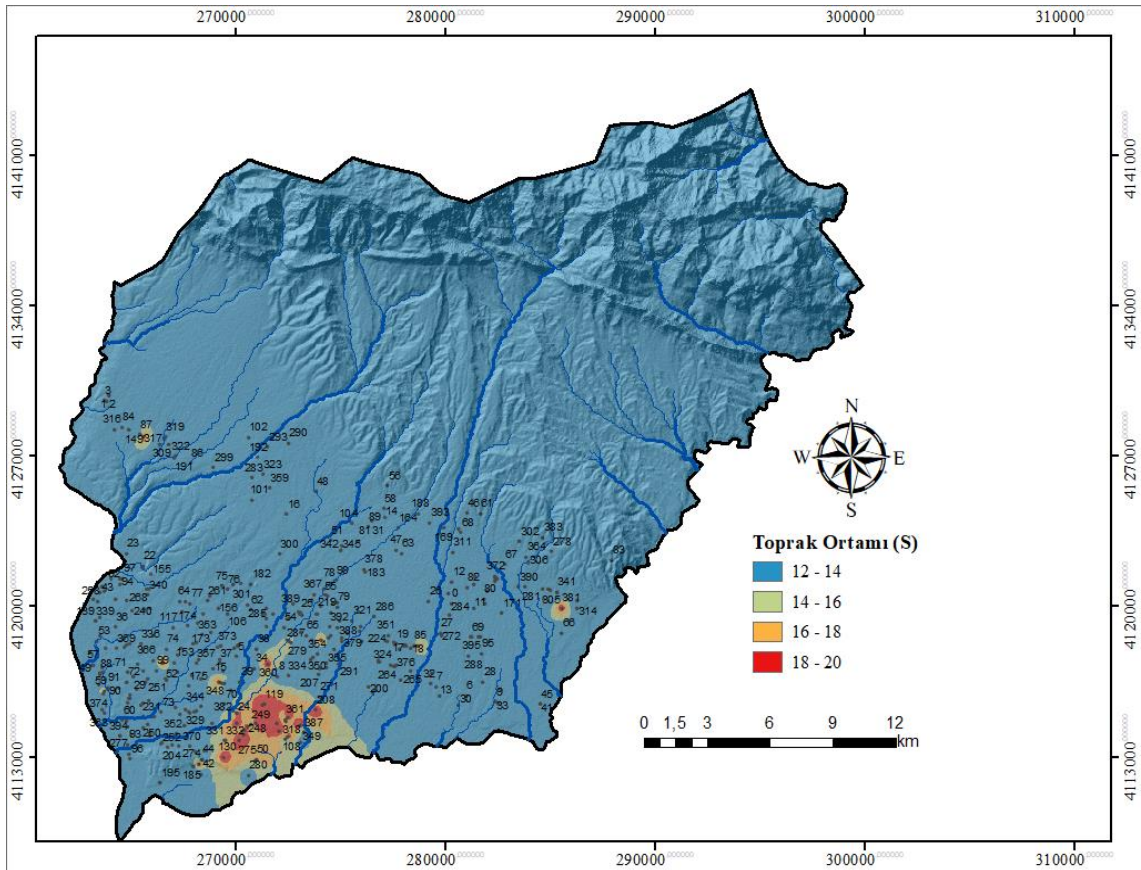
Şekil 3.7. Silopi Ovası'na ait toprak türü haritası

DRASTIC yöntemi kapsamında, çalışma alanına ait toprak türü haritası sayısal ortama aktarılmıştır. Sayısallaştırılan harita üzerinde toprak türleri ile sondaj lokasyonları

eşleştirilmiş ve yapılan analiz sonucunda, 367 lokasyonda kumlu-tınlı, 30 lokasyonda ise çakıllı toprak türü tespit edilmiştir. Belirlenen bu toprak türlerine, Tablo 3.4’te belirtilen reyting (Rr) değerleri atanarak DRASTIC analizine dâhil edilmiştir. Ardından (IDW) interpolasyon yöntemi kullanılarak haritalama süreci tamamlanmıştır. Sondaj noktalarından elde edilen reyting (Sr) değerleri ile ağırlık 2 (Sw) değeri çarpılarak, toprak ortamı DRASTIC değerleri haritası hesaplanmış ve Şekil 3.8.’te gösterilmiştir.

Tablo 3.4. Silopi Ovası’na ait toprak ortamı ölçütü değerleri ve ağırlık bilgileri

Toprak Ortamı (S)	Reyting Değeri (Sr)	Ağırlık (Sw)
Kumlu tın	6	2
Çakıl	10	
İnce veya yok	10	



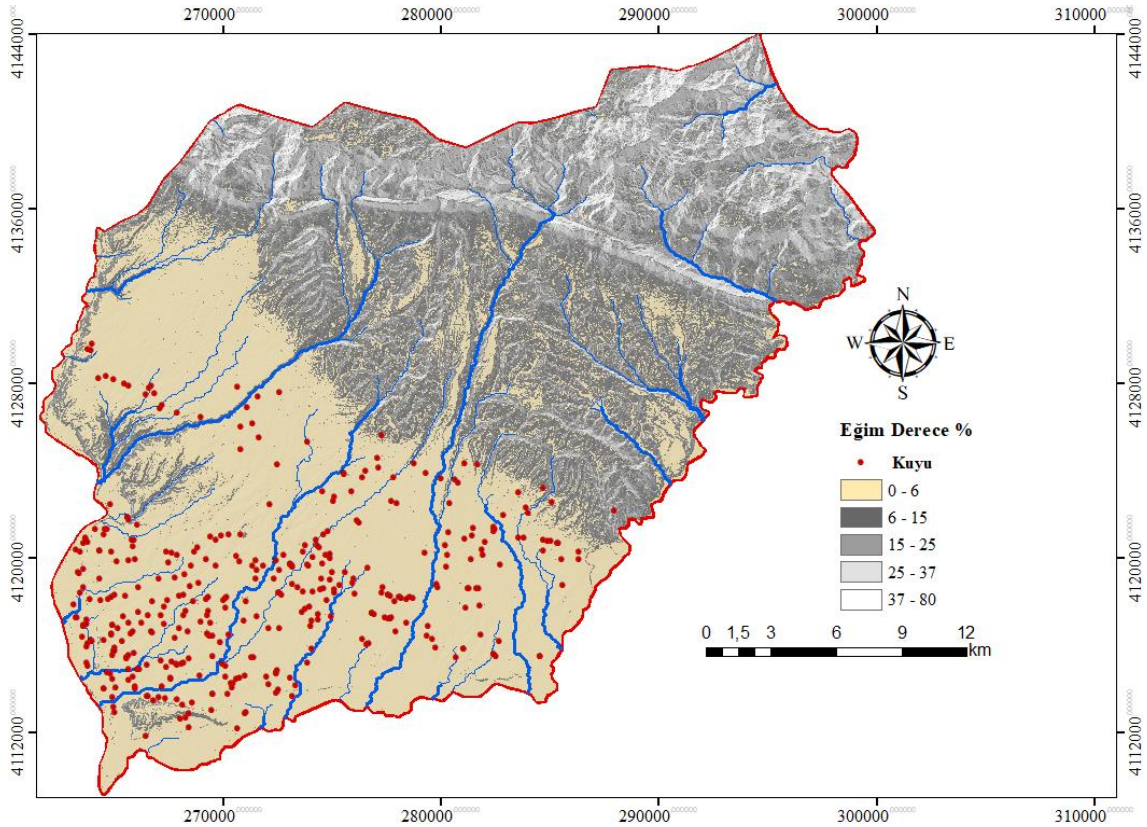
Şekil 3.8. Silopi Ovası’na ait toprak ortamı (S) ölçütü değerlerini gösteren harita

Çalışma alanındaki kumlu tın ve özellikle çakıllı bölgeler, geçirgen özellikleri nedeniyle yeraltı suyu kirliliği açısından yüksek risk taşımaktadır.

3.5. Çalışma Alanı Topoğrafya/Eğimi (T)

Topoğrafya, kirleticilerin yüzeyden yeraltına geçişini etkileyen önemli bir faktördür. Düz arazilerde yüzey akışı genellikle yavaş olduğundan, kirleticilerin yeraltına sızma olasılığı artar. Buna karşın, eğimin fazla olduğu bölgelerde yüzey akışı hızlanır ve kirleticilerin yeraltına inme süresi azalacağı için yeraltı suyu kirliliği riski azalır.

JAXA web sitesinden indirilen 12,5 metre çözünürlüğe ve 16 bit piksel kalitesine sahip ALOS PALSAR DEM verisi kullanılarak, ArcGIS 10.8 programında çalışma alanının eğim haritası oluşturulmuştur. DRASTIC yönteminin uygulanabilmesi için çalışma alanı, %0-6, %6-15, %25-37 ve %37-80 olmak üzere beş ayrı eğim sınıfına ayrılmıştır (Şekil 3.9.).



Şekil 3.9. Silopi Ovası eğim haritası

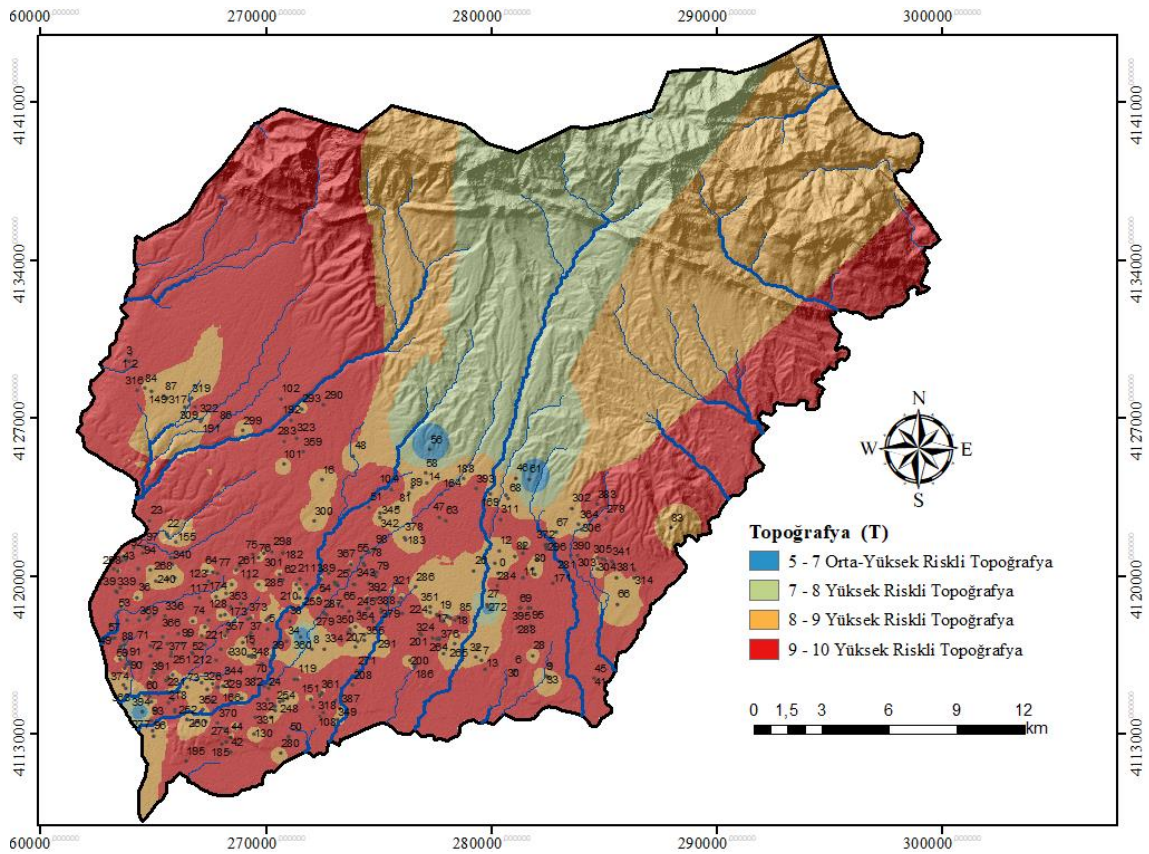
Çalışma alanında, her bir sondaj noktasının eğim verisi, oluşturulan eğim haritasından alınmıştır. Elde edilen eğim değerlerine göre topoğrafya/eğim ölçütü kapsamında önerilen reyting ataması (Tr) tablo 3.5. değerleri esas alınarak işlem yapılmıştır. Çalışma alanında eğim oranı ortalaması oldukça düşük olduğundan, 9 ve 10 (Tr) reyting değerleri çok fazla kullanılmıştır. Bu değerler, yöntemde belirlenmiş olan 1

topografya ölçütü ağırlık (Tw) değeriyle çarpılarak topografya (T) ortamı haritası oluşturulmuştur (Şekil 3.10.).

Çalışma alanındaki düşük eğim, yeraltı suyu kirliliği açısından büyük bir risk oluşturmaktadır.

Tablo 3.5. Silopi Ovası'na ait topografya ölçütü değerleri ve ağırlık bilgileri

Eğim (T, %)	Reyting Değeri (Tr)	Ağırlık (Tw)
0-2	10	1
2-6	9	
6-12	5	
12-18	3	
>18	1	



Şekil 3.10. Silopi Ovası'na ait topografya/eğim (S) ölçütü değerlerini gösteren harita

3.6. Çalışma Alanının Doymamış Bölge (Vadoz zon) Etkisi (I)

Vadoz zon veya doymamış alan, toprağın yeraltı suyu ile yüzey suları arasında yer alan kısmen ya da tamamen doymun olmayan bir bölgedir. Bu alan yüzey sularının

hesaplanmıştır (Denklem 3.1). Bu denklemde K, hidrolik iletkenliği (m/gün); Qs ise özgül debiyi (L/s/m) ifade etmektedir. Denklem, özgül debisi 0,5 L/s/m olan kuyular için kullanılabileceği belirtilerek şu şekilde verilmiştir.

$$K = (Q_s \times 2,4) - 1,23 \quad (3.1)$$

İletkenlik katsayısının (K) hesaplanabilmesi amacıyla, çalışma alanındaki 397 kuyuya ait veriler ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Hesaplama sürecinde öncelikle özgül debi değerleri, aşağıdaki formül kullanılarak elde edilmiştir:

Özgül Debi (q) = Günlük Debi (m³/gün) / (Dinamik Su Seviyesi – Statik Su Seviyesi) * (Debi yıllık olarak verilmişse, günlük değere çevrilmek üzere 365'e bölünmüştür.)

Daha sonra, elde edilen özgül debi değerleri, iletkenlik katsayısını belirlemek amacıyla aşağıdaki ampirik denklemde kullanılmıştır:

$$K = (Q_s \times 2,4) - 1,23 \text{ (Burada } Q_s \text{: özgül debi, K: iletkenlik katsayısıdır.)}$$

Bu işlemler sonucunda, her bir kuyuya ait iletkenlik değerleri hesaplanarak analizlerde kullanılmak üzere kaydedilmiştir.

Örnek İletkenlik Hesabı: Silopi – Başköy Kuyusu

Kuyu Koordinatları:

Y:4.120.222 X: 280.303

Adım 1: Günlük Debi Hesabı

Yıllık debi değeri 95.256 m³ olarak verilmiştir. Bu değer 365 güne bölünerek günlük debi hesaplanır:

$$\text{Günlük Debi} = 95.256 \text{ m}^3 / 365 = 260,9753 \text{ m}^3/\text{gün}$$

Adım 2: Özgül Debi (q) Hesabı

Özgül debi, kuyuya ait dinamik ve statik su seviyesi farkına göre hesaplanır.

Verilen değerlere göre: Dinamik Su Seviyesi: 58 m Statik Su Seviyesi: 31 m
 $q = 260,9753 / 58 - 31 = 260,9753 / 27 = 9,6658 \text{ m}^3/\text{gün/m}$

Adım 3: İletkenlik (K) Hesabı

Özgül debi değeri, aşağıdaki ampirik formülde yerine konularak iletkenlik değeri hesaplanır:

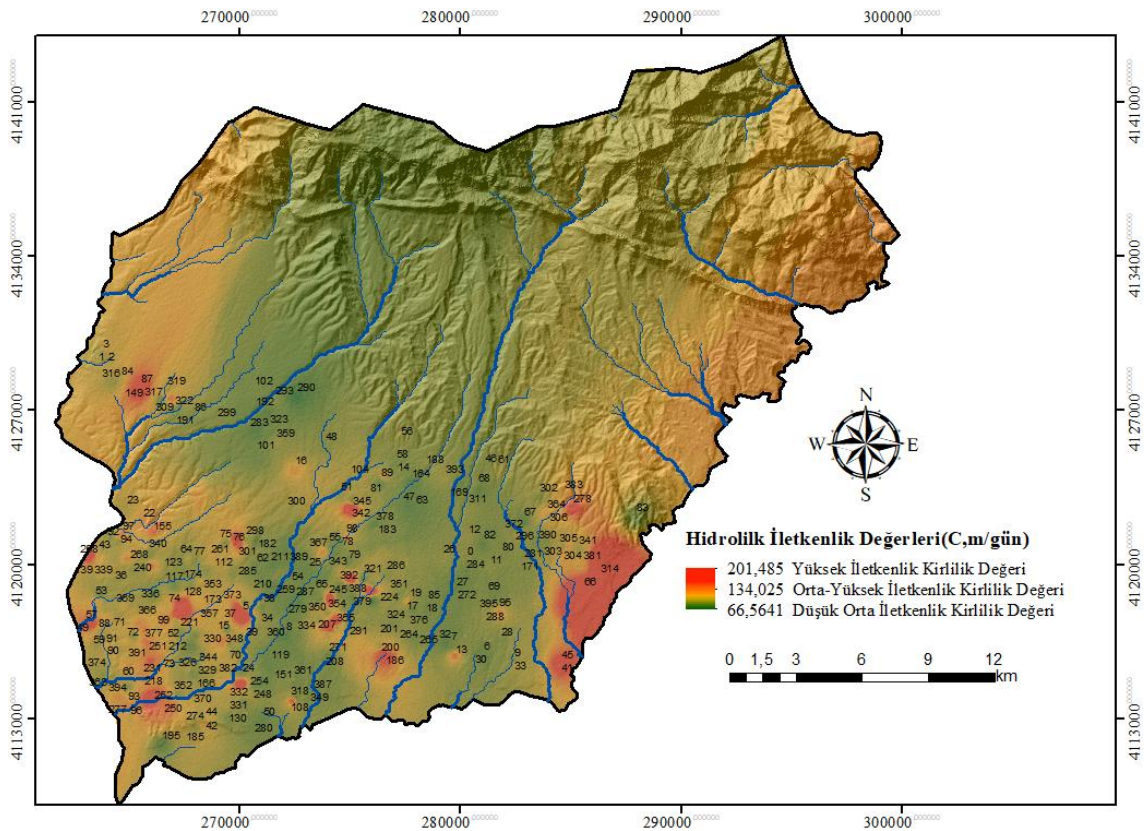
$$K = (q \times 2,4) - 1,23 = (9,6658 \times 2,4) - 1,23 = 23,198 - 1,23 = 21,968 \text{ m}/\text{gün}$$

Sonuç: Silopi Başköy’de yer alan ve koordinatları verilen kuyunun iletkenlik değeri (K) yaklaşık olarak 21,97 m/gün olarak hesaplanmıştır.

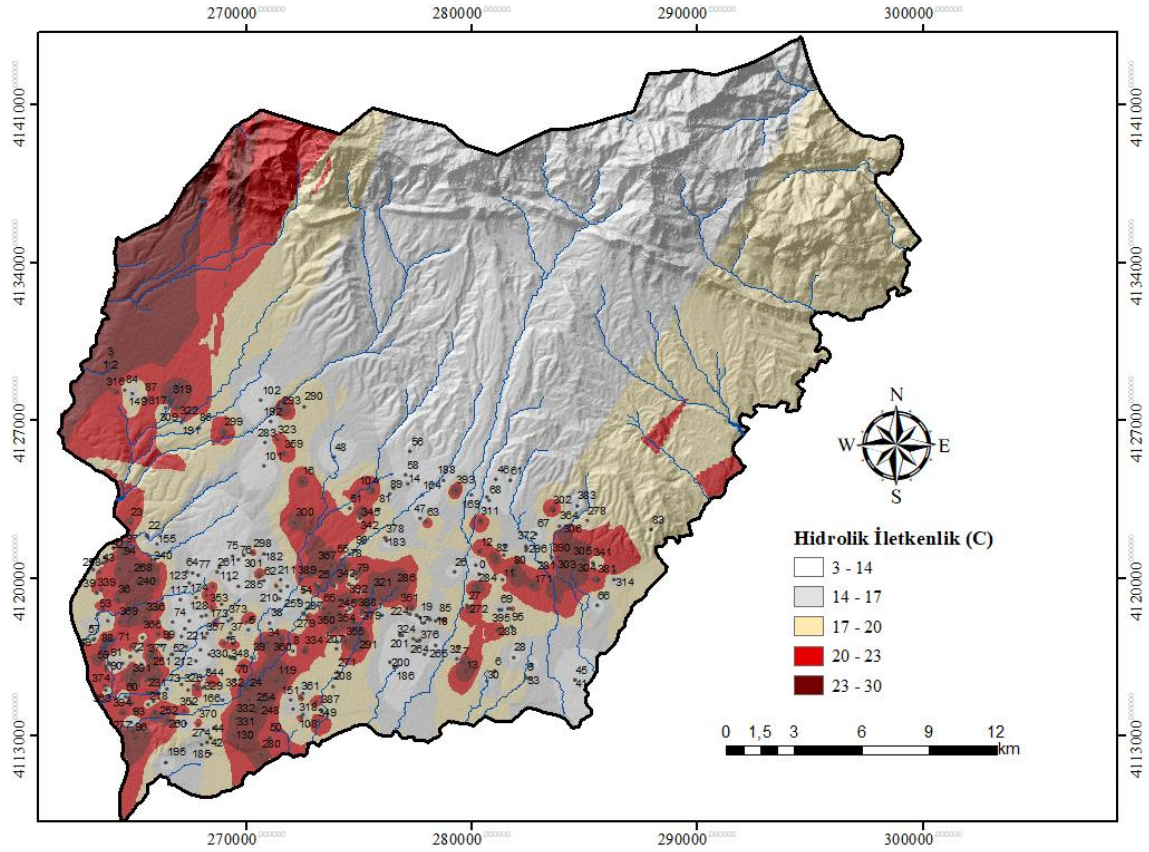
Hesaplanan hidrolik iletkenlik (K) değerleri doğrultusunda, her bir noktaya karşılık gelen reyting (Cr) değerleri Tablo 3.7’ye göre belirlenmiştir. Bu reyting değerleri, ilgili ölçütün ağırlığı (Cw) ile çarpılarak nihai hidrolik iletkenlik puanları elde edilmiştir. Örneğin, daha önce hesaplanan 21,97 m/gün’lük iletkenlik değeri için Cr değeri 4 olarak belirlenmiş ve Cw değeri olan 4 ile çarpılarak değerlendirilmiş ve 8 iletkenlik değeri elde edilmiştir. Elde edilen tüm veriler doğrultusunda, Silopi Ovası’na ait Hidrolik İletkenlik (C) haritaları oluşturulmuştur (Şekil 3.14., Şekil 3.15.).

Tablo 3.7. Silopi Ovası’na ait hidrolik iletkenlik ölçütü değerleri ve ağırlık bilgileri

Hidrolik İletkenlik (C,m/gün)	Reyting Değeri (Cr)	Ağırlık (Cw)
> 82	10	3
41 - 82	8	
29 - 41	6	
12 - 29	4	
4 - 12	2	
0 - 4	1	



Şekil 3.14. Silopi Ovası’na ait hidrolik iletkenlik ölçütü değerlerini (K) gösteren harita



Şekil 3.15. Silopi Ovası'na ait hidrolik iletkenlik ölçütü (C) değerleri

3.8. DRASTIC İndeksi (DI)

Silopi Ovası'nda yeraltı suyu duyarlılığının belirlenmesi amacıyla DRASTIC yöntemi uygulanmış ve bu kapsamda yedi farklı ölçütün ağırlıklı toplamı hesaplanarak DRASTIC İndeksi (DI) elde edilmiştir. Örnek olarak Çalışma alanında yer alan Başköy ve Pınar önü kuyularına ait parametreler ile bu parametrelere karşılık gelen reyting ve ağırlık değerleri dikkate alınarak indeks hesaplamaları yapılmıştır. Aşağıdaki Tablo 3.8.'e göre her bir parametre için belirlenen değerler ve bu değerlere ait ağırlıklı çarpımlar sunulmuştur. Bu hesaplamalar sonucunda, her iki kuyuya ait örnek DRASTIC indeks değerleri belirlenmiştir.

Tablo 3.8. Silopi Ovası'ndaki iki kuyuya ait DRASTIC İndeksi'ne ilişkin örnek sonuç değerleri

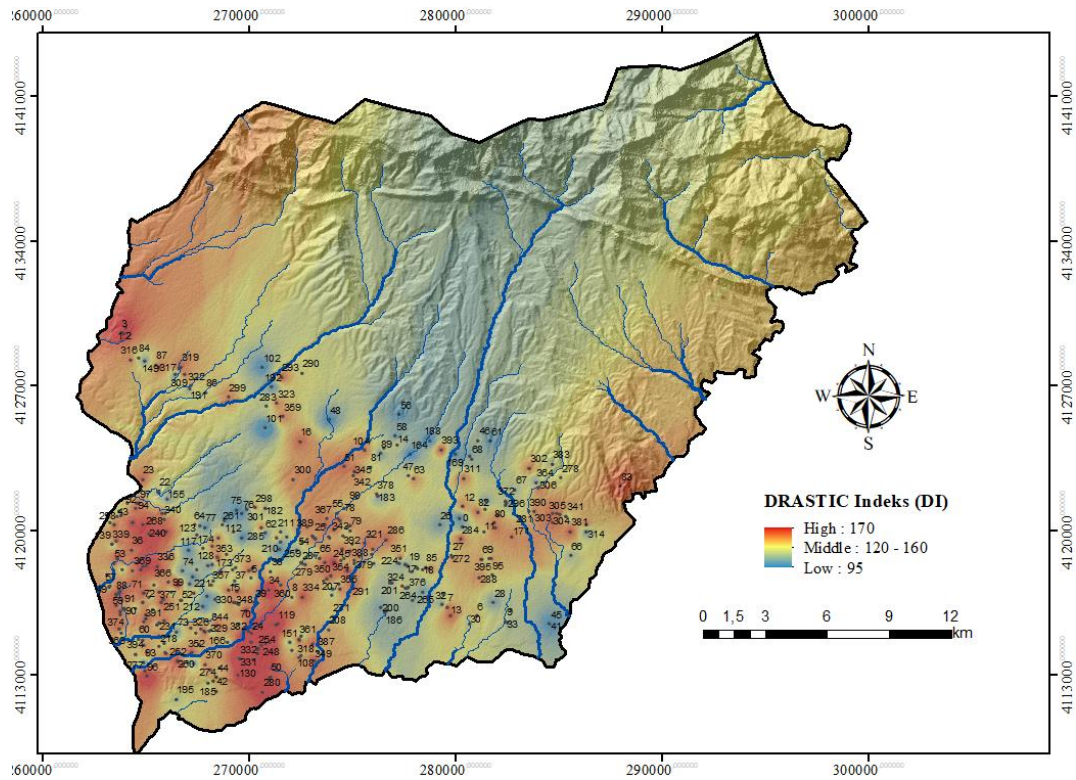
İlçe	Koy	Dr	Dw	D	Rr	Rw	R	Ar	Aw	A	Sr	Sw	S	Tr	Tw	T	Ir	Iw	I	Cr	Cw	C	DI	Hassasiyet derecesi	Açıklama
Silopi	Baskoy	1	5	5	5	4	20	8	3	24	6	2	12	9	1	9	6	5	30	4	3	12	112	Düşük	Kirlenme Hassasiyeti Az
Silopi	Pınaronu	2	5	10	10	4	40	8	3	24	6	2	12	10	1	10	6	5	30	10	3	30	156	Orta	Kirlenme Riski Var

Silopi ovasında toplamda 397 noktaya ait indeks sonuçlarıyla birlikte yeraltı suyu hassasiyet dağılımı, IDW interpolasyon yöntemi kullanılarak görselleştirilmiştir. Elde edilen verilerle, Silopi Ovası'na ait DRASTIC İndeksi (DI) haritası oluşturulmuştur (Şekil 3.16.).

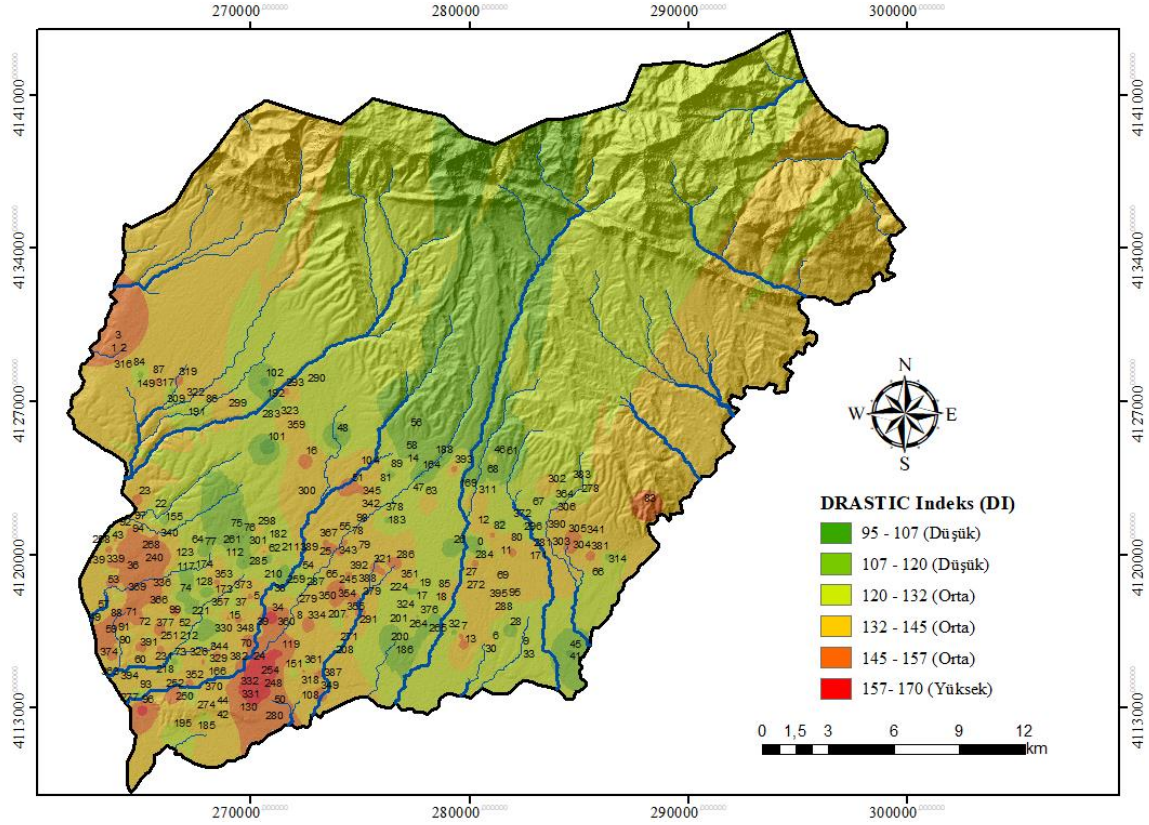
Silopi ovasında hesaplanan DRASTIC indeksi değerinin 95 ile 170 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Elde edilen indeks hassasiyet değerleri, Tablo 3.9.'da verilen sınıflandırmaya göre isimlendirilmiş ve DRASTIC hassasiyet indeks haritası oluşturulmuştur (Şekil 3.17., Şekil 3.18.).

Tablo 3.9. Silopi Ovası'na ait DRASTIC İndeksinde kullanılan hassasiyet bilgileri

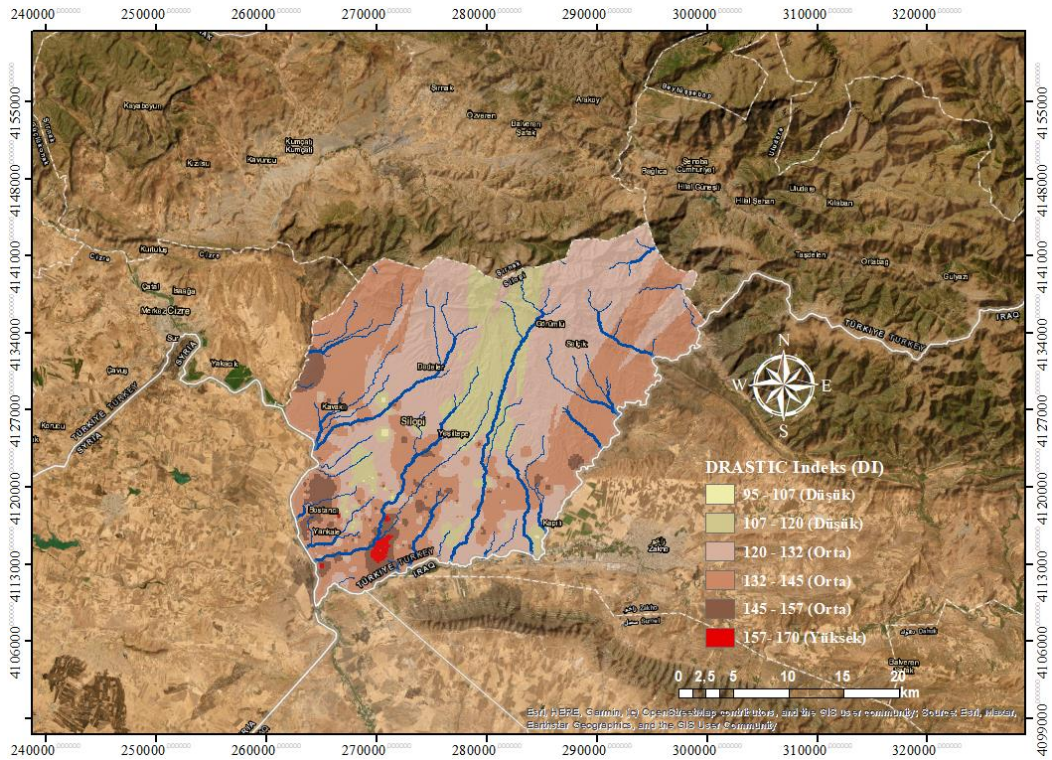
DI İndeksi	Hassasiyet Derecesi	Açıklama
$DI \leq 80$	Çok düşük	Kirlenme riski düşük
$80 < DI < 120$	Düşük	Kirlenme hassasiyeti az
$120 < DI < 160$	Orta	Kirlenme riski var
$160 < DI < 200$	Yüksek	Kirlenmeye karşı hassas, yönetim planı gerekli
$DI > 200$	Çok yüksek	Kirlenmeye karşı çok hassas, yönetim planı gerekli



Şekil 3.16. Silopi Ovası'na ait DRASTIC İndeks hassasiyet haritası



Şekil 3.17. Silopi Ovası'na ait DRASTIC İndeksi hassasiyet derecesi haritası



Şekil 3.18. İnceleme alanının uydu görüntüsü üzerindeki DRASTIC İndeksi hassasiyet derecesi haritasının görünümü

Silopi Ovası'nın tamamında alüvyon birimlerinin yüzeyde görüldüğü, alanın büyük kısmının DRASTIC İndeksi (DI) verilerine göre düşük ve orta derecede kirlenebilirliğe sahip olduğu, küçük bir kısmının ise yüksek kirlenebilirlik gösterdiği tespit edilmiştir. Ovanın çevresinden kuzeye doğru ilerledikçe, bölgenin jeolojik yapısına bağlı olarak formasyonların değiştiği ve yükseltinin arttığı gözlemlenmiştir. Kuzeye doğru değişen formasyonlarda geçirimsiz birimlerin varlığı tespit edilmiş ve bu durum, yeraltı suyu kirliliğinin kuzeye gidildikçe azalabileceğini ortaya koymuştur.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

4.1. Sonuçlar

Bu tez kapsamında, Türkiye'nin 25 büyük havzasından biri olan Fırat-Dicle Havzası'na bağlı Dicle Alt Havzası ve Hezil-Habur Alt Havzası içerisinde yer alan, 790 km² yüzölçümüne sahip Silopi ilçesi ve ovası sınırlarında bulunan akifer birimlerinin kirlenebilirlik haritalarının hazırlanabilmesi amacıyla 397 adet sondaj kuyusu incelenmiştir. Çalışma alanındaki başlıca kirletici kaynakların tarımsal faaliyetler ve antropojenik etkiler olması, ayrıca kirliliğin özellikle alüvyon birimler içerisinde yayılım göstermesi nedeniyle, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı DRASTIC yöntemi tercih edilerek uygulanmıştır.

Silopi ve ovasının kuzey ile kuzeydoğu kesimleri, jeomorfolojik olarak Güneydoğu Toroslar sistemine bağlı yüksek kotlara sahip dağlık alanlardan oluştuğundan, bu bölgelerde sondaj verisi sınırlıdır ve mevcut sondajlar genellikle içme suyu temini amacıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanının orta ve güney kesimleri ise düz topoğrafik özelliklere sahiptir. Bu nedenle, 397 adet sondaj kuyusu güney bölgelerde yoğunlaşmış olup ağırlıklı olarak tarımsal sulama amacıyla kullanılmaktadır.

DRASTIC yönteminin çalışmada etkin bir biçimde uygulanabilmesi ve değerlendirilen parametrelere ait haritaların oluşturulabilmesi amacıyla, öncelikle bölgenin jeolojik ve hidrojeolojik yapısı, arazi kullanım durumu, havza özellikleri, iklimsel etkenlere bağlı beslenme koşulları ve topoğrafik karakteristikleri detaylı olarak araştırılmıştır.

DRASTIC yönteminde en yüksek ağırlığa sahip parametrelerden biri olan yeraltı suyu derinliğinin belirlenebilmesi amacıyla 397 adet kuyudan elde edilen derinlik verileri kullanılarak derinlik (m) haritası oluşturulmuş; ardından bu derinliklere karşılık gelen yöntemsel değerler kullanılarak yeraltı suyu derinliği parametre haritası hazırlanmıştır.

Çalışma alanında, Dicle Alt Havzası'nın taşıdığı nehir, çay ve dere kollarının oluşturduğu alüvyonlu bir ortam gözlemlenmiş; toprağın büyük oranda kumlu tın, kısmen ise çakıllı yapıda olduğu tespit edilmiştir. Bu doğrultuda yöntemde karşılık gelen sınıflama değerleri kullanılarak toprak ortamı haritası ve toprak parametre haritaları oluşturulmuştur. Ayrıca yüksek geçirgenlik özelliği gösteren alüvyonun çalışma alanının

tamamında akifer ortamı sunduğu belirlenmiş ve buna bağlı olarak akifer ortamı parametre haritası hazırlanmıştır.

Havzanın kuzey kesimi yüksek kotlara sahipken orta ve güney kesimleri düz topoğrafik özellikler göstermektedir. Bu nedenle doğru sayısal veriler elde edebilmek amacıyla Japonya Uzay Araştırma Ajansı'na (JAXA) ait Alos Palsar uydusundan Sayısal Yükseklik Modeli (DEM) verisi indirilmiştir. Ardından güney ve orta kesimlerde yer alan sondaj kuyularından elde edilen veriler ile DEM verileri, ArcGIS 10.8 programı kullanılarak eğim hesaplamasına tabi tutulmuştur. Tez alanının yüzde eğim oranı haritalandırılmış ve çıkan sayısal değerler ile sınıflama çalışması yapılmıştır. Bu analiz sonucunda alanın topoğrafya parametre haritası ve risk haritası oluşturulmuş; düşük eğimlere sahip olması nedeniyle alanın yüksek ve orta riskli bir yapıya sahip olduğu tespit edilmiştir.

Çalışma alanının toprak yapısının alüvyon birimlerden oluşması, porozite ve permeabilite oranlarının yüksek olmasına neden olmuştur. Bu durum, doymamış alandan akifer ortamına geçişte kirletici maddelerin geçişine açık bir ortam oluşturmuş ve hızlı geçişe olanak tanıdığı tespit edilmiştir. Bu özellikler doğrultusunda, doymamış ortama ilişkin DRASTIC yönteminde belirlenen değerlere göre sınıflama yapılmış ve haritalaması gerçekleştirilmiştir.

Kirleticinin yeraltı suyuna ulaşmasının ardından kirlilik seviyesini etkileyen önemli bir parametre olan hidrolik iletkenlik, Devlet Su İşleri'nden temin edilen 397 adet kuyuya ait statik ve dinamik su debisi ile günlük ve yıllık veriler kullanılarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamada, Şimşek vd. (2018) tarafından önerilen $K = (Q_s \times 2,4) - 1,23$ denklemi uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, DRASTIC yönteminde belirlenen sınıf değerlerine göre haritalama yapılmış ve orta ile yüksek iletkenlik gösteren alanların yoğun olduğu tespit edilmiştir.

Fırat-Dicle Havzası, geniş bir coğrafi alana yayılması ve farklı iklimsel karakteristikleri bünyesinde barındırması nedeniyle birden fazla iklim özelliği göstermektedir. Havza içerisindeki su kaynakları büyük ölçüde bu iklimsel yağış koşullarına bağlıdır. Çalışma alanı, Dicle Alt Havzası içerisinde yer aldığı için yağış alan bir bölgede bulunmaktadır. Ayrıca, kuzeyde yer alan yüksek kesimlerden ovaya doğru gerçekleşen yüzey akışı da oldukça fazladır. Bu nedenle çalışmada ilk olarak yağış dağılımını gösteren bir yağış haritası oluşturulmuştur. Yağış verileri kullanılarak beslenme oranının hesaplanmasında, Piscopo (2001) tarafından önerilen denklemden yararlanılmıştır. Ayrıca, daha önce belirlenen DRASTIC parametrelerinden topoğrafya,

hidrolik iletkenlik gibi veriler de dikkate alınarak beslenme parametresi hesaplanmış ve bu doğrultuda beslenme haritası hazırlanmıştır.

Devlet Su İşleri'nden (DSİ) temin edilen 397 adet kuyuya ait veriler doğrultusunda, çalışma alanında DRASTIC yöntemine ait yedi parametre Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yazılımı olan ArcGIS 10.8 aracılığıyla ayrı ayrı değerlendirilmiş ve her biri için haritalama çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Belirlenen bu yedi parametre, DRASTIC indeks denklemi kapsamında birleştirilerek alanın yeraltı suyu kirlenebilirliğine ilişkin hassasiyet değerleri hesaplanmış ve indeks haritaları oluşturulmuştur. Elde edilen indeks sonuçlarına göre, Silopi ve ovası'nın toplam yüzey alanının %19,40'ı düşük, %76'sı orta ve %4,03'ü yüksek hassasiyet sınıfında yer aldığı tespit edilmiştir.

Yüksek ve orta hassasiyetin gözlemlendiği alanlar genellikle yerleşim yerleri veya bunların çevresinde yer almakta olup olası bir kirlenmede antropojenik etkinin belirleyici bir faktör olabileceğini göstermektedir. Bu bölgelerde alüvyonlu zemin yapısının varlığı ve düşük eğim gibi faktörler de hassasiyeti artıran unsurlar arasında yer almaktadır. Ayrıca, yeraltı suyu seviyesinin yüzeye daha yakın olması bu olumsuz koşulları pekiştirmekte ve yüksek hassasiyetin oluşmasını kaçınılmaz hale getirmektedir.

4.2. Çalışma Sonuç Bulgularının Literatür Karşılaştırmalı İncelenmesi

Silopi Ovası'nda gerçekleştirilen bu çalışmada, yeraltı suyu kirlenme potansiyeli DRASTIC yöntemiyle değerlendirilmiş olup, alanın %19,4'ü düşük, %76'sı orta ve %4,03'ü yüksek hassasiyet düzeyinde sınıflandırılmıştır. Bu bulgular benzer yöntemin uygulandığı diğer bölgesel çalışmalarla karşılaştırıldığında hem benzerlikler hem de dikkat çekici farklılıklar ortaya koymaktadır.

Silopi Ovası'ndaki düşük ve orta hassasiyet oranları, bölgenin jeolojik yapısına, akiferlerin geçirgenlik düzeyine ve topoğrafik eğimine bağlı olarak belirlenmiştir. Ancak Köyceğiz-Dalyan Havzası'nda Türkay (2015) tarafından yürütülen çalışmada; alanın %24,4'ünün çok yüksek ve %8,3'ünün yüksek hassasiyet düzeyinde olduğu tespit edilmiştir. Bu fark özellikle bölgedeki koruma alanlarının sınırlılığı ve farklı hidrojeolojik koşullar ile açıklanabilir.

Yine Silopi Ovası'nda düşük hassasiyet oranı %19,4 olarak belirlenmişken; Batman Ovası'nda Yavuz (2017) tarafından yapılan çalışmada bu oran %81,69 olarak rapor edilmiştir. Batman'daki bu yüksek düşük-hassasiyet oranı daha geçirimsiz jeolojik

formasyonların etkisini yansıtmakta ve bölgedeki kirlenme riskinin Silopi'ye kıyasla daha sınırlı olduğunu düşündürmektedir.

Silopi Ovası'nda yüksek hassasiyet oranı %4,03 ile sınırlı düzeyde kalırken, Trakya Bölgesi'ndeki Hayrabolu Havzası'nda Arkoç (2018), %28,2 oranında yüksek hassasiyet belirlemiştir. Her iki bölgede de alüvyonal zemin yapısı risk faktörü oluşturmalarına rağmen oranlardaki farklılık dikkat çekicidir ve yerel hidrojeolojik koşulların etkisine işaret etmektedir.

Silopi Ovası'nın %4,03'lük yüksek hassasiyet düzeyi, Göksu Deltası'ndaki oranlarla karşılaştırıldığında oldukça düşüktür. Sayılğan (2019) tarafından yapılan çalışmada Göksu Deltası'nda %22,69 oranında yüksek ve %0,001 oranında çok yüksek hassasiyet düzeyi rapor edilmiştir. Bu fark, delta bölgelerinde tuzlu su girişiminin ve kıyı etkilerinin daha belirgin olmasıyla ilişkilendirilebilir.

Benzer şekilde Silopi Ovası'nda yüksek ve çok yüksek risk taşıyan alanlar oldukça sınırlı iken Karacabey ve Mustafakemalpaşa ovalarında Arra (2021) tarafından yapılan çalışmada yüksek hassasiyet %39, çok yüksek hassasiyet ise %25,5 olarak belirlenmiştir. Bu oranlar, yoğun tarımsal ve endüstriyel faaliyetlerin yeraltı suyu üzerindeki etkisini açıkça ortaya koymaktadır.

Silopi Ovası'nın düşük (%19,4) ve orta (%76) düzeydeki ağırlıklı dağılımı Diyarbakır iline bağlı Bismil Ovası ile de kıyaslanabilir düzeydedir. Yüksel (2023) tarafından yapılan çalışmada Bismil Ovası'nda %64 düşük, %18 orta ve %8 yüksek hassasiyet oranları bildirilmiştir. Düşük hassasiyetin daha yaygın olması bölgenin farklı litolojik yapısı ve su geçirgenliğine bağlı olarak değerlendirilebilir.

Sonuç olarak Silopi Ovası'nda elde edilen veriler özellikle düşük ve orta düzeyde hassasiyetin ağırlıkta olması nedeniyle daha dengeli ve kontrol edilebilir bir kirlenme risk profiline işaret etmektedir. Bu çalışmada ortaya konan bulgular diğer bölgelerle karşılaştırıldığında Silopi Ovası'nın daha düşük kirlenme potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte güneydeki alüvyonal bölgelerde yerleşim ve tarım faaliyetlerinin yoğunluğu dikkate alınarak bu alanlara yönelik özel koruma ve izleme stratejilerinin geliştirilmesi büyük önem arz etmektedir.

4.3. Öneriler

Yeraltı suyu hassasiyet haritaları, endüstriyel, tarımsal, ticari ve toplumsal faaliyetlerle ilişkili olarak su kaynaklarının etkin yönetimine yönelik stratejilerin

oluşturulmasında önemli bir rol oynamaktadır. Bu çalışma sonucunda elde edilen bulgular, alan kullanımına dair karar süreçlerinde yetkili kurumlar ve karar vericiler için yol gösterici olabilir. Hassasiyet haritalarının alan kullanım kararlarıyla birlikte değerlendirilmesi durumunda, farklı senaryolar geliştirilerek yeraltı suyunun kirlenmeye karşı korunması ve izlenmesine yönelik çeşitli seçenekler ortaya konabilir. Ayrıca bu haritalar; su kaynaklarının korunması gereken bölgelerinin belirlenmesi, ileri düzey araştırmaların planlanması, risk analizlerinin yapılması ve kaynakların sınıflandırılması gibi su yönetimi politikalarının şekillendirilmesinde kullanılabilir (Liggett & Talwar, 2009).

Silopi ilçesi, verimli toprakları tarım için uygun alanları ve yeterli sulama kaynakları sayesinde, tarımsal üretimi temel geçim kaynağı olarak benimsemiştir. Yapılan analizler düşük eğimli bölgelerde, YAS'ın yüzeye yakın olduğu ve yerleşim yerlerine yakın alanlarda çevresel hassasiyetin arttığını göstermektedir. Bu durum tarımsal faaliyetler sırasında kullanılan gübre ve pestisitlerin yanı sıra insan kaynaklı etkilerle kirlilik riskinin yükseldiğini ortaya koymaktadır. Bu sebeple Silopi ve çevresinde tarımsal faaliyetlerin yeraltı suyu kalitesi üzerindeki etkileri dikkate alındığında, sürdürülebilir su yönetimi kapsamında bazı önlemlerin hayata geçirilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda aşağıdaki öneriler sunulmuştur:

- ✓ Organik ve kimyasal gübrelerin bilinçsiz ve aşırı kullanımının kontrol altına alınması, yeraltı suyu kirliliğinin önlenmesi açısından kritik bir öneme sahiptir.
- ✓ Gübre uygulamalarında; gübre türü, kullanım miktarı ve uygulama zamanı, bölgesel toprak ve iklim koşulları göz önünde bulundurularak belirlenmeli, çiftçiler bu konuda bilgilendirilmelidir.
- ✓ Geleneksel sulama yöntemleri (salma, karık vb.) yerine, damlama, yağmurlama, toprak altı sulama gibi modern sulama sistemlerinin kullanımı teşvik edilmelidir. Bu sistemler, gübrelerin toprağa daha kontrollü bir şekilde karışmasını sağlayarak nitrat ve nitrit kirliliği riskini önemli ölçüde azaltabilir.
- ✓ Endüstriyel faaliyetlerin yoğunlaştığı bölgelerde, atık suların kontrolsüz şekilde alıcı ortamlara deşarjı önlenmeli; yeraltı suyu, çeşitli kirlilik parametreleri açısından düzenli olarak izlenmelidir.
- ✓ Kullanım dışı bırakılmış, terk edilmiş veya işlevini yitirmiş kuyular, kirleticilerin doğrudan yeraltı suyuna ulaşımını engellemek amacıyla, uygun mühendislik teknikleriyle kapatılmalıdır. Ayrıca, ruhsatsız kuyulardan su temini kesinlikle engellenmelidir.

- ✓ İçme suyu olarak da yararlanılan yeraltı suyu kaynaklarının kimyasal özellikleri, halk sağlığı açısından düzenli aralıklarla analiz edilmeli ve belirlenen kalite sınırlarının aşılması durumunda gerekli müdahaleler yapılmalıdır.
- ✓ İklim değişikliği gibi mevsimsel değişkenliği etkileyen faktörlere yönelik çalışmalar yapılmalı; bu doğrultuda bölgeye özgü mevsimsel hassasiyet haritaları oluşturularak gerekli önleyici stratejiler geliştirilmelidir.

KAYNAKLAR

- Aller, L., Bennett, T., Lehr, J. H., Petty, R. J., & Hackett, G. (1987), DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings, *EPA-600/2-87-035*, Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory, Ada, 252 s.
- Altınlı, İ. E. (1966). Doğu ve güneydoğu anadolu'nun jeolojisi. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 67(67), 1-24.
- Al-Zabet, T. (2002). Evaluation of aquifer vulnerability to contamination potential using drastic method. *Environmental Geology*, 43, 203-208. <http://dx.doi.org/10.1007/s00254-002-0645-5>
- Arınç, K. (2011). Türkiye'nin iç bölgeleri, biyosfer araştırmaları merkezi coğrafya araştırmaları serisi, Erzurum.
- Arkoç, O. (2018). Trakya bölgesi, hayrabolu havzasında akiferin kirlenmeye karşı duyarlılığının drastic ve drastic-ahp yöntemleri ile haritalanması. *Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(1), 6-22.
- Arra, A. S. A. A. (2021). *DRASTIC yöntem ile yeraltı suyunun kirlilik hassasiyetinin değerlendirilmesi: Bursa ili Karacabey ve Mustafakemalpaşa ovası uygulaması* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. 91 s.
- Baalousha, H. (2006). Vulnerability assessment for the gaza strip, palestine using drastic. *Environmental Earth Sciences*, 50(3), 405-414. [DOI:10.1007/s00254-006-0219-z](https://doi.org/10.1007/s00254-006-0219-z)
- Barış, N. (2008). *Tahtalı Barajı Havzasının Hidrojeolojik İncelenmesi ve Yeraltı Suyu Kirlenebilirliğinin AHS-DRASTIC Yöntemi ile Değerlendirilmesi*, [Yayımlanmamış Doktora Tezi]. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sf. 126, İzmir, Türkiye.
- Bilir, B., Irmak, S., & Doğan, M. (2023). Şırnak İli Silopi İlçesi Tarım Topraklarının Bazı Özellikleri ve Besin Elementi Düzeylerinin Belirlenmesi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 28(3), 1174-1186. <https://doi.org/10.53433/yyufbed.1262873>
- Büyükdemirci, A.H. (2012). *Groundwater vulnerability assessment with DRASTIC method: a case-study on Kırıkkale Plain, Turkey*. [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara. 70.
- ÇED, ve Müdürlüğü, İ. V. D. G. (2018). *Şırnak ili 2018 yılı çevre durum raporu*. <https://ced.csb.gov.tr/>. [https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/s-rnak - cdr2018-20200206094228.pdf](https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/s-rnak-cdr2018-20200206094228.pdf)

- Civita, M. (1994). *Le carte della vulnerabilit a degli acquiferi all'inquinamento: teoria e pratica [Contamination vulnerability mapping of the aquifer: theory and practice]*. Quaderni di Tecniche di Protezione Ambientale, Pitagora, Italy.
- Civita, M., & De Regibus C. (1995). *Sperimentazione di Alcune Metodologie per la Valutazione della Vulnerabilit  degli Acquiferi*, Cilt 3.
- Corine, (2018). *Corine 2018 Şırnak İli Silopi İlçesi Bölgesel Raporu*. Corine. <https://corinecbs.tarimorman.gov.tr/>
- Davraz, A., Nalbantçılar, M. T., Kadirhan, G., Ercan İştin, A., vd. (2024). *Şırnak İli Jeotermal Kaynakları Ve Özellikleri*. Mühendislik Bilimleri Ve Tasarım Dergisi, 12(1), 140-155. <https://doi.org/10.21923/jesd.1425691>
- Dika, (2017). *İstatistiklerle şırnak*. <https://www.dika.org.tr/>. <https://www.dika.org.tr/assets/upload/dosyalar/istatistiklerle-sirnak.pdf>
- Dörfliker, N., Jeannin, P. & Zwahlen, F. (1999). Water vulnerability assessment in karst environments: a new method of defining protection areas using a multi-attribute approach and gis tools (epik method). *Environmental Earth Sciences*, 39(2), 165-176. [DOI:10.1007/s002540050446](https://doi.org/10.1007/s002540050446)
- Dsi, (2023). *Dsi 2023 yılı faaliyet raporu*. <https://www.dsi.gov.tr/Sayfa/Detay/759>. https://cdniys.tarimorman.gov.tr/api/File/GetFile/425/Sayfa/759/1107/DosyaGaleri/dsi_2023_yili_faaliyet_raporu.pdf
- Devlet Su İşleri 10. Bölge Müdürlüğü. (2023). *EK11A Midyat hidrojeoloji haritası (1:200.000 ölçekli)* [Harita]. Devlet Su İşleri 10. Bölge Müdürlüğü.
- FAO, (1981). *Soil map of the world*. <https://www.fao.org/>. <https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-maps-and-databases/faounesco-soil-map-of-the-world/en/>
- Foster, S. (1987). Fundamental Concepts in Aquifer Vulnerability, Pollution Risk and Protection Strategy, *Proceeding International Conference on Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollutants*, Sf. 69-86.
- Gogu, R. C. & Dassargues, A. (2000). Current trends and future challenges in groundwater vulnerability assessment using overlay and index methods. *Environmental Earth Sciences*, 39(6), 549-559. [DOI:10.1007/s002540050466](https://doi.org/10.1007/s002540050466)
- Goldscheider, N., Klute, M., Sturm, S., & Hotzl, H. (2000). The PI method: A GISbased approach to mapping groundwater vulnerability with special consideration of karst aquifers. *Zeitschrift Für Angewandte Geologie*, 46 (3), 157–166.
- Göncüoğlu, M.C., Dirik, K., Kozlu, H., 1997. *General characteristics of pre-Alpine and Alpine Terranes in Turkey: Explanatory notes to the terrane map of Turkey*. Annales Geologique de Pays Hellenique, 37, 515-536.

- Kösen, İ. (2019). *Silopi şehrinin fonksiyonel özellikleri*. [Yayınlanmamış yüksek lisans tezi]. Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Karabük, 161s.
- Liggett, J. E., & Talwar, S. (2009). Groundwater vulnerability assessments and integrated water resource management. *Watershed Management Bulletin*, 13(1), 18-29.
- Margat, J., (1968). Vulnerabilite des nappes d'eau souterraine a la pollution [Groundwater vulnerability to contamination]. Bases de al cartographie, (Doc.) 68 SGC 198 HYD, BRGM, Orleans, France
- Mgm, (2024a, Eylül). *Dünyada su*. <https://www.mgm.gov.tr/https://www.mgm.gov.tr/genel/hidrometeoroloji.aspx?s=3>
- Mgm, (2024b, Ekim). *Resmi iklim istatistikleri*. <https://www.mgm.gov.tr/https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=undefined&m=SIRNAK>
- MTA, (2007a). *N48 paftası 1/100.000 ölçekli vektör jeoloji haritası*. Mta.gov.tr. https://eticaret.mta.gov.tr/index.php?route=product/product&product_id=36638&search=n48
- MTA, (2007b). *N49 paftası 1/100.000 ölçekli vektör jeoloji haritası*. Mta.gov.tr. https://eticaret.mta.gov.tr/index.php?route=product/product&product_id=36639&search=n49
- Muhammetoğlu, H., Muhammetoglu, A. ve Soyupak, S. (2002). Vulnerability of groundwater to pollution from agricultural diffuse sources: a case study. *Water Science & Technology*, 45(9), 1-7. [DOI:10.2166/wst.2002.0191](https://doi.org/10.2166/wst.2002.0191)
- Navulur, K. C. S. (1996). *Groundwater vulnerability evaluation to nitrate pollution on a regional scale using gis* [Yayınlanmamış doktora tezi]. Purdue University.156s. <https://www.proquest.com/docview/304264194?accountid=86195&sourcetype=Dissertations%20&%20Theses>
- NRC, (1993). Ground water vulnerability assessment: predicting relative contamination potential under conditions of uncertainty ground water vulnerability assessment predicting relative contamination potential under conditions of uncertainty. *Washington, Dc: The National Academies Press.*, 224 s. <https://doi.org/10.17226/2050>.
- Piscopo, G. (2001). Groundwater Vulnerability Map Explanatory Notes, Macquarie Catchment. NSW Department of Land and Water Conservation. Sydney, Australia. Website:http://www.water.nsw.gov.au/ArticleDocuments/34/quality_groundwater_macquarie_map_notes.pdf.
- Sayılğan, P., (2019). *Göksu deltası (Silifke, Mersin) kıyı akiferinin kirlenmeye karşı hassasiyetinin coğrafi bilgi sistemi tabanlı DRASTIC yöntemiyle değerlendirilmesi*. [Yayınlanmamış yüksek lisans tezi]. Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin, 48s.

- Stempvoort, D. V., Ewert, L. & Wassenaar, L. (1993). Aquifer vulnerability index (avı): a gis compatible method for groundwater vulnerability mapping. *Canadian Water Resources Journal*, 18(1), 25-37. <https://doi.org/10.4296/cwrj1801025>
- Singh, V.P., & Fiorentino, M. (1996). *Geographical Information Systems in Hydrology (Water Science and Technology)*. Springer, Sayfa: 446, Berlin, Germany. DOI: [10.1007/978-94-015-8745-7](https://doi.org/10.1007/978-94-015-8745-7)
- Stillwell, J. & Clarke, G. (2004). *Applied-gis-and-spatial-analysis-1*. Scribd. <https://www.scribd.com/document/128375288/Applied-GIS-and-Spatial-Analysis-1>
- SUDER, (2024, Eylül). *Yeraltı suları nasıl oluşur?*. Suder.org.tr. <https://suder.org.tr/ambalajli-su/yeralti-sulari-nasil-olusur/>
- Su, X., Wang, H. & Zhang, Y. (2013). Health risk assessment of nitrate contamination in groundwater: a case study of an agricultural area in northeast china. *Water Resources Management*, 27(8), 3025-3034. DOI: [10.1007/s11269-013-0330-3](https://doi.org/10.1007/s11269-013-0330-3)
- Şener, Ş., Şener, E., ve Davraz, A. (2009). DRASTIC ve Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemlerinin Entegrasyonu ile Akifer Duyarlılık Haritalarının Hazırlanması: Senirkent - Uluborlu Havzası (Isparta) Örneği. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(1), 48-59. <https://doi.org/10.19113/sdufbed.65817>
- Şener, E. (2011). *Coğrafi bilgi sistemleri tabanlı akifer kirlenebilirlik haritalarının çok kriterli karar verme analizleri kullanılarak hazırlanması: Eğirdir Gölü havzası örneği*. [Yayınlanmamış yüksek lisans tezi]. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta. 131.
- Şimşek, C., Baba, A., Aksoy, N. ve Demirkıran, Z. (2018, Nisan). *Alüvyon akifer için özgül debi değeri ile hidrolik iletkenliğin tahmin edilmesi: alayşehir (manisa) ovası örnek çalışması* [Bildiri sunumu]. 71. Türkiye jeoloji kurultayı, Ankara, 361-362.
- Tabatabaei, A. (2019). *Yeraltı sularının duyarlılığının değerlendirilmesi ve kullanılan modellerin optimizasyonu: Gümüşhacıköy-Merzifon havzası (Orta Karadeniz) için bir uygulama*. [Yayınlanmamış doktora tezi]. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon. 84s.
- Tarım ve Orman Bakanlığı. (2016). *Şırnak ili tabiat turizmi master planı 2016–2019*. <https://bolge3.tarimorman.gov.tr/Documents/%C5%9EIRNAK.pdf>
- Tarım ve Orman Bakanlığı. (2020, Temmuz). *Fırat-Dicle havzası taşkın yönetim planı yönetici özeti*. <https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/Ta%C5%9Fk%C4%B1n%20Y%C3%B6netim%20Planlar%C4%B1%2026.12.2022/Dicle%20Alt%20Havzas%C4%B1%20Ta%C5%9Fk%C4%B1n%20Y%C3%B6netim%20Plan%C4%B1%20Y%C3%B6netici%20%C3%96zeti.pdf>

- Taşdemir, S. S. ve Çam, A. V. (2024). Türkiye’de coğrafi bilgi sistemi tabanlı yatırım teşvik politikalarının oluşturulması. *Kmü Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi (Kmusekad)*, 26(46), 276-301.
- TÜİK, (2024, Şubat). *Adrese dayalı nüfus kayıt sistemi sonuçları, 2023*. <https://Data.tuik.gov.tr/>. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuclari-2023-49684>
- Türkay, Z. (2015). *Köyceğiz-Dalyan Havzasının Yeraltı Suyu Kirlenme Potansiyelinin Drastic Yöntemi Kullanılarak Belirlenmesi*. [Yayınlanmamış yüksek lisans tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 95s.
- Vrba, J. and Zaporozec, A. (1994). Guidebook on Mapping Groundwater Vulnerability. *International Contributions to Hydrogeology*, Vol. 16, Verlag Heinz Heise, Hannover, 131 p.
- Yavuz, V. S. (2017). *Batman ovası’nın yeraltı suyu potansiyeli ve kalitesinin coğrafi bilgi sistemi (CBS) ile modellenmesi*. [Yayınlanmamış doktora tezi]. Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır. 121s.
- Yüksel, A. (2023). *Bismil ovası (Diyarbakır) yeraltı sularının kirlenmeye karşı hassasiyetinin DRASTIC yöntemi kullanılarak belirlenmesi*. [Yayınlanmamış yüksek lisans tezi]. Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.34s.
- Vias, J., Andreo, B., İnciler, M., Carrasco, F., Vadillo, B. ve Gavilán, P. J. (2006). Proposed method for groundwater vulnerability mapping in carbonate (karstic) aquifers: the cop method. *Hydrogeology Journal*, 14(6), 912-925. [DOI:10.1007/s10040-006-0023-6](https://doi.org/10.1007/s10040-006-0023-6)
- Wang, L. & Yang, Y. (2008). An approach to catchment-scale groundwater nitrate risk assessment from diffuse agricultural sources: a case study in the upper bann, northernireland. *Hydrological Processes*, 22(21), 4274-4286. [DOI:10.1002/hyp.7036](https://doi.org/10.1002/hyp.7036)