



**TARIMSAL FAALİYETLERDE PESTİSİT KULLANIMININ YERALTI
SUYUNA BASKI-ETKİ VE HASSASİYET (DRASTIC) ANALİZİNİN
İNCELENMESİ**

Çiğdem ÜNAL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2024

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Çiğdem ÜNAL

22/07/2024

TARIMSAL FAALİYETLERDE PESTİSİT KULLANIMININ YERALTI SUYUNA BASKI-ETKİ VE HASSASİYET (DRASTIC) ANALİZİNİN İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Çiğdem ÜNAL

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2024

ÖZET

Bu tez çalışmasında, Manavgat ilçe merkezini içine alan Manavgat yeraltı suyu kütlesi (Antalya Havzası) üzerindeki tarımsal faaliyetlerin pestisit kirliliği üzerindeki baskısı ve bu baskının yeraltı suyu kirliliğine etkisi değerlendirilmiştir. Ardından, pestisit DRASTIC hassasiyet analizi kullanılarak çalışma alanında yaygın olarak kullanılan pestisitlerin yeraltı suyunda oluşturduğu hassasiyet tespit edilmiştir. Çalışma, tarımsal faaliyetler açısından alınacak önlemlerin, belirlenen pestisit etkisi ve hassasiyeti göz önünde bulundurularak planlanması için yol gösterici olmayı amaçlamaktadır. Çalışma alanının %42'sinde aktif tarım yapılmakta ve yoğun seracılık faaliyetleri yürütülmektedir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda çalışma alanında yüksek tarım baskısı olduğu belirlenmiştir. Pestisit kullanımı, tarımsal verimlilik açısından fayda sağlasa da, yeraltı suyu kirliliği için ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. TÜİK verilerine göre bölgede 59 farklı pestisit kullanılmaktadır ve pestisit kullanımı Türkiye genel ortalamasının oldukça üzerindedir. DSI tarafından gerçekleştirilen yeraltı suyu kalite izlemelerinde, 72 pestisit çeşidinden sadece ikisinin, alachlor ve nicosulfuron, Yeraltı Sularının Kirlenmeye ve Bozulmaya Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik'te belirlenen kalite standartlarını aştığı tespit edilmiştir. Bu pestisitlerin varlığı, halk sağlığı açısından ciddi riskler taşımaktadır. Pestisit DRASTIC hassasiyet analizi, çalışma alanının büyük bir kısmının çok yüksek ve yüksek pestisit kirliliği hassasiyetine sahip olduğunu ortaya koymuştur. Tespit edilen bu yüksek hassasiyet, mevcut durumda tek dönemde gözlenen teyit edilmiş etkinin, ilerleyen dönemlerde artma ihtimalinin yüksek olduğunu göstermektedir. Bu bulgular, tarımsal faaliyetlerin sürdürülebilir yönetimi ve yeraltı suyu kalitesinin korunması için önemli bilgiler sunmaktadır. Sonuç olarak, pestisit kirliliği hassasiyeti yüksek olan bölgelerde, insan sağlığını korumak amacıyla gerekli tedbirlerin alınması önemlidir. Sürdürülebilir tarım uygulamaları teşvik edilmeli, pestisit kullanımı konusunda eğitimler verilmeli ve düzenli izleme programları uygulanmalıdır. Bu önlemler, gelecekteki su güvenliğinin sağlanmasında kritik bir rol oynamaktadır.

Bilim Kodu : 91133

Anahtar Kelimeler : Yeraltı suyu, tarımsal kirlilik, etki değerlendirmesi, pestisit, DRASTIC

Sayfa Adedi : 45

Danışman : Prof. Dr. Zeliha SELEK

INVESTIGATING OF THE PRESSURE-IMPACT AND SENSITIVITY (DRASTIC)
ANALYSIS OF PESTICIDE USE ON GROUNDWATER IN AGRICULTURAL
ACTIVITIES

(M. Sc. Thesis)

Çiğdem ÜNAL

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2024

ABSTRACT

In this thesis study, the pressure of agricultural activities on pesticide pollution over the Manavgat groundwater body (Antalya Basin), which includes the center of Manavgat district, and the impact of this pressure on groundwater pollution were evaluated. Subsequently, the sensitivity of pesticides commonly used in the study area on groundwater was determined using the pesticide DRASTIC sensitivity analysis. The study aims to provide guidance for planning measures in agricultural activities by considering the identified pesticide impact and sensitivity. Active agriculture is carried out in 42% of the study area, with intensive greenhouse activities. As a result of the pressure assessment, it was determined that there is high agricultural pressure in the study area. Although pesticide use provides benefits in terms of agricultural productivity, it poses a serious threat to groundwater pollution. According to TUIK data, 59 different pesticides are used in the region, and pesticide usage is significantly above the national average of Turkey. Groundwater quality monitoring conducted by DSI revealed that only two of the 72 pesticide types, alachlor and nicosulfuron, exceeded the quality standards set by the Regulation on the Protection of Groundwater Against Pollution and Deterioration. The presence of these pesticides poses serious risks to public health. The pesticide DRASTIC sensitivity analysis revealed that a large portion of the study area has very high and high sensitivity to pesticide pollution. This identified high sensitivity suggests that the current verified impact observed in a single period is likely to increase in the future. These findings provide important information for the sustainable management of agricultural activities and the protection of groundwater quality. Consequently, it is important to take necessary measures to protect human health in regions with high sensitivity to pesticide pollution. Sustainable agricultural practices should be encouraged, training on pesticide use should be provided, and regular monitoring programs should be implemented. These measures play a critical role in ensuring future water security.

Science Code : 91133

Key Words : Groundwater, agricultural pollution, impact assessment, pesticide, DRASTIC

Page Number : 45

Supervisor : Prof. Dr. Zeliha SELEK

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanması sırasında desteklerini esirgemeyen değerli danışmanım Prof. Dr. Zeliha SELEK'e teşekkür ederim. Çocukları olduğum için kendimi her zaman şanslı hissettiğim, hayatlarını sağlıklı, mutlu ve eğitilmiş birer evlat yetiştirmeye adanmış çok sevgili annem Filiz ÜNAL ve babam Necmi ÜNAL'a; dünyaya geldiği andan beri hayatımı neşelendiren biricik kardeşim Çağatay ÜNAL ve kız kardeşliği yaşadığım sevgili eşi Aslıhan ÜNAL'a her zaman olduğu gibi bu çalışma sürecinde de desteklerini hiç eksik etmedikleri için sonsuz şükranlarımı bir borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
HARİTALARIN LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. ÇALIŞMA ALANI	3
3. YÖNTEM.....	7
3.1. Baskının Belirlenmesi	7
3.2. Etkinin Belirlenmesi.....	9
3.3. Pestisit DRASTIC Hassasiyet Analizi	10
4. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	13
5. BASKI VE ETKİ DEĞERLENDİRMELERİ	15
5.1. Baskı Değerlendirmesi	15
5.2. Etki Değerlendirmesi	19
6. HASSASİYET ANALİZİ (DRASTIC YÖNTEMİ).....	23
6.1. Yeraltı Suyuna Derinlik (D).....	23
6.2. Net Beslenim (R).....	24
6.3. Akifer Ortamı (A)	26
6.4. Toprak Ortamı (S).....	28
6.5. Topografya Eğimi (T)	30

Sayfa

6.6. Doymamış (Vadoz) Zonun Etkisi (I)	31
6.7. Hidrolik İletkenlik (C).....	33
6.8. Pestisit DRASTIC İndeksi	34
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	39
7.1. Sonuçlar.....	39
7.2. Öneriler	41
KAYNAKLAR	43
ÖZGEÇMİŞ	45

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Manavgat meteoroloji gözlem istasyonu ortalama yağışları	4
Çizelge 2.2. Manavgat meteoroloji gözlem istasyonu ortalama sıcaklıkları	5
Çizelge 2.3. Manavgat meteoroloji gözlem istasyonu ortalama buharlaşmalar	5
Çizelge 3.1. Baskı sınıfının belirlenmesinde kullanılan istatistiksel aralıklar	9
Çizelge 5.1. Tarımsal alanların belirlenmesinde kullanılan corine kodları	16
Çizelge 5.2. Kutu grafiğinde belirlenen aykırı değerler	18
Çizelge 5.3 Baskı sınıfının belirlenmesinde kullanılan istatistiksel aralıklar	19
Çizelge 5.4. Çalışma alanında ölçülebilen pestisit sonuçları	21
Çizelge 6.1. Yeraltı suyuna derinlik için aralıklar ve derecelendirmeler	24
Çizelge 6.2. Yeraltı suyuna net beslenme için aralıklar ve derecelendirmeler.....	25
Çizelge 6.3. Akifer ortamı için derecelendirmeler.....	27
Çizelge 6.4. Toprak ortamı için derecelendirmeler	29
Çizelge 6.5. Toprak eğimi için aralıklar ve derecelendirmeler.....	30
Çizelge 6.6. Vadoz zon etkisi için derecelendirmeler.....	32
Çizelge 6.7. Hidrolik iletkenlik için derecelendirmeler.....	33
Çizelge 6.8. DRASTIC ağırlıklandırma puanları	35
Çizelge 6.9. Pestisit DRASTIC ağırlıklandırma puanları	35
Çizelge 6.10. Pestisit DRASTIC İndeksinde kullanılan parametreler	36

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Box ve Whisker kutu grafiği açıklaması	8
Şekil 5.1. Antalya havzası yeraltı suyu kütlelerindeki tarım alanlarına ait kutu grafiği.	18
Şekil 5.2. Manavgat ilçesi ekilen bitki deseni alansal dağılımı	20



HARİTALARIN LİSTESİ

Harita	Sayfa
Harita 2.1. Çalışma alanı yer bulduru haritası	3
Harita 5.1. Çalışma alanındaki tarımsal alanların dağılımı.....	17
Harita 6.1. Yeraltı suyuna derinlik DRASTIC derecelendirme haritası	24
Harita 6.2. Yeraltı suyu net beslenim DRASTIC derecelendirme haritası	26
Harita 6.3. Akifer ortamı DRASTIC derecelendirme haritası	27
Harita 6.4. Toprak ortamı DRASTIC derecelendirme haritası	29
Harita 6.5 Topoğrafya eğimi DRASTIC derecelendirme haritası	31
Harita 6.6. Doymamış zon etkisi DRASTIC derecelendirme haritası	32
Harita 6.7. Hidrolik iletkenlik DRASTIC derecelendirme haritası	34
Harita 6.8. Pestisit DRASTIC indeks haritası.....	37

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

L

Litre

m

Metre

Kısaltmalar

Açıklamalar

ABD

Amerika Birleşik Devletleri

CBS

Coğrafi Bilgi Sistemi

CORINE

Çevresel Bilginin Koordinasyonu

DSİ

Devlet Su İşleri

EPA

Çevre Koruma Ajansı

SÇD

Su Çerçeve Direktifi

SYGM

Su Yönetimi Genel Müdürlüğü

TÜİK

Türkiye İstatistik Kurumu

YAS

Yeraltı suyu

WHO

Dünya Sağlık Örgütü

1. GİRİŞ

Dünya genelinde yeraltı suları hem içme suyu hem de tarımsal sulama için kritik bir kaynak olarak kullanılmaktadır. Ancak, tarımsal faaliyetler nedeniyle yeraltı suyu kaynaklarının kalitesi ciddi tehdit altındadır. Tarımda kullanılan pestisitler yeraltı sularına sızarak bu su kaynaklarının kirlenmesine yol açmaktadır.

Manavgat ilçesi, tarımsal faaliyetlerin yoğun olarak gerçekleştirildiği bir bölge olması nedeniyle yeraltı suyu kirliliği açısından ciddi riskler taşımaktadır. Tarım alanlarında kullanılan pestisitler, yeraltı sularına karışarak hem çevresel hem de halk sağlığı açısından önemli olumsuz etkiler yaratmaktadır. Tarımsal faaliyetlerin su kütleleri üzerindeki etkisi, iklim değişikliği nedeniyle de artmaktadır. Yeraltı suyu kirliliği, insanların içme suyu kalitesini ve ekosistemlerin sürdürülebilirliğini olumsuz etkileyebilecek boyutlara ulaşabilme potansiyeline sahiptir. Bu nedenle, yeraltı sularındaki tarımdan kaynaklı pestisit kirliliğinin belirlenmesi ve yönetilmesi hem yerel hem de ulusal düzeyde öncelikli bir çevre sorunudur.

Bu çalışmanın temel amacı, Manavgat yeraltı suyu (YAS) kütlesi (Antalya Havzası) üzerindeki tarımsal faaliyetlerin pestisit kirliliği açısından yarattığı baskıyı belirlemek ve bu baskının etkilerini değerlendirmektir. Ayrıca, pestisit kirliliğine karşı yeraltı suyunun hassasiyetini belirlemek amacıyla pestisit DRASTIC yöntemi ile yeraltı suyunun pestisit kullanımı nedeniyle karşılaşılabileceği riskler de değerlendirilmiştir. Bu amaç doğrultusunda şu sorulara yanıt aranmıştır:

- Çalışma alanı üzerindeki tarımsal faaliyetlerden kaynaklı baskı ne düzeydedir?
- Tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan baskıda pestisit etkisi görülmekte midir?
- Pestisit kirliliğine karşı yeraltı suyunun hassasiyeti ne düzeydedir?

Araştırma, çalışma alanındaki mevcut durumun analizi ile başlamış, ardından pestisitlerin yeraltı suyuna etkileri değerlendirilmiş ve son olarak pestisit DRASTIC yöntemi ile hassasiyet analizi yapılmıştır. Pestisit DRASTIC indeksi, belirli bir bölgedeki farklı alanların yeraltı suyu kirliliği açısından ne kadar risk altında olduğunu belirlemeye yardımcı olmaktadır. Böylece, konumsal olarak daha etkili koruma önlemleri ve yönetim stratejileri geliştirilebilmektedir. Bu kapsamda, farklı dönemlerde alınan su numuneleri

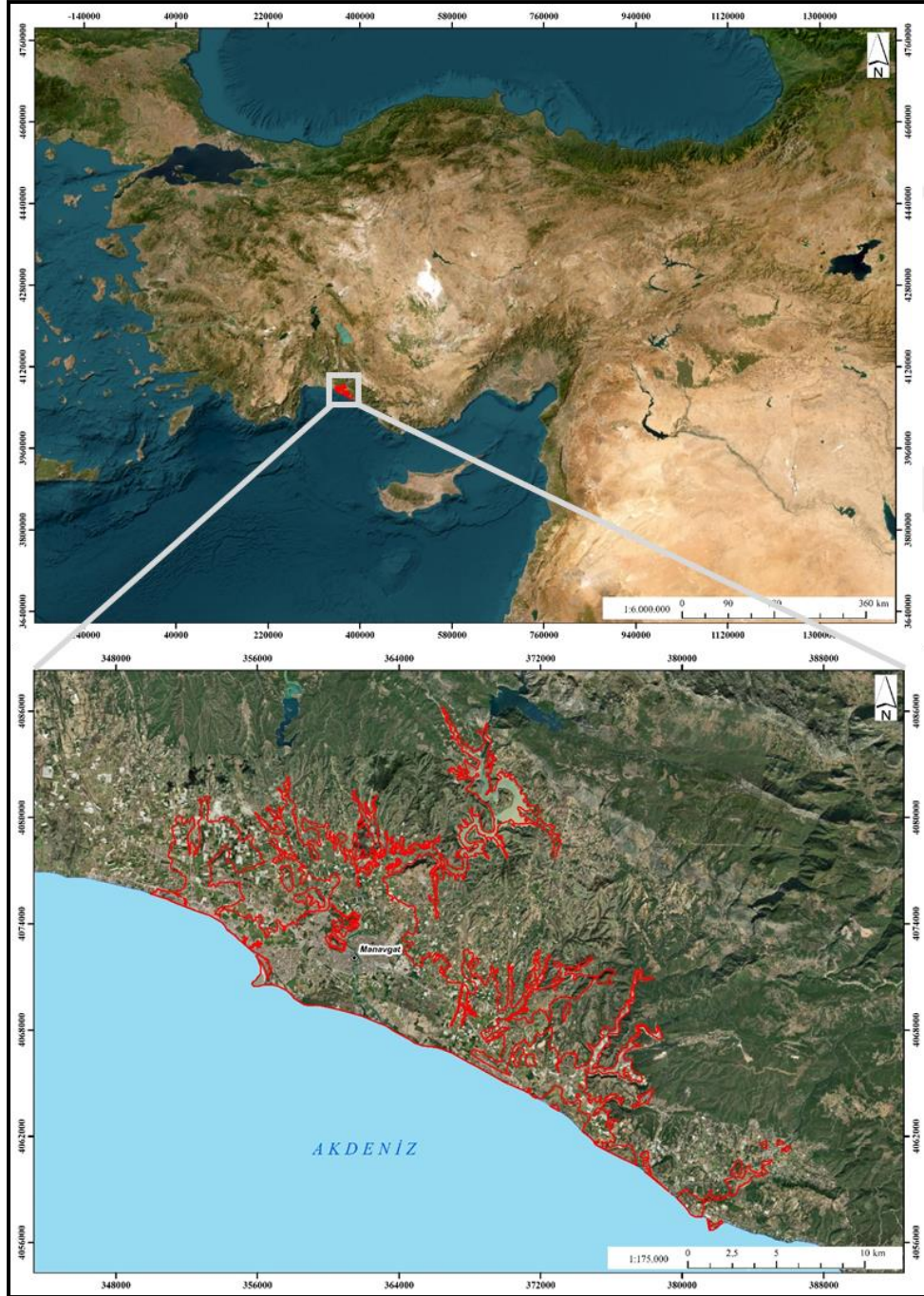
analiz edilmiş, pestisit konsantrasyonları belirlenmiş ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS) kullanılarak elde edilen veriler değerlendirilmiştir.

Çevresel sürdürülebilirlik, halk sağlığı ve ekonomik fayda/zarar açısından, çalışma alanındaki pestisitlerin yeraltı suyu üzerindeki mevcut etkileri ve gelecekteki hassasiyetinin belirlenmesi önemlidir. Pestisitlerin yeraltı sularına sızması, ekosistemlerde biyolojik çeşitliliğin azalmasına ve su kalitesinin bozulmasına neden olmaktadır. Bu, doğal yaşam alanlarının tahrip olmasına ve ekosistem hizmetlerinin kaybına yol açmaktadır. İçme suyu kaynaklarının pestisitlerle kirlenmesi, kanser gibi ciddi sağlık sorunlarına yol açabilmektedir. Tarım, Manavgat ekonomisinin önemli bir bileşenidir. Ancak, tarımda kullanılan pestisitlerin neden olduğu kirlilik, su kaynaklarının kirlenmesine ve tarımsal verimliliğin azalmasına yol açmaktadır. Bu, hem tarımsal üretimi hem de su kaynaklarının yönetimini olumsuz etkilemektedir. Bu araştırma, Manavgat ilçesindeki tarımsal faaliyetlerden kaynaklı pestisitler açısından yeraltı suyu kirliliği sorunlarının anlaşılmasına ve çözüm yollarının geliştirilmesine yönelik önemli bir adım teşkil etmektedir. Araştırmanın bulguları hem yerel hem de ulusal düzeyde su kaynakları yönetimi ve çevre koruma politikalarının şekillendirilmesine katkı sağlayacak niteliktedir. Dolayısıyla, bu çalışma sadece akademik bir değer taşımamakta, aynı zamanda politik ve yönetsel rehberlik, toplumsal farkındalık ve önerilerle planlama açısından da büyük bir öneme sahiptir.

Pestisit izlemeleri, belirli dönemlerde ve sınırlı sayıda noktadan analiz edilmiştir. Tarımsal faaliyetlerin mevsimsel değişiklikleri ve çiftçilerin pestisit kullanım alışkanlıkları dönemsel olarak farklılık gösterdiği için, sınırlı sayıdaki izlemeler kirlilik düzeyindeki trendin temsil gücünü kısıtlamaktadır. Buna rağmen, yapılan izlemeler faydalı bilgiler sunmakta ve pestisit kullanımının çevresel etkilerini anlamada önemli bir yol gösterici olmaktadır. Bu çalışmalar, özellikle gelecekte yapılacak daha kapsamlı araştırmalara temel oluşturarak, pestisit yönetimi ve çevre koruma stratejilerinin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır.

2. ÇALIŞMA ALANI

Çalışma alanı Antalya Manavgat ilçe merkezini içine alan, Antalya Havzası Yeraltı Suyu Planlama (Hidrojeolojik Etüt) Raporu'nda belirlenen Manavgat YAS kütlesidir. Manavgat YAS kütlesi 170 km²'dir. Türkiye üzerindeki konumu ve çalışma alanı sınırlarını gösteren harita, Harita 2.1'de verilmiştir.



Harita 2.1. Çalışma alanı yer bulduru haritası

Manavgat, Türkiye'nin Akdeniz Bölgesi'nde yer alan Antalya iline bağlı bir ilçedir. İlçenin batısında Serik, doğusunda Alanya, kuzeyinde Akseki ve Gündoğmuş, güneyinde ise Akdeniz bulunmaktadır. Manavgat ilçesi, coğrafi konumu, iklimi, topografyası ve jeolojik özellikleri ile hem turizm hem de tarım açısından büyük bir potansiyele sahiptir. Bu özellikler, ilçenin ekonomik ve sosyal yapısının şekillenmesinde belirleyici rol oynamaktadır. Manavgat'ın doğal ve kültürel zenginlikleri, bölgenin sürdürülebilir kalkınması için önemli fırsatlar sunmaktadır. Side antik kenti, Aspendos tiyatrosu, Manavgat Şelalesi gibi turistik yerler, her yıl milyonlarca turisti cezbetmektedir. Turizm, ilçenin ekonomisinin temel taşlarından biridir ve yerel halk için önemli bir gelir kaynağıdır. Manavgat, verimli toprakları ve uygun iklim koşulları sayesinde tarımda önemli bir yere sahiptir. Özellikle seracılık ve açık alan tarımı yaygındır. Bölgede yetiştirilen başlıca ürünler arasında domates, biber, fasulye gibi sebzeler ile portakal, muz, limon, nar gibi meyveler bulunmaktadır. Ayrıca, zeytin ve zeytinyağı üretimi de önemli bir ekonomik faaliyet olarak öne çıkmaktadır.

Manavgat, tipik Akdeniz iklimine sahiptir. Yazları sıcak ve kurak, kışları ise ılık ve yağışlı geçmektedir. İlçenin 1959-2020 yılları veri seti için, yıllık ortalama yağış miktarı 1131,9 mm (Çizelge 2.1) ve yıllık sıcaklık ortalaması 18,7°C'dir (Çizelge 2.2). 1986-2012 yılları veri seti için yıllık toplam buharlaşma miktarı 1541,20 mm'dir (Çizelge 2.3). Bu iklim koşulları, tarım ve turizm faaliyetleri için elverişli bir ortam sunmaktadır.

Çizelge 2.1. Manavgat meteoroloji gözlem istasyonu ortalama yağışları (1959-2020)

Ay	Ortalama Yağış Miktarı (mm)	Ay	Ortalama Yağış Miktarı (mm)
Ocak	252,20	Temmuz	3,40
Şubat	159,80	Ağustos	8,60
Mart	89,80	Eylül	17,50
Nisan	48,50	Ekim	105,20
Mayıs	25,70	Kasım	158,20
Haziran	10,40	Aralık	252,70

Çizelge 2.2. Manavgat meteoroloji gözlem istasyonu ortalama sıcaklıkları (1959-2020)

Ay	Sıcaklık (°C)	Ay	Sıcaklık (°C)
Ocak	10,40	Temmuz	27,90
Şubat	10,90	Ağustos	28,10
Mart	13,10	Eylül	25,00
Nisan	16,30	Ekim	20,60
Mayıs	20,30	Kasım	15,60
Haziran	24,70	Aralık	12,00

Çizelge 2.3. Manavgat meteoroloji gözlem istasyonu ortalama buharlaşmalar (1986-2012)

Ay	Buharlaşma (mm)	Ay	Buharlaşma (mm)
Ocak	49,30	Temmuz	245,30
Şubat	56,70	Ağustos	227,40
Mart	86,80	Eylül	176,20
Nisan	107,60	Ekim	117,80
Mayıs	157,00	Kasım	63,60
Haziran	206,20	Aralık	47,40

Çalışma alanının topografyası oldukça çeşitlidir. Manavgat ilçesinin kuzey kesimlerinde Toros Dağları'nın uzantıları yer alırken, güneyde Akdeniz'e doğru alçalan düzlükler bulunmaktadır. Bu bölgenin doğal zenginlikleri arasında geniş ormanlar, zengin bitki örtüsü ve çeşitli hayvan türleri bulunmaktadır. Toros Dağları eteklerindeki ormanlar özellikle çam, sedir ve meşe ağaçları ile kaplıdır. Çalışma alanının en büyük akarsuyu Manavgat Çayı'dır. Yaklaşık 83 km uzunluğunda olan Manavgat Çayı, Şeytan Dağı'ndan Karpuz Çayı adıyla doğup Manavgat'ın içinden geçerek denize ulaşmaktadır. Irmağın debisi yaklaşık olarak 155,5 m³/s'dir. Şeytan Dağı'nın (2.120 m) yamaçlarından kaynaklanan derelerin birleşmesiyle oluşan Manavgat Çayı, güneybatıya yönelerek dağlık, ormanlık alanlardan geçerken kanyon biçimli dar bir vadide akmaktadır. Oymapınar köyü yakınlarında daha az engebeli bir alana giren akarsuyun bu kesiminde, 1984'te tamamlanan Oymapınar Barajı'nın arkasında 50 km²'lik bir yapay göl bulunmaktadır. Batı Toroslar'ın önemli mağaralarından olan ve içinde yeraltı gölleri bulunan Altınbeşik Mağarası ile

Düden Suyu Mağarası'nın suları da Manavgat Irmağı'na karışmaktadır. Manavgat Çayı'nın bir kolu, denize dökülmeden önce genişleyerek, akıntının yavaşladığı düzlükte Titreyen Göl'ü oluşturmaktadır. Titreyen Göl, Manavgat ilçe merkezine 15 km mesafede olup, nehir yapısında meydana gelen değişim sonucunda oluşmuş bir doğal kaynak yamasıdır. Günümüzde I. Derece Doğal Sit Alanı olan Sorgun Ormanları ile iç içe geçmiş bir sulak alan ekosistemi haline gelmiştir ve Manavgat Nehri ile ekolojik bir bütünlük göstermektedir.

Manavgat'ın jeolojik yapısı, bölgenin zengin doğal kaynaklarını ve yeraltı suyu potansiyelini etkilemektedir. İlçenin büyük bir kısmı alüvyon, konglomera ve kumullardan oluşmaktadır. Alüvyonlar, nehir yataklarında, düzlüklerde ve göl kenarlarındaki çakıl, kum ve çamur birikimleri şeklinde görülmektedir. Çalışma alanındaki konglomeralar, 1951 yılında Blumenthal tarafından Belkıs Konglomerası olarak adlandırılmıştır ve polijenik konglomeralar içermektedir. Bu konglomeralar genellikle küresel, iyi yuvarlanmış çakıllardan oluşmakta ve tane destekli, belirsiz ve çapraz tabakalanmalı, kum ve çamur destekli olarak yüzeylenmektedir. Bazı yerlerde çamur ve eski toprak seviyeleri de içermektedir. Kalınlığı 0 ile 20 metre arasında değişen bu formasyon, Pleyistosen dönemine ait olup, akarsu kökenli oluşumlar olarak taraçalar halinde bulunmaktadır. Kumullar, deniz kıyısına paralel olarak uzanmaktadır ve yayılımı değişmekle birlikte genellikle 1-3 km genişliğinde bir şerit halinde görülmektedir. Bu birim, tamamen rüzgâr etkisiyle taşınmış deniz kumlarından oluşmaktadır. Kuzeye doğru ilerledikçe, altta bulunan kumlu siltli alüvyonlarla yer yer yanal geçişler göstermektedir. Genellikle alüvyonların üzerine yerleşmektedirler. Çalışma alanındaki kayaçlar, yeraltı sularının depolanması ve hareketi açısından önemlidir. Bölgedeki alüvyon birikintileri, özellikle nehir deltası civarında, tarımsal verimliliği artırmaktadır.

3. YÖNTEM

Bu çalışma kapsamında Manavgat YAS kütlesindeki tarımsal alanların oluşturdıkları baskı ve pestisitlerin yeraltı suyu üzerindeki etki değerlendirmeleri ile hassasiyet analizi, yeraltı suyu yönetimine ilişkin hazırlanan ulusal ve uluslararası direktifler takip edilerek hazırlanmıştır. Manavgat YAS kütlesi üzerinde tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan tarım baskısı bütüncül olarak belirlendikten sonra, çalışma alanında yapılan 4 dönem pestisit izleme sonuçları değerlendirilerek, kütle üzerindeki pestisit etkisi analiz edilmiştir. Daha sonra, kütle pestisit açısından kirliliğe hassasiyetini analiz etmek için, yaygın olarak kullanılan DRASTIC yönteminin pestisitler açısından kullanılan sınıflandırmaları kullanılarak çalışma tamamlanmıştır.

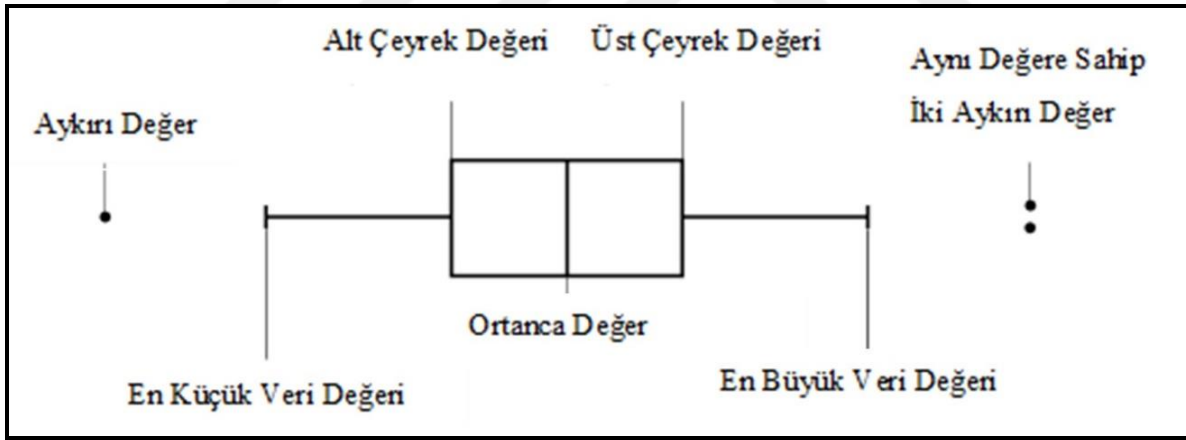
Baskı ve etki değerlendirmelerinin amacı, insani aktivitelerinin yeraltı suları üzerindeki durumunu ortaya koymaktır. Bu değerlendirmeler, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi için kritik öneme sahiptir. Avrupa Birliği Su Çerçeve Direktifi'nin (SÇD) 5. maddesinin 1. fıkrasında belirtildiği üzere nehir havzalarında belirlenen su kütlelerinde insani aktivitelerin yeraltı sularının durumuna etkisinin belirlenmesi için baskı - etki süreçlerinin tamamlanması önem arz etmektedir. Bu analizler, su kütlelerinin sağlıklı bir şekilde korunması ve yönetilmesi için insani faaliyetlerin potansiyel olumsuz etkilerinin kapsamlı bir şekilde anlaşılmasını sağlamaktadır. SÇD'de bu konuya ilişkin değinilen hususları kapsayan ve yasal olarak bağlayıcı olmayan "Baskı ve Etkilerin Analizi" başlıklı 3 No'lu Teknik Rapor (2003) da bu süreci desteklemek amacıyla hazırlanmıştır. Bu çalışmanın bir parçası olan baskı ile etkinin belirlenmesi kısmı SÇD kapsamında belirlenen baskı-etki değerlendirmeleri ışığında yapılmıştır. Etki değerlendirmesi için, "Yeraltı Sularının Kirlenmeye ve Bozulmaya Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik"deki kalite standartları dikkate alınmıştır.

3.1. Baskının Belirlenmesi

Tarımsal faaliyetlerde kullanılan pestisitlerin yeraltı suyu kütlesi üzerindeki baskı sınıfını belirleyebilmek için, potansiyel baskıları temsil eden tarımsal alanların miktarı kullanılarak değerlendirmeler yapılmıştır. Kütle üzerindeki tarımsal alanlar CORINE veri seti yardımıyla bulunmuştur. CORINE (Çevresel Bilginin Koordinasyonu), Avrupa Çevre Ajansı tarafından belirlenen Arazi Örtüsü/Kullanımı Sınıflandırmasına göre uydu

görüntüleri üzerinden bilgisayar destekli görsel yorumlama metodu ile üretilen arazi örtüsü/kullanımını verisidir (T.C. Tarım Orman Bakanlığı, 2015).

Baskının sınıflandırılması için Çizelge 3.1’de belirtilen istatistiksel aralıklar kullanılmıştır. Tablodaki "ortalama" ve "standart sapma" değerleri, hidrolojik havza sınırlarındaki tüm YAS kütlelerindeki tarımsal alanların istatistiksel özetini temsil etmektedir. Her bir kütlede hesaplanan tarım alanları veri setinin, normal dağılım fonksiyonuna uyum sağlaması anlamlı özet değerlere ulaşabilmek açısından önemlidir. Veri seti ile uyumlu olmayan aykırı değerlerin var olduğu değerlendirmelerde, standart sapma değerleri yüksek çıkacağından, "Orta Baskı" için alt sınır ve "Düşük Baskı için üst sınır " değerleri negatif değerlere çıkabilmektedir. Sınıflandırma sınırlarının hatalı belirlenmesinin önüne geçebilmek için, verilerin büyük bir çoğunluğunun bulunduğu değer aralığından yüksek olan aykırı değerler Box ve Whisker kutu grafiği yöntemi kullanılarak elenmiştir. Şekil 3.1’de Box ve Whisker kutu grafiği açıklaması verilmiştir. Bu şekilde verilerin genel aralığının daha doğru bir şekilde sınıflandırılması sağlanmıştır.



Şekil 3.1. Box ve Whisker kutu grafiği açıklaması

Aykırı değerler tarım alanları serisinden çıkarıldıktan sonra, veri setindeki değerler kullanılarak ortalama ve standart sapma değerleri hesaplanarak, Çizelge 3.1’de verilen baskı sınıf limit değerleri belirleme hesaplaması kullanılmıştır.

Çizelge 3.1. Baskı sınıfının belirlenmesinde kullanılan istatistiksel aralıklar (SYGM, 2023)

Sınıf	Sınır Değerleri	
Yüksek	$>Ort + (SS/2)$	
Orta	$Ort + (SS/2)$	$Ort - (SS/2)$
Düşük	$Ort - (SS/2)$	0
Baskı Yok	0	

3.2. Etkinin Belirlenmesi

Etki değerlendirme çalışmalarında, yeraltı suyu kütlerinde oluşabilecek baskılar, “Yeraltı Sularının Kirlenmeye ve Bozulmaya Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik” kalite standart değerleri dikkate alınarak incelenmiştir. Değerlendirmeler yapılırken, farklı dönemlerde alınan numunelerin tam olarak aynı noktadan yapılamaması nedeniyle farklı kimyasal içeriklerin ortaya çıkabileceği göz önünde bulundurulmuş ve her dönem analiz sonucu ayrı olarak değerlendirilmiştir. Bunun yanında 4 izleme sonuçlarının ortalamaları da ayrıca değerlendirilmiştir. “Yeraltı Sularının Kirlenmeye ve Bozulmaya Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik”indeki standart değerlerle her bir pestisit analiz sonucu kıyaslanarak değerlendirmeler yapılmıştır. Kimyasal izlemelerle elde edilen konsantrasyon değeri;

- Limit değeri aşıyorsa ; "Teyit edilmiş etki var",
- Limit değeri ile limit değerin %75'i arasında ise ; "Potansiyel etki",
- Limit değerin altında ise ; "Teyit edilmiş etki yok"

olarak sınıflandırma yapılmıştır.

Bu değerlendirme, Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından tamamlanan “Antalya Havzası Yeraltısuyu Planlama (Hidrojeolojik Atüt) Raporu Yapılması İş” (DSİ, 2022) kapsamında yapılan 2 kurak, 2 yağışlı dönem olmak üzere yapılan 4 dönem pestisit izleme sonuçları kullanılarak yapılmıştır.

3.3. Pestisit DRASTIC Hassasiyet Analizi

Yeraltı suyu kirliliği hassasiyeti kavramı, yeraltı suyunun dış etkenlere ne kadar duyarlı olduğunu ifade etmektedir. Bu duyarlılık, yeraltı suyunun kirlenmeye veya baskılara nasıl tepki verebileceğini belirlemede önemli bir faktördür. Bir bölgedeki yeraltı suyu hassasiyetinin yüksek olması, suyun dış etkenlere karşı daha savunmasız olduğu ve kirlenme riskinin daha yüksek olduğu anlamına gelmektedir. Hassasiyet çalışması kirliliğin yeraltı suyu kaynaklarına olan etkilerini değerlendirmenin belirgin bir parçasını oluşturmaktadır.

Su kaynaklarının korunması ve kirliliğin önlenmesi açısından, yeraltı suyu hassasiyetinin belirlenmesi ve dikkate alınması, sürdürülebilirliğin sağlanması ve insan sağlığının korunması açısından önem arz etmektedir. Bu çalışma kapsamında yapılan yeraltı suyu kirliliği hassasiyet analizi için pestisit DRASTIC yöntemi (Aller ve diğerleri, 1987) kullanılmıştır.

ABD Çevre Koruma Ajansı (US EPA) tarafından geliştirilmiş coğrafi bilgi sistemleri tabanlı bir model olan pestisit DRASTIC yöntemi, herhangi bir hidrojeolojik ortamın kirlilik potansiyelinin herhangi bir yerde sistemli bir şekilde değerlendirilmesine izin verecek şekilde tanımlanmıştır (Aller ve diğerleri, 1987).

DRASTIC, akifer kirliliği üzerinde potansiyel etkisi olan ana hidrolojik ve jeolojik faktörleri dikkate almaktadır. DRASTIC faktörleri aşağıda verilmiştir.

- D: Yeraltı suyuna derinlik
- R: Net beslenim
- A: Akifer ortamı
- S: Toprak ortamı
- T: Topografya eğimi
- I: Doymamış (vadoz) zonun etkisi
- C: Hidrolik iletkenlik

Aller ve diğerleri (1987) tarafından değerlendirilen orjinal DRASTIC analizinin sonucunda oluşturulan DRASTIC index haritası, çalışma alanındaki yeraltı suyunun kirlilik

potansiyelini değerlendirmeye yardımcı olur. Bu kirlilik, farklı baskılardan oluşabilecek tüm kirlilikleri kapsamaktadır. Aller ve diğerleri (1987) tarımsal pestisitlerin yeraltı suyu kirlilik potansiyelini değerlendirmek için orjinal DRASTIC analizinde indeks haritası oluşturma kısmında farklı ağırlıklar kullanarak pestisit DRASTIC yöntemini geliştirmişlerdir. Bu yöntemde, kullanılan bütün parametreler aynı olmakla birlikte, pestisitlerin yeraltı suyuna etkisini daha doğru bir şekilde değerlendirebilmek için DRASTIC indeks haritası hazırlanırken bazı faktörlerin ağırlıkları değiştirilmiştir. Pestisit DRASTIC, tarımsal faaliyetlerin yoğun olduğu bölgelerde daha özelleşmiş bir değerlendirme sunmaktadır. Bu sebeple, bu çalışma kapsamında pestisit DRASTIC hassasiyet analizi kullanılmıştır.





4. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Parsons ve Witt (1988), bu çalışmada ABD'deki yeraltı sularında pestisitlerin varlığını belirlemek amacıyla 1988 yılında gerçekleştirilen bir anketin sonuçları ile yeraltı sularında pestisitlerin yaygınlığı ve konsantrasyonlarının tespit edilmesi hedeflemiştir. Toplamda 33 eyalette, 144,401 analizden 6,034 pozitif sonuç ile 67 pestisit tespit edilmiştir, bu da %4,17'lik bir dilime denk geldiği belirtilmiştir. Sonuçlar, pestisitlerin yeraltı sularında belirli bölgelerde yüksek konsantrasyonlarda bulunduğunu ve tarımsal faaliyetlerin bu kirlilikte önemli bir rol oynadığını göstermiştir. Bu bulgular, yeraltı suyu kaynaklarının korunması ve pestisit kullanımının düzenlenmesi gerekliliğini vurgulamıştır.

Chilton, Stuart, Gooddy, Williams ve Johnson (2005), çalışmasında Güney İngiltere'deki kireçtaşı akiferindeki pestisitlerin taşınma süreçlerini incelenmiş ve miktarı belirlemiştir. Tarımsal pestisitlerin geleneksel uygulamalarının yeraltı suyu kaynaklarına sınırlı tehdit oluşturduğu sonucuna varılabileceğinden bahsedilmiştir. Bununla birlikte, içme suyuna izin verilen konsantrasyonlardan çok daha yüksek konsantrasyonlar üreten ve bölgesel yeraltı suyu akış sisteminde seyreltme sonrası bile halk sağlığı için kabul edilebilir olmayan yüksek başlangıç konsantrasyonlara sahip kaynakların bulunduğu dikkat çekilmiştir.

Atasoy (2019), bu çalışmada Türkiye'de yasaklanmış olan DDT, Endosulfan ve Chlorpyrifos-etil gibi pestisitlerin yeraltı sularındaki durumunu irdelemiştir. Bu yasaklı pestisitlerin yasal olmayan yollarla veya uzun yıllar önce toprakta kullanılmış olmaları nedeniyle hâlâ varlıklarını sürdürmeleri ve yeraltı sularına dikey taşınım yoluyla sızmış olmalarının mümkün olduğuna değinilmiştir. Yeraltı suyu kalite kontrolünün hassasiyetle yürütülmesi gerektiği ve çevresel kalite standartlarını aşan pestisit türleri üzerinde detaylı araştırmaların yapılması gerektiği vurgulanmıştır.

Sağlam (2008), bu çalışmada Melen Havzası'nda kullanılan 44 farklı pestisitinin davranışları ve yeraltı suyuna etkileri incelenmiştir. En fazla kullanılan 17 pestisitinin çevresel taşınım özelliklerini değerlendirilmiş ve taşınım yollarını belirlenmiştir. Ancak deneysel veri eksikliği nedeniyle detaylı modelleme yapılamamıştır. Çalışmada, pestisit kullanımının bilinçli yönetilmesi gerekliliğini ve su kalitesi standartlarının korunmasının önemini vurgulanmıştır.

Yıldırım ve Topkaya çalışmasında Antalya kentindeki hızlı nüfus artışının ve düzensiz yapılaşmanın yeraltı su kaynakları üzerindeki potansiyel etkilerini araştırmıştır. Kentin, zengin yeraltı su kaynaklarına sahip olup, su toplama havzalarında artan kirletici kaynaklar nedeniyle içilebilir su kaynaklarının tehdit altında olduğu belirlenmiştir. Çalışmada, kirletici kaynakların yerleri GPS ile belirlenmiş, CBS yazılımı ve DRASTIC modeli kullanılarak hassasiyet haritaları oluşturulmuştur. Özellikle Topçular – Havaalanı bölgesindeki yüksek kirletici yoğunluğu ve seracılık faaliyetlerinin pestisit kullanımını artırdığı tespit edilmiştir.

Awawdeh, Obeidat ve Zaiter (2014) çalışmasında, Ramtha atıksu arıtma tesisinin çevresindeki yeraltı suyu kirlilik duyarlılığını modifiye DRASTIC yöntemi kullanarak GIS ortamında değerlendirmeyi amaçlamıştır. Modifiye DRASTIC indeksine dayalı olarak oluşturulan yeraltı suyu kirlilik potansiyel haritası, %36.5 yüksek, %56.5 orta ve %9 düşük duyarlılık sınıflarını göstermiştir. Ayrıca, su örneklerinin kimyasal analizi, nitrat konsantrasyonlarının WHO ve Ürdün standartlarını aşarak sağlık için risk oluşturduğunu ortaya koymuştur.

Atasu (2022) çalışmasında Bakırçay Havzası'nda mevcut hidrojeolojik veriler ve eksik bilgileri tamamlamak için kurulan yeraltı suyu akış modeli kullanılarak yeraltı suyu hassasiyet haritası oluşturmuştur. Sonuçlar, çalışma alanının %4,9'unun çok yüksek, %20,2'sinin yüksek, %6,2'sinin orta, %24,5'inin düşük ve %44,3'ünün ise yeraltı su kaynaklarının kirlenmeye karşı hassasiyetinin çok düşük olduğunu belirlemiştir.

5. BASKI VE ETKİ DEĞERLENDİRMELERİ

İnsani faaliyetlerden kaynaklanan baskılar akiferlerin kirlenmesine ve dolayısıyla su kalitesinin bozulmasına yol açmaktadır. Baskıların tespit edilmesi, kirleticilerin türü, baskının mekansal ve zamansal boyutları ile alıcı ortamın duyarlılığı gibi çeşitli faktörleri dikkate alan sistematik bir yaklaşımı gerektirmektedir. Yeraltı suyunun sürdürülebilirliğini sağlamak için, yeraltı suyu kütlesine uygulanan baskılar belirlenerek önemli baskılar izlenebilir ve kontrol altına alınabilir duruma gelmektedir.

Baskının büyüklüğü, yeraltı suyu kütlesindeki etkinin büyüklüğünü tahmin etmede önem taşımaktadır. Genel olarak, baskı ne kadar büyükse, etki de o kadar büyük olmaktadır. Ancak, bütün kirlilikler her zaman bir etkiye yol açmak zorunda değildir. Bunun nedeni, akiferin üst bölümlerinden akan temiz yeraltı suyunun kirliliği seyreltmesi ve doğal atenüasyon gibi faktörlerdir. Akiferin depolama kapasitesi de etkiyi absorbe eden bir diğer önemli faktördür.

Yoğun bir baskının etkileri şunlardır:

- Yeraltı suyu kirliliğini artırır,
- Yeraltı suyu kullanımını kısıtlar,
- Yeraltı suyuna bağımlı sucul ve karasal ekosistemlere zarar verir. Bu, kıyı suları veya akiferden beslenen nehir ağızları gibi ekosistemlerin olumsuz etkilenmesi anlamına gelmektedir.

Bu etkilerin azaltılması ve yeraltı suyunun sürdürülebilir şekilde kullanılması için baskıların belirlenmesi ve kontrol edilmesi önemlidir.

5.1. Baskı Değerlendirmesi

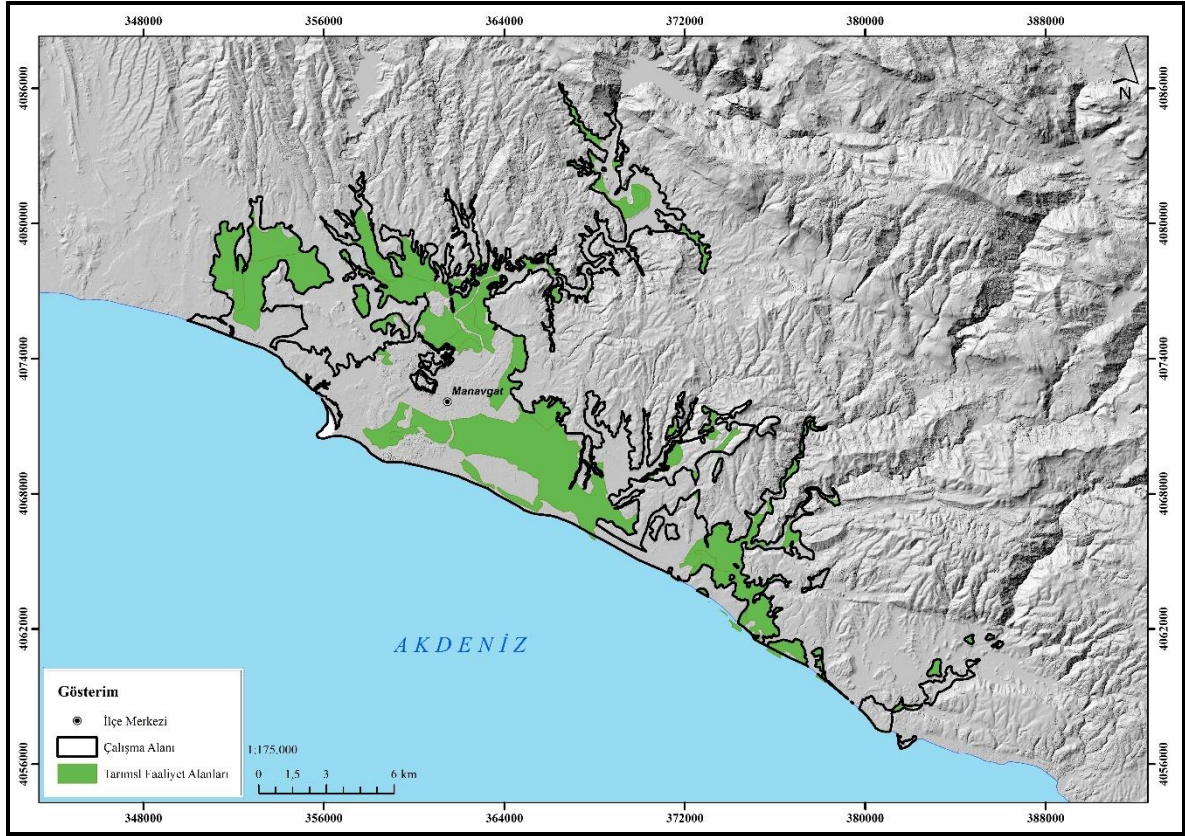
Yeraltı suyu üzerindeki baskılar noktasal ve yayılı baskılar olarak iki temel başlıkta incelenmektedir. Noktasal baskılar; kentsel ve endüstriyel aktiviteler, zeytinyağı üretim faaliyetleri, madencilik ve jeotermal faaliyetler, akaryakıt istasyonlarıdır. Yayılı baskılar ise, tarımsal faaliyetler, hayvancılık ve katı atık depolama faaliyetleridir.

Bu çalışma kapsamında pestisitlerin yeraltısuyu üzerindeki baskı-etki ve hassasiyeti belirlenmektedir. Tarımsal faaliyetlerde kullanılan pestisitler, yağmur suları tarafından taşınarak yeraltı sularının kalitesini ciddi şekilde olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle, tarım arazilerinin çalışma alanı içinde kapladığı alan önem arz etmektedir. Baskı değerlendirmeleri, tarım arazilerinin çalışma alanındaki coğrafi dağılımı göz önünde bulundurularak, tarım arazilerinin miktarı üzerinden yapılmıştır.

Çalışma alanındaki tarımsal faaliyetlerin belirlenebilmesi için Corine verisinden faydalanılmıştır. Corine verisinde, tarım baskısı oluşturabilecek alan kodları ve açıklamaları Çizelge 5.1’de verilmiştir. Buna göre, 170 km² olan çalışma alanının 71 km²’lik kısmında tarımsal faaliyetler yapılmaktadır. Bu da çalışma alanının yaklaşık %42’sine denk gelmektedir. Tarım alanlarının çalışma alanındaki coğrafi dağılımı Harita 5.1’de verilmiştir.

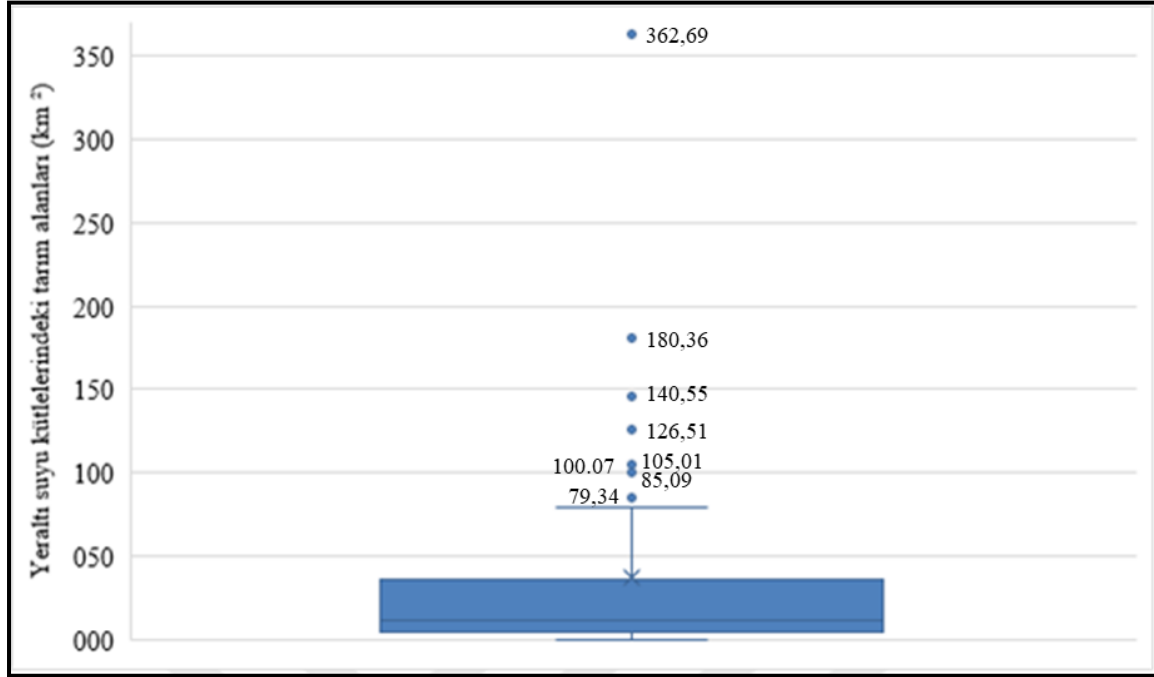
Çizelge 5.1. Tarımsal alanların belirlenmesinde kullanılan corine kodları

Corine Kodu	Tarım Alanları
221	Üzüm bağları
223	Zeytinlikler
243	Doğal bitki örtüsü ile birlikte bulunan tarım alanları
2121	Sulanan alan
2222	Sürekli sulanan meyve bahçesi
2422	Meyveyle karışık sulu



Harita 5.1. Çalışma alanındaki tarımsal alanların dağılımı

Tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan baskı sınıflarının belirlenebilmesi için, çalışma alanının yer aldığı Antalya Havzası'ndaki tüm yeraltı suyu kütleleri kullanılmıştır. Antalya Havzası yeraltı suyu kütlelerine DSI'nin hazırlamış olduğu "Antalya Havzası Yeraltı Suyu Planlama (Hidrojeolojik Etüt) Nihai Raporu (2022)"ndan ulaşılmıştır. Havza genelindeki yeraltı suyu kütlelerindeki tarımsal arazi kullanımlarının (km²) dağılımı istatistiksel yöntemlerle analiz edilmiştir. Bu değerlerin havza genelindeki yeraltı suyu kütlelerindeki dağılımı dikkate alınarak aykırı değer analizi yapılmıştır. Aykırı değer analizi için kutu grafiği yöntemi kullanılmıştır. Buna göre havzadaki 6 yeraltı suyu kütlelerindeki tarımsal alan miktarı aykırı değer olarak belirlenmiştir. Kutu grafiği Şekil 5.1'de ve aykırı değer olarak belirlenip istatistiksel hesaplardan çıkarılan değerler Çizelge 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.1. Antalya havzası yeraltı suyu kütlelerindeki tarım alanlarına ait kutu grafiği

Çizelge 5.2. Kutu grafiğinde belirlenen aykırı değerler

YAS Kütlesi Adı	Tarım Alanı (km ²)
Aksu - Serik	362,69
Korkuteli - Bucak	180,36
Senirkent	145,55
Antalya	126,51
Gelendost	105,01
Kırkgöz Kaynakları	100,07

Aykırı değerler veri setinden çıkarıldıktan sonra havza geneli için ortalama ve standart sapma değerleri hesaplanmıştır. Antalya Havzası'nda her bir yeraltı suyu kütlesinde bulunan tarımsal alanların ortalaması 17,66 km² ve standart sapması 21,20 km² olarak belirlenmiştir. Yöntem bölümünde verilen hesaplamalar kullanılarak tüm baskı sınıflarının limit değerleri elde edilmiştir (Bkz. Çizelge 4.1). Baskı sınıf değerleri Çizelge 5.3'te verilmiştir.

Çizelge 5.3 Baskı sınıfının belirlenmesinde kullanılan istatistiksel aralıklar

Sınıf	Sınır Değerleri	
Yüksek	>28,26	
Orta	28,26	7,06
Düşük	7,06	0
Baskı Yok	0	

Manavgat YAS kütlesinde, tarımsal faaliyet yapılan toplam alan 71 km²'dir. Çizelge 5.3'de belirlenen baskı sınıf değerlerine göre, çalışma alanında tarımsal faaliyetlerden kaynaklı yüksek baskı olduğu belirlenmiştir.

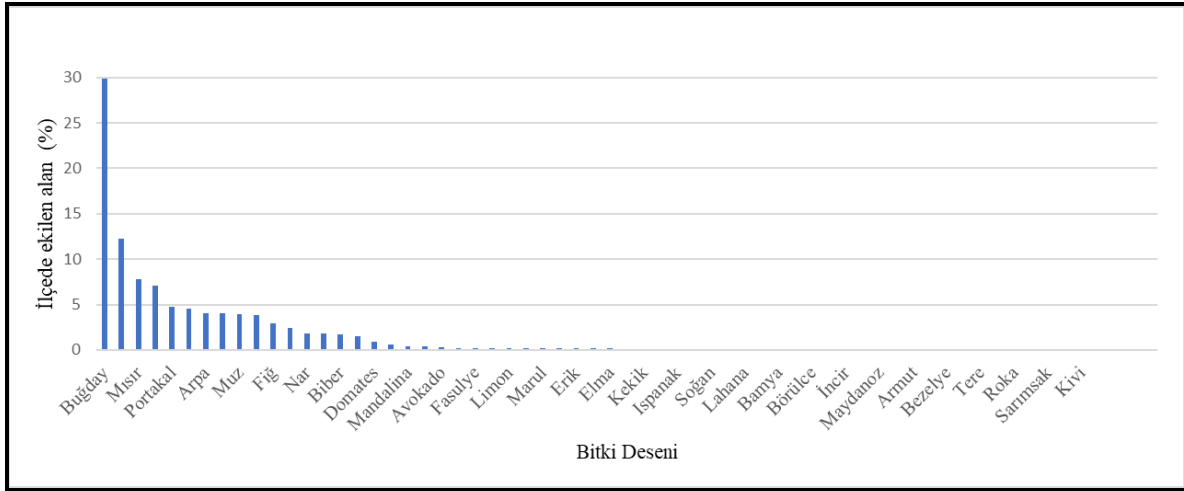
5.2. Etki Değerlendirmesi

Tarımsal faaliyetlerde sıkça kullanılan pestisitler, mahsul verimliliğini artırmak ve zararlı organizmaları kontrol etmek için kullanılmaktadır. Pestisit kullanımı yüksek etkinliğe sahip, hızlı sonuç veren ve bilinçli ve kontrollü kullanıldığında ekonomik olan bir metot olduğundan yoğun (intensif) tarım üretiminde en sık başvurulmuş tarımsal mücadele yöntemlerinden biridir (Kaymak ve diğerleri, 2015). Ancak bu durum kimyasalların yeraltı sularına sızması ile çevre ve insan sağlığı üzerinde ciddi etkilere neden olmaktadır. Pestisitlerin yaygın kullanımı yeraltı sularında belirgin seviyelerde görülmelerine uygun ortam yaratmaktadır. Bu kimyasalların kalıcı olması ve suya kolayca sızabilmeleri, yeraltı sularında uzun süre varlıklarını sürdürmelerine sebep olmaktadır.

Pestisitlerin yeraltı suyunda tespit edilme sıklığı ve konsantrasyonu, mevsimsel ve bölgesel olarak değişkenlikler göstermektedir. Yağışlı mevsimlerde yüzeyden sızan pestisit miktarı genellikle artan bir trend sergilemektedir. Benzer şekilde, yoğun tarım yapılan bölgelerde pestisit kalıntıları daha yaygın ve yüksek seviyelerde bulunmaktadır. Pestisitlerin yeraltı sularını kirletme potansiyelini etkileyen bir diğer ana faktör, pestisit hareketliliğidir. Bu hareketliliği etkileyen koşullar arasında toprağın hacimsel yoğunluğu, su ve organik karbon içerikleri, aşırı sulama ve yağış miktarı ile pestisit adsorpsiyon oranı gibi özellikler yer almaktadır.

Manavgat ilçesinde uygulanan bitki deseni oldukça çeşitlilik göstermektedir. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından yayınlanan bilgilere göre havzadaki bitki deseni

Şekil 5.2’de verilmiştir. Buna göre ilçede en çok ekilen ürün buğday ve en az ekilen ürün kivi'dir. Buğday ilçe içerisinde en fazla ekilen alana sahip olmasına rağmen, pestisit en çok uygulandığı ürün, yıllık 10.500 L hymexazole kullanımıyla muz olmuştur. İlçede tarım alanı başına pestisit kullanımı 10,36 kg-L/ha’dır. Bu değer TÜİK verilerine göre hesaplanan Türkiye pestisit kullanım miktarının (2,59 kg-L/ha) üzerindedir.



Şekil 5.2. Manavgat ilçesi ekilen bitki deseni alansal dağılımı

Manavgat YAS kütlesinde 2020-2021 yılları arasında DSİ tarafından 4 dönem, 4 farklı izleme noktasında izlemeler yapılmıştır. 72 pestisit çeşidi bu çalışma kapsamında incelenmiş, bu pestisitlerden ancak iki tanesi gözlenebilme limitlerinin üzerinde sonuç vermiştir. Geri kalan 70 pestisit çeşidinin gözlenebilme limitinin altında kalması bu pestisitlerin yeraltı suyunda tespit edilmediği ya da tespit edilemediği anlamına gelmektedir. Gözlenebilme limiti üzerinde sonuç veren pestisitler alachlor ve nicosulfurondur. Alachlor ve nicosulfuron yabancı otları kontrol etmek veya yok etmek için kullanılan herbisit çeşitleridir. Alachlor yaygın olarak mısır, yer fıstığı ile pamuk ve nicosulfuron ise daha çok mısır üretiminde, yabancı ot kontrolünü sağlamak için kullanılmaktadır.

Etki değerlendirmeleri, “Yeraltı Sularının Kirlenmeye ve Bozulmaya Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik (2012)” standartları dikkate alınarak yapılmıştır. Bu yönetmeliğe göre pestisitler için belirlenen kalite standardı 0,1 µg/L’dir. Çalışma alanında dönemlere göre ölçülen alachlor ve nicosulfuron değerleri Çizelge 5.4’te verilmiştir.

Çizelge 5.4. Çalışma alanında ölçülebilen pestisit sonuçları

Pestisit Adı	Numune Noktası Numarası	1. Dönem (Kurak) ($\mu\text{g/L}$)	2.Dönem (Yağışlı) ($\mu\text{g/L}$)	3.Dönem (Kurak) ($\mu\text{g/L}$)	4.Dönem (Yağışlı) ($\mu\text{g/L}$)	Ortalama ($\mu\text{g/L}$)
Alachlor	ANT-40	0,10	<0,05	<0,05	<0,05	0,05
	ANT-75	<0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
	ANT-76	<0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
	ANT-99	<0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Nicosulfuron	ANT-40	0,13	<0,05	<0,05	<0,05	0,05
	ANT-75	<0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
	ANT-76	<0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
	ANT-99	<0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05

Ölçümü yapılabilen her iki pestisit için de sadece bir dönemde ölçüm yapılabilmıştır, diğer dönemlerde bu pestisitler de gözlenebilme limitinin altında kaldığı için değer analiz edilememiştir. Tek dönemde elde edilen bu ölçüm sonucu her ne kadar temsil edici olmasa da çalışma alanı içerisinde yeraltı suyundaki pestisit kirliliği ile ilgili bir bilgi vermektedir.

“Yeraltı Sularının Kirlenmeye ve Bozulmaya Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik (2012)”te pestisitlerin tümü için belirlenen kalite standartı $0,1 \mu\text{g/L}$ ’dir. Etki değerlendirmesi yapılırken, dönem bazında ve tüm dönemlerin ortalama değerleri dikkate alınmıştır. Dönem bazında yapılan değerlendirmelere göre alachlor ve nicosulfuron pestisitleri kalite standartlarını aştığı için, çalışma alanındaki etki değerlendirilmesi sonucu “teyit edilmiş etki var” olarak belirlenmiştir.



6. HASSASİYET ANALİZİ (DRASTIC YÖNTEMİ)

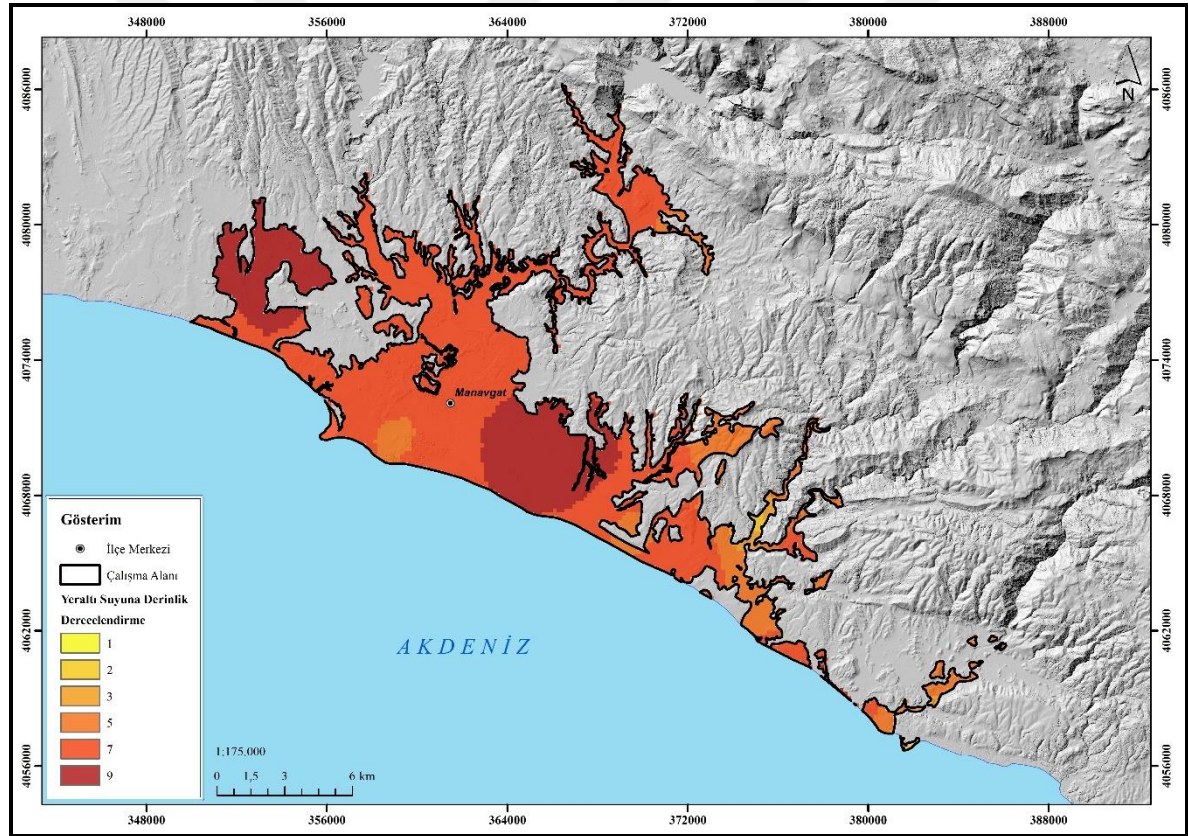
6.1. Yeraltı Suyuna Derinlik (D)

Yeraltı suyuna derinlik, yer yüzeyinden su tablasına kadar olan mesafeyi ifade etmektedir. Su tablası, gözenekli bir ortamın gözeneklerindeki sıvı basıncının atmosfer basıncına eşit olduğu yüzeydir (Freeze ve Cherry, 1979). Su tablasının üzerinden yeryüzüne kadar olan kısım, vadoz zon, boş hacim, kısmen su ve hava ile dolu olabilmektedir. Su tablasının altında kalan kısım ise, doymuş zon, bütün gözeneklerin yeraltı suyu ile dolu olduğu bölgedir. Su tablasının sınır olduğu vadoz zon ve doymuş zon içerisindeki gözeneklerin doluluğundan kaynaklı olarak, kirliliğin bu iki zon arasındaki davranışları farklılık göstermektedir. Vadoz zonun kalınlığı arttıkça yeraltı suyunun kirlilikten etkilenme derecesi azalmaktadır. Sığ su, daha hızlı varış süresine sahip olduğundan daha derin suya göre kirlenme olasılığı daha yüksektir (Askarımarnani vd.,2014). Dolayısıyla, yeraltı suyuna derinlik arttıkça, yeraltı suyunun kirliliğe karşı hassasiyeti azalmaktadır.

Çalışma alanında bulunan mevcut kuyulardaki su seviyeleri kullanılarak CBS yardımıyla yeraltı suyuna derinlik dağılımı elde edilmiş ve DRASTIC yöntemine uygun şekilde sınıflandırılmıştır. Buna göre, çalışma alanındaki yeraltı suyuna derinlik 1 ile 340 metre (m) arasında değişmektedir. Ve ortalama derinlik 172,5 m'dir. Çalışma alanının güney kısmı, su tablasının en sığ olduğu yani yeraltı suyu kirliliği açısından hassasiyetin yüksek olduğu bölge olarak belirlemiştir. Çizelge 6.1'de yeraltı suyuna derinlik için aralıklar ve derecelendirmeler ile Harita 6.1'de yeraltı suyuna derinlik derecelendirme haritası verilmiştir.

Çizelge 6.1. Yeraltı suyuna derinlik için aralıklar ve derecelendirmeler (Aller ve diğerleri, 1987)

Değer aralığı (metre)	Derecelendirme
0 - 1,5	10
1,5 - 4,6	9
4,6 - 9,1	7
9,1 - 15,2	5
15,2 - 22,9	3
22,9 - 30,5	2
>30,5	1



Harita 6.1. Yeraltı suyuna derinlik DRASTIC derecelendirme haritası

6.2. Net Beslenme (R)

Yeraltı suyu besleniminin ana kaynağı, yerüstü sularının yeraltına infiltrasyon yoluyla ulaşmasıdır. Yerüstü suyunun yeraltı suyuna süzülmesi, genellikle yağış ve kar erimesi gibi yüzey suyu kaynaklarının toprağa sızmasıyla başlamaktadır. Yüzeydeki su, çalışma

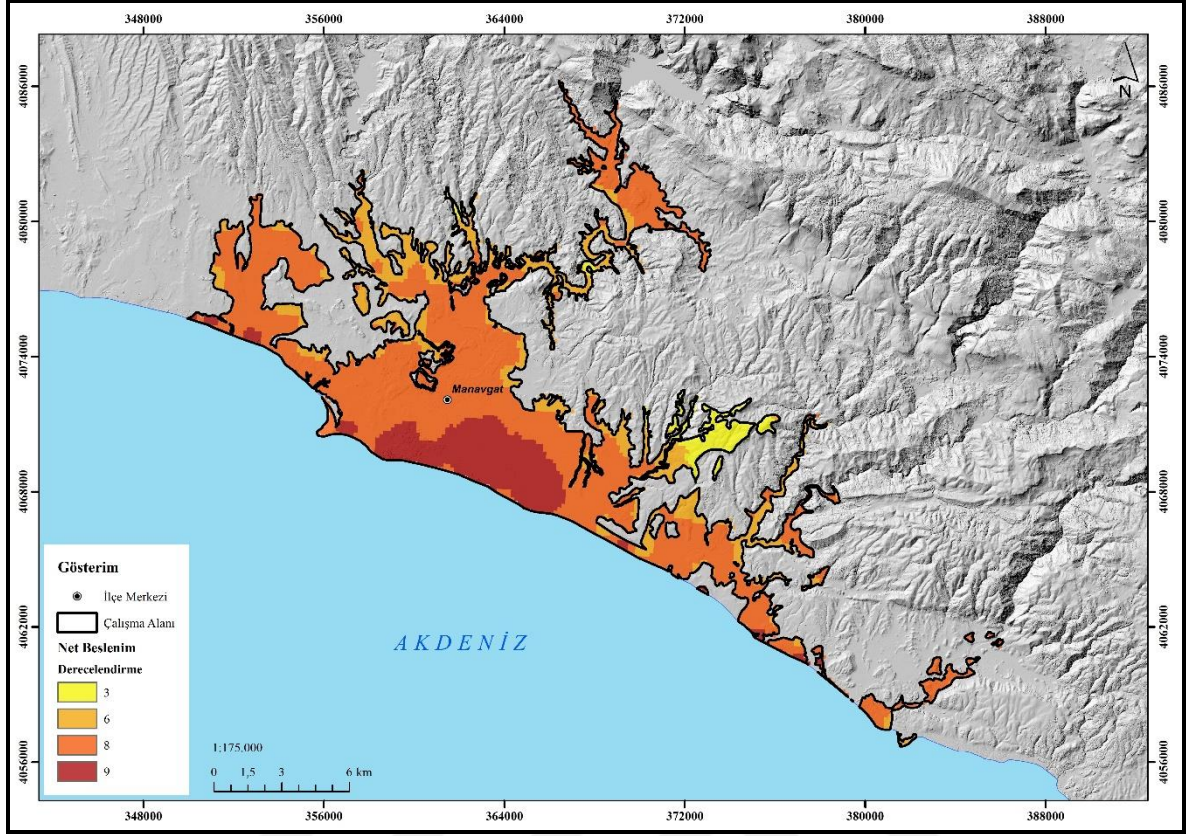
alanının litolojik özelliklerine bağlı olarak kısa ya da uzun sürede yeraltı suyuna ulaşmaktadır. Net beslenme, birim alan başına su tablasına ulaşan su miktarını temsil eder (Aller ve diğerleri, 1987).

Süzülme ile beslenme sürecinde, kirleticiler yeraltı suyuna dikey olarak akiferler boyunca taşınmaktadır. Serbest akiferlerde, akifer beslenimi daha hızlı gerçekleşir, bu nedenle basınçlı akiferlere göre daha yüksek kirlilik riski taşır. Basınçlı akiferlerdeki düşük geçirgenlikli birimler, suların basınçlı akiferlere doğru hareketini yavaşlatarak, bu akiferlerin kısmen korunmasına yardımcı olur. Beslenme akifere giren kirletici maddeyi seyreltse de kirletici madde taşınması için en büyük yoldur. Bu nedenle beslenme miktarı, hassasiyet derecesi ile pozitif yönde ilişkilidir (Abdullahi 2009; Davis ve ark. 2002).

Çalışma alanında bulunan yağış istasyonları kullanılarak CBS yardımıyla yeraltı suyuna net beslenme dağılımı elde edilmiş ve DRASTIC yöntemine uygun şekilde sınıflandırılmıştır. Çalışma alanındaki yıllık ortalama yağış 140 mm/yıl'dır. Dağılım haritasına bakıldığında çalışma alanının güneyinde yağış yoğunluğuna bağlı yeraltı suyu besleniminin ve yeraltı suyu kirliliği açısından hassasiyetin yüksek olduğu görülmektedir. Çizelge 6.2'de yeraltı suyuna net beslenme için aralıklar ve derecelendirmeler ile Harita 6.2'de yeraltı suyuna net beslenme derecelendirme haritası verilmiştir.

Çizelge 6.2. Yeraltı suyuna net beslenme için aralıklar ve derecelendirmeler (Aller ve diğerleri, 1987)

Değer Aralığı (mm/yıl)	Derecelendirme
254<	9
178 - 254	8
102 - 178	6
501 - 102	3
0 - 51	1



Harita 6.2. Yeraltı suyu net beslenim DRASTIC derecelendirme haritası

6.3. Akifer Ortamı (A)

Akiferler suyu depolayabilen ve taşıyan birimlerdir. Akifer olarak işlev gören konsolide veya konsolide olmayan materyale akifer ortamı denir (Aller ve diğerleri, 1987). DRASTIC yöntemindeki bu parametre, akiferin suyunu taşıma kapasitesini ve suyun kirleticilere karşı korunma düzeyini belirlemektedir. Daha yüksek su geçirgenliğine sahip akiferler, yeraltı suyu kirliliğine karşı daha hassastırlar çünkü kirleticilerin hızla yayılma potansiyeli daha yüksektir. Kireçtaşı, geçirgen kumtaşı ve pekişmemiş kum ve çakıl nispeten yüksek bir akifer ortamı derecesine sahipken, şeyl ve kırılmamış magmatik ve metamorfik kayalar daha düşük bir dereceye sahiptir (Hearne ve diğerleri 1992).

Çalışma alanı jeoloji haritasıyla Aller ve diğerleri tarafından belirlenen derecelendirmeler kullanılarak, akifer ortamı haritası DRASTIC yöntemine uygun şekilde sınıflandırılmıştır. Çalışma alanının neredeyse tamamı kireçtaşları ve alüvyon ile kaplıdır, bu bölgeler akifer ortamı açısından incelendiğinde yeraltı suyu kirliliği açısından hassasiyetin yüksek olduğu

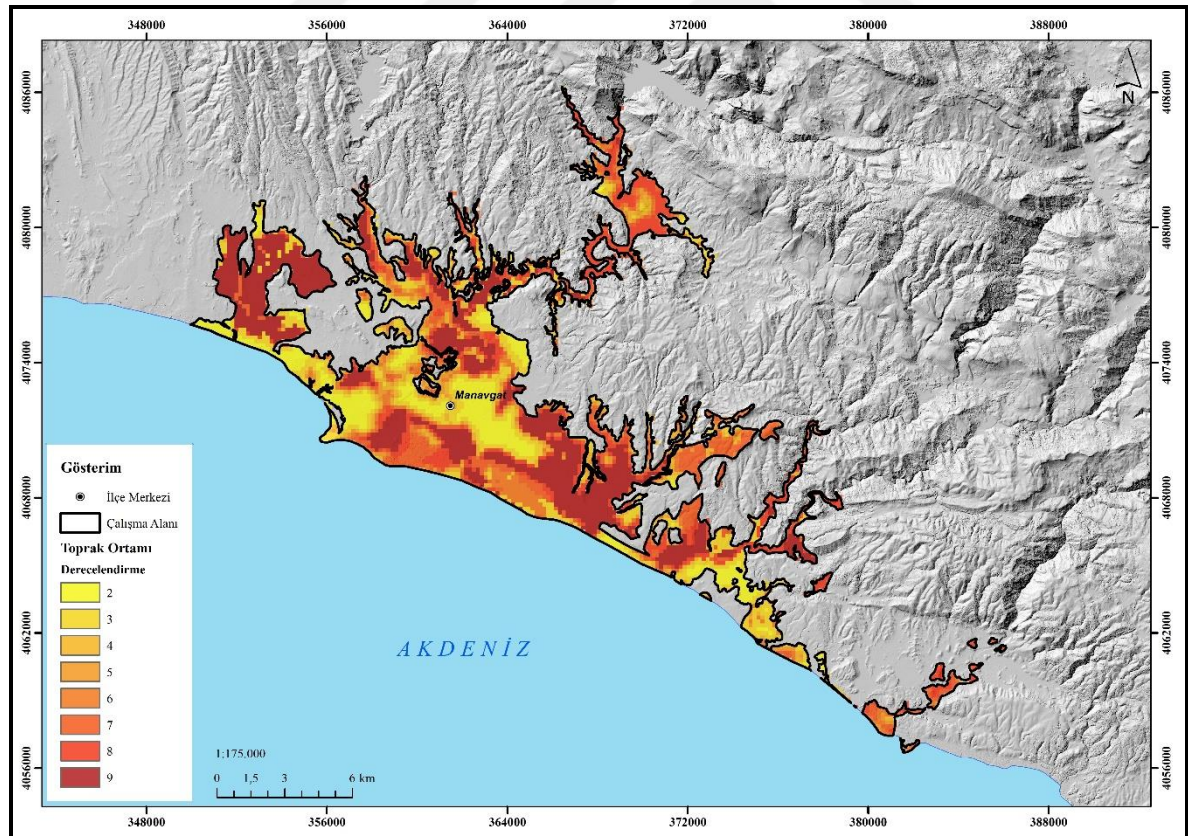
6.4. Toprak Ortamı (S)

Toprak ortamı, doymamış üst zonda bitkilerin köklerinin olduğu ve biyolojik süreçlerin gerçekleştiği, yerüstü suyunun süzülerek yeraltına ilk ulaştığı genellikle 2 m veya daha az kalınlıkta olan bölgeyi temsil etmektedir. Toprak ortamının içeriği, yapısı ve bileşimi yeraltı suyunun su tablasına taşınım sürecinde önemli rol oynamaktadır. Toprak ortamının oldukça kalın olduğu yerlerde, filtreleme, biyolojik bozunma, soğurma ve buharlaşmanın zayıflama süreçleri oldukça önemli olabilmektedir. Bu nedenle, pestisitlerin tarımsal uygulamaları gibi belirli arazi yüzeyi uygulamaları için, toprak, kirlilik potansiyeli üzerinde birincil etkiye sahip olabilir (Aller ve diğerleri, 1987). Düşük geçirgenlikli topraklar, yeraltı suyunun kirliliklere karşı daha az korunmasına neden olabilirken, yüksek geçirgenlikli topraklar kirleticilerin hızla yayılmasına zemin hazırlamaktadır.

Çalışma alanındaki toprak tipinin belirlenmesinde Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından hazırlanan mevcut “Büyük Toprak Grubu” verileri ve “Hidrolojik Toprak Grupları” kullanılmıştır. Bu gruplar, Aller ve diğerleri tarafından belirlenen derecelendirmeler kullanılarak, toprak ortamı haritası DRASTIC yöntemine uygun şekilde sınıflandırılmıştır. Çalışma alanına kum, turba ve agrega içeren kil dağınık şekilde yayılmış durumdadır, bu bölgeler toprak ortamı açısından incelendiğinde yeraltı suyu kirliliği açısından hassasiyetin yüksek olduğu belirlenmiştir. Çizelge 6.4’te toprak ortamı için derecelendirmeler ile Harita 6.4’te toprak ortamı derecelendirme haritası verilmiştir.

Çizelge 6.4. Toprak ortamı için derecelendirmeler (Aller ve diğerleri, 1987)

Toprak Ortamı	Derecelendirme
İnce veya yok	10
Çakıl	10
Kum	9
Turba	8
Agrega içeren kil	7
Kumlu tın	6
Tın	5
Siltli tın	4
Killi tın	3
Çamur	2
Agregalaşmamış kil	1



Harita 6.4. Toprak ortamı DRASTIC derecelendirme haritası

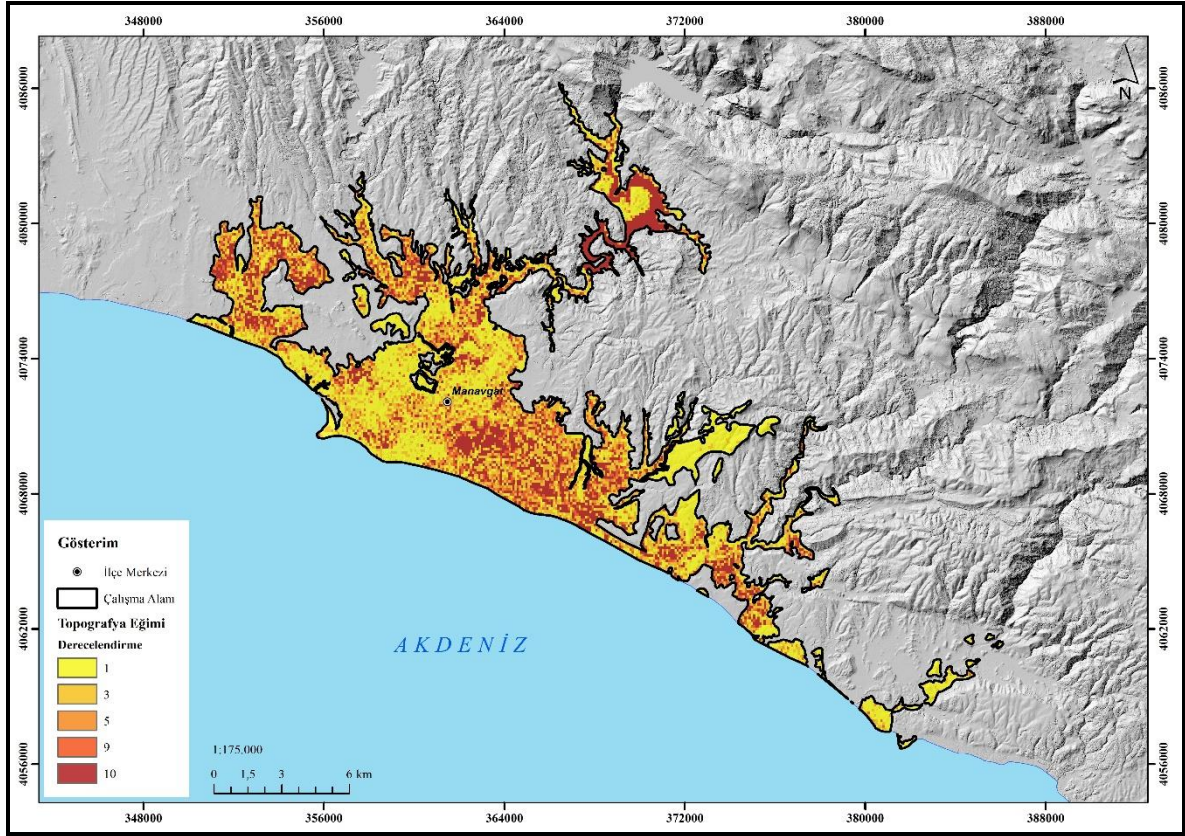
6.5. Topografya Eğimi (T)

Yerüstünde eğim ve eğim çeşitliliği topografya olarak tanımlanmaktadır. Topografya, kirleticinin bir alanda sızmaya yetecek kadar uzun süre yüzeyde kalma veya akma olasılığının kontrol edilmesine yardımcı olur (Aller ve diğerleri, 1987). Eğimin yüksek olduğu yerlerde, yağış hızlıca yerüstü akışına geçeceği için yeraltına süzülme için yeterli zamanı bulamaz. Eğimin düşük olduğu bölgelerde ise yağışın akışa geçmesi daha uzun zaman alır ve bu sayede yağış yeraltı suyunu besleyebilmektedir.

CBS uygulamasında sayısal yükseklik modeli kullanılarak çalışma alanının eğimi belirlenmiş ve DRASTIC yöntemine uygun şekilde sınıflandırılmıştır. Çalışma alanının deniz kıyısına yakın güney doğu bölgelerinde ve kuzey kısmında eğimin düşük, orta bölgelerinde ise eğimin yüksek olduğu görülmektedir. Çalışma alanında, deniz kıyısı boyunca ve en kuzeyde topografya eğimi açısından yeraltı suyu kirliliği hassasiyetinin yüksek olduğu belirlenmiştir. Çizelge 6.5'te toprak eğimi için aralıklar ve derecelendirmeler ile Harita 6.5'te topoğrafya eğimi derecelendirme haritası verilmiştir.

Çizelge 6.5. Toprak eğimi için aralıklar ve derecelendirmeler (Aller ve diğerleri, 1987)

Eğim Yüzdesi Aralığı	Derecelendirme
%0 - <%2	10
%2 - <%6	9
%6 - <%12	5
%12 - <%18	3
%18<	1



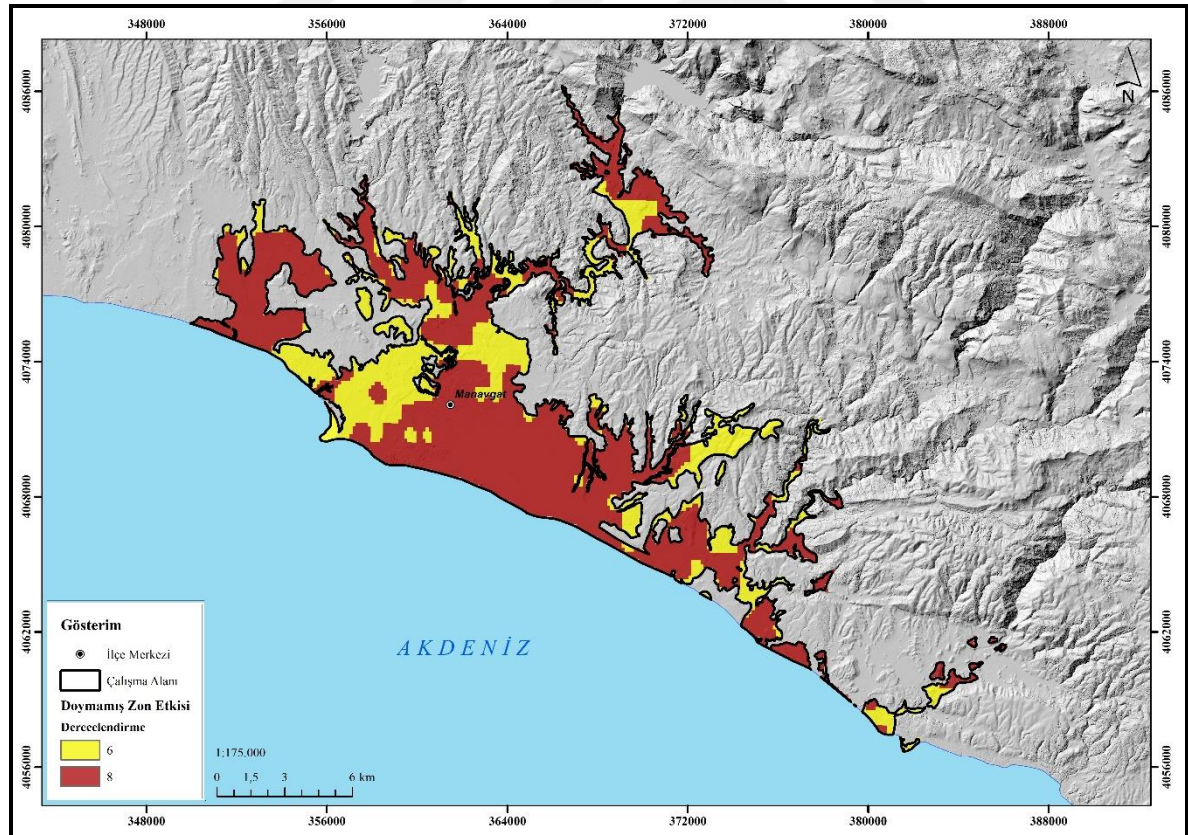
Harita 6.5 Topoğrafya eğimi DRASTIC derecelendirme haritası

6.6. Doymamış (Vadoz) Zonun Etkisi (I)

Vadoz zon toprak ortamından sonra, su tablasına kadar olan doymamış veya kısmen doymuş bölgeyi temsil etmektedir. Çalışma alanındaki vadoz zon dağılımı için jeolojik birimlerden faydalanılmış ve DRASTIC yöntemine uygun şekilde sınıflandırılmıştır. Çizelge 6.6'da vadoz zon etkisi için derecelendirmeler ile Harita 6.6'da doymamış zonun etkisi derecelendirme haritası verilmiştir.

Çizelge 6.6. Vadoz zon etkisi için derecelendirmeler (Aller ve diğerleri, 1987)

Litolojik Birim	Derecelendirme
Karstik Kireçtaşı	10
Bazalt	9
Kum ve Çakıl	8
Siltli ve killi kum ve çakıl	6
Katmanlı Kumtaşı, Kireçtaşı ve Şeyl	6
Kumtaşı	6
Kalker	6
Metamorfik/Volkanik	4
Şisti	3
Silt/kil	3
Basınçlı Akifer	1



Harita 6.6. Doymamış zon etkisi DRASTIC derecelendirme haritası

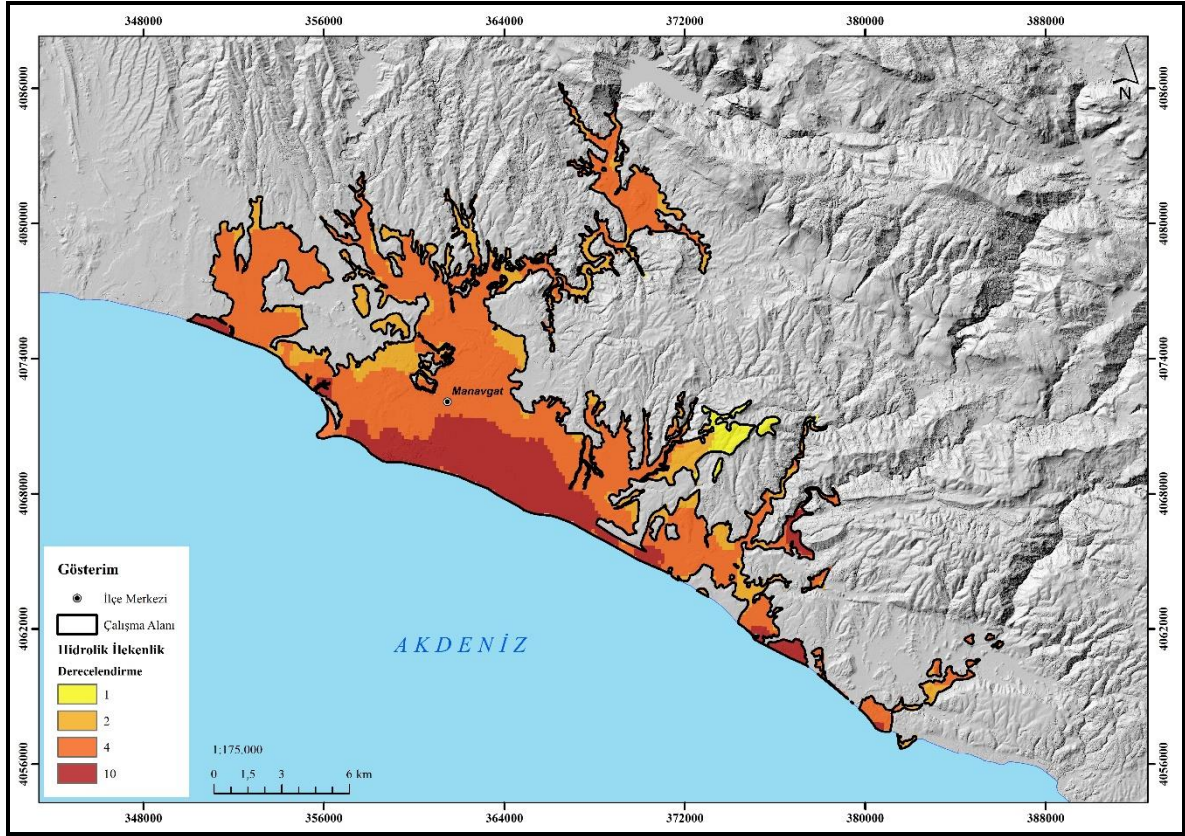
6.7. Hidrolik İletkenlik (C)

Hidrolik iletkenlik, taneler arası gözeneklilik, kırılma ve tabakalaşma düzlemlerinin bir sonucu olarak akifer içindeki boş alanların miktarı ve aralarındaki bağlantı ile kontrol edilir (Aller ve diğerleri, 1987). Bu da gözenekli bir ortamda yeraltı suyunun akış hızını açıklamaktadır. Akiferin litolojik özellikleri yeraltısuyunun ne kadar ve ne hızla taşınabileceği hakkında bilgi veren en önemli parametredir. Hidrolik iletkenlik değerleri, kirleticilerin etkisinin değerine karşılık gelir (Kumar vd. 2013). Hidrolik iletkenlik katsayısı arttıkça, kirliliğin akifer içerisindeki taşınımı kolaylaşır ve buna bağlı olarak kirlilik miktarı artmaktadır.

Hidrolik iletkenlik katsayısı, sahadaki sabit veya değişken akış koşullarını dikkate alan laboratuvar veya saha testleri ile belirlenmektedir. Ancak, çalışma alanı içerisinde yeterli kuyu verisi bulunamadığından, literatürde tanımlanan litolojik birimlerin ortalama iletkenlik değerlerine dayalı bir değerlendirme yapılmıştır. Çalışma alanında deniz kıyısı boyunca doğu-batı düzleminde hidrolik iletkenliğin yüksek olduğu, havzanın membasında kuzey kısımlarda ise düşük olduğu görülmektedir. Çalışma alanının, kıyı kesimler hidrolik iletkenlik açısından incelendiğinde yeraltı suyu kirliliği açısından hassasiyetin yüksek olduğu belirlenmiştir. Çizelge 6.7’de hidrolik iletkenlik için derecelendirmeler ile Harita 6.7’de hidrolik iletkenlik derecelendirme haritası verilmiştir.

Çizelge 6.7. Hidrolik iletkenlik için derecelendirmeler (Aller vd., 1987)

Litoloji	Derecelendirme
Mermer	10
Kalker	10
Alüvyon	4
Yamaç molozu	4
Çakıldaşı	2
Volkanik birimler	1
Konglomera, kumtaşı, çamurtaşı, killi kireçtaşı	1
Granit, granodiyorit	1



Harita 6.7. Hidrolik iletkenlik DRASTIC derecelendirme haritası

6.8. Pestisit DRASTIC İndeksi

Pestisit DRASTIC indeksi haritası, yukarıda değerlendirmesi yapılan 7 katman kullanılarak, Aller ve diğerleri (1987) tarafından her bir katman için belirlenen ağırlıklar CBS ortamında bütünleştirilerek elde edilmiştir. Her parametre, belirli bir ağırlık ve puanla değerlendirilmiştir. Toplam pestisit DRASTIC skoru, bölgenin pestisit kirliliğine karşı ne kadar duyarlı olduğunu göstermektedir. Pestisit DRASTIC indeksi haritası, bu skorlara dayanarak hazırlanmış ve belirli aralıklar için renk kodları kullanılarak çalışma alanının kirliliğe karşı hassasiyetini görsel olarak temsil etmesi için haritalandırılmıştır.

Aller ve diğerleri (1987) tarafından değerlendirilen pestisit DRASTIC yaklaşımında, pestisit kullanımının olduğu bölgelerde, yeraltı sularının pestisite karşı hassasiyetini özel olarak değerlendirebilmek için, katmanlar için ayrı bir ağırlıklandırma yapılmıştır. Pestisit DRASTIC indeksi hesaplamasında da orjinal DRASTIC'te olduğu gibi 7 katman kullanılmaktadır. Bu katmanların aralıkları, derecelendirilmeleri ve kullanım talimatları Pestisit DRASTIC ve orjinal DRASTIC'te aynıdır. Pestisit DRASTIC, orjinal

DRASTIC'ten yalnızca yedi DRASTIC faktörü için verilen göreceli ağırlıkların atanması bakımından farklıdır (Aller ve diğerleri, 1987). Yeraltı suyuna derinlik, net beslenme ve akifer ortamı faktörleri için verilen ağırlık puanları bu iki değerlendirme için aynı iken; toprak ortamı, topografya eğimi, doymamış (vadoz) zonun etkisi ve hidrolik iletkenlik faktörlerinin ağırlık puanları birbirinden farklıdır. DRASTIC indeksi ağırlıklandırma puanları Çizelge 6.8'de, pestisit DRASTIC indeksi ağırlıklandırma puanları Çizelge 6.9'da verilmiştir.

Çizelge 6.8. DRASTIC ağırlıklandırma puanları (Aller ve diğerleri, 1987)

Parametre	Kısaltma	Ağırlık
Yeraltı Suyuna Derinlik	D	5
Net Beslenme	R	4
Akifer Ortamı	A	3
Toprak Ortamı	S	2
Topografya Eğimi	T	1
Doymamış (Vadoz) Zonun Etkisi	I	5
Hidrolik İletkenlik	C	3

Çizelge 6.9. Pestisit DRASTIC ağırlıklandırma puanları (Aller ve diğerleri, 1987)

Parametre	Kısaltma	Ağırlık
Yeraltı Suyuna Derinlik	D	5
Net Beslenme	R	4
Akifer Ortamı	A	3
Toprak Ortamı	S	5
Topografya Eğimi	T	3
Doymamış (Vadoz) Zonun Etkisi	I	4
Hidrolik İletkenlik	C	2

DRASTIC indeksini belirleme denklemi Eş 6.1'deki gibi belirlenmiştir (Aller vd., 1987);

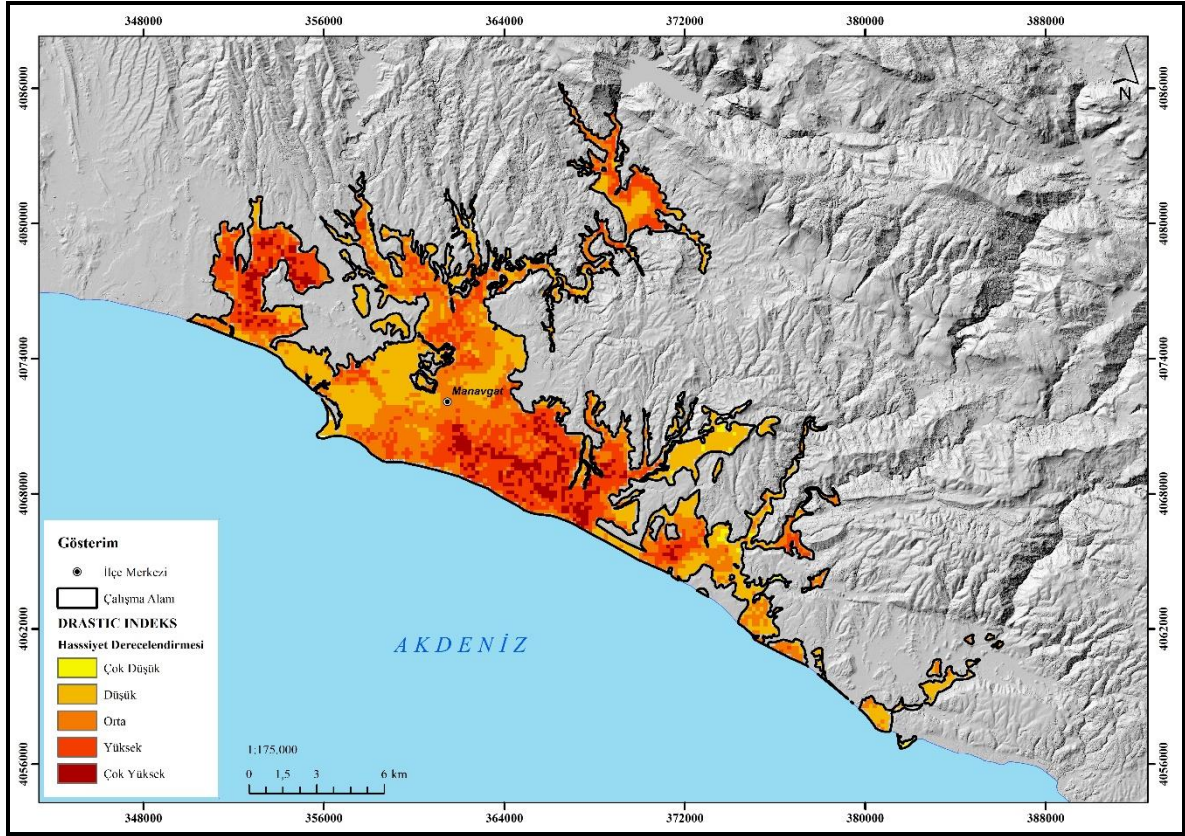
$$\text{DRASTIC İndeksi (DI)} = D_r D_w + R_r R_w + A_r A_w + S_r S_w + T_r T_w + I_r I_w + C_r C_w \quad (6.1)$$

Çizelge 6.10'da DRASTIC indeksinde kullanılan semboller ve açıklamaları verilmiştir.

Çizelge 6.10. Pestisit DRASTIC İndeksinde kullanılan parametreler

Parametre Sembolü	Parametre	Parametre Sembolü	Parametre
D_r	Yeraltı suyuna derinlik derecelendirmesi katsayısı	D_w	Yeraltı suyuna derinlik ağırlığı katsayısı
R_r	Net beslenim derecelendirmesi katsayısı	R_w	Net beslenim ağırlığı katsayısı
A_r	Akifer ortamı derecelendirmesi katsayısı	A_w	Akifer ortamı ağırlığı katsayısı
S_r	Toprak ortamı derecelendirmesi katsayısı	S_w	Toprak ortamı ağırlığı katsayısı
T_r	Topografya eğimi derecelendirmesi katsayısı	T_w	Topografya eğimi ağırlığı katsayısı
I_r	Doymamış (vadoz) zonun etkisi derecelendirmesi katsayısı	I_w	Doymamış (vadoz) zonun etkisi ağırlığı katsayısı
C_r	Hidrolik iletkenlik derecelendirmesi katsayısı	C_w	Hidrolik iletkenlik ağırlığı katsayısı

Aller ve diğerleri (1987) tarafından yayımlanan orijinal DRASTIC yaklaşımı, hassasiyet kategorisi aralıkları vermez, bunun yerine kullanıcıya kendi saha bilgisi ve hidrojeolojik geçmişine dayanarak hassasiyet indeksini yorumlama olanağı tanır (Gogu et al., 2003). Bu yaklaşım benimsenerek Eşitlik 6.1 ile eldilen pestisit DRASTIC indeks haritası en yüksek ve en düşük değerleri değerlendirilerek, çok düşükten çok yükseğe kadar 5 aşamalı bir sınıflandırma yapılmıştır. Sınıflandırmanın sonucunda oluşturulan pestisit DRASTIC indeks haritası Harita 6.8'de verilmiştir.



Harita 6.8. Pestisit DRASTIC indeks haritası



7. SONUÇ VE ÖNERİLER

7.1. Sonuçlar

Bu tez çalışması kapsamında, Manavgat ilçe merkezini içine alan Manavgat YAS kütlesi (Antalya Havzası) üzerindeki tarımsal faaliyetlerin oluşturduğu baskı belirlenmiş ve bu baskının pestisit kirliliği açısından etkisi değerlendirilmiştir. Baskı ve etki değerlendirmelerini desteklemek amacıyla, pestisit DRASTIC hassasiyet analizi yapılmıştır. Bu sayede çalışma alanında yaygın olarak kullanılan pestisitlerin yeraltı suyuna etkisi tespit edilmiş ve pestisit kullanımına karşı yeraltı suyunun hassasiyeti ortaya konmuştur. İlerleyen dönemlerde tarımsal faaliyetler açısından alınacak olan önlemlerin, bu çalışma ile tespit edilen pestisit etkisi ve pestisit kirliliği hassasiyeti göz önünde bulundurularak planlanması için yol gösterici olması amaçlanmıştır.

Manavgat ilçesi hem ekonomik hem de sosyal açıdan Türkiye tarım sektörünün dinamik ve önemli bir parçasıdır. İlçede üretilen ürünler hem iç pazarda hem de ihracatta önemli bir yer tutmaktadır. Çalışma alanı içerisindeki tarım alanlarına bakıldığında, alanın yaklaşık %42'lik kısmında aktif olarak tarım yapıldığı belirlenmiştir. Seracılık, bu tarım alanlarının büyük bir kısmını kaplamaktadır. Çalışma kapsamında yapılan değerlendirmelere göre, çalışma alanında tarımsal faaliyetlerden kaynaklı yüksek baskı olduğu tespit edilmiştir.

Tarımsal faaliyetlerin yoğunluğu nedeniyle kullanılan pestisit miktarları günden güne artış göstermektedir. Çeşitli bitki desenlerinin kullanıldığı ilçede TÜİK verilerine göre 59 farklı pestisit kullanılmaktadır. Pestisit kullanımı, tarımsal verimlilik ve ekonomik açıdan çiftçiler için fayda sağlasa da yeraltı suyu kirliliği açısından bir tehdit unsuru oluşturmaktadır. İlçede tarım alanı başına pestisit kullanımı 10,36 kg-L/ha olup, bu değer Türkiye genelinde hesaplanan pestisit kullanım miktarının (2,59 kg-L/ha) oldukça üzerindedir. 2020-2021 yılları arasında Manavgat YAS kütlesinde, DSİ tarafından gerçekleştirilen 4 farklı izleme noktasında 4 dönemlik (2 kurak dönem – 2 yağışlı dönem) izlemelerle 72 pestisit çeşidinden sadece ikisi, alachlor ve nicosulfuron, gözlenebilme limitlerinin üzerinde tespit edilmiştir. Diğer 70 pestisit ise gözlenebilme limitlerinin altında kalmıştır. Alachlor ve nicosulfuron birer herbisit çeşitidir. Alachlor, yaygın olarak mısır, yer fıstığı ve pamuk üretiminde, nicosulfuron ise daha çok mısır üretiminde yabancı ot kontrolünü sağlamak için kullanılmaktadır. Yeraltı sularında bu pestisitlerin bulunması,

özellikle içme suyu amaçlı kullanımlarda halk sağlığı üzerinde ciddi riskler oluşturabilmektedir. Alachlor, potansiyel bir kanserojen olarak sınıflandırılmıştır ve uzun süreli maruziyet durumunda kanser riskini artırmaktadır. Nicosulfuron'un akut toksisite düzeyi genellikle düşük olmakla birlikte kronik etkileri konusunda sınırlı veri bulunmaktadır. Bu pestisitlerin, doğrudan içme suyu olarak kullanılmayan yeraltı sularında bile su organizmalarında ve toprakta birikerek gıda zincirine girmesi, insanların dolaylı yoldan maruziyetine neden olarak sağlık açısından risk oluşturmaktadır. "Yeraltı Sularının Kirlenmeye ve Bozulmaya Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik (2012)"e göre, pestisitler için belirlenen kalite standardı 0,1 µg/L'dir. Etki değerlendirmesi yapılırken hem dönem bazında hem de tüm dönemlerin ortalama değerleri dikkate alınmıştır. Dönem bazında yapılan değerlendirmelerde, alachlor ve nicosulfuron pestisitlerinin kalite standartlarını aştığı belirlenmiş ve bu nedenle çalışma alanındaki etki değerlendirmesi "teyit edilmiş etki var" olarak sonuçlandırılmıştır.

Etki değerlendirmesinde öne çıkan en önemli husus, çalışma alanında varlığı tespit edilen alachlor ve nicosulfuron pestisitlerinin, 4 farklı noktada 4 dönem boyunca yapılan izlemelerden yalnızca ANT-40 noktasında ve sadece 1 kurak dönemde izlenmiş olmasıdır. Pestisitlerin yeraltı sularında tespit edilme sıklığı ile konsantrasyonları, mevsimsel ve bölgesel koşullara göre değişkenlik göstermektedir. Yağışlı dönemlerde, yüzeyden yeraltı suyuna sızan su dolayısıyla pestisit miktarında artış beklenirken, yapılan analizlerde bu pestisitlerin kurak bir dönemde tespit edilmiş olması dikkat çekmektedir. Bu durum, yeraltı suyunun taşınım süreciyle ilişkilendirilmiştir. Kısa vadeli bir yeraltısu taşınım modeli senaryosunda, 1. dönemde aynı numune noktasında tespit edilen alachlor ve nicosulfuron pestisitlerinin, sadece 1. dönemde ekilen bitki çeşidi için yoğun olarak kullanılmasının, kurak dönemde yeraltı suyuna az miktarda sızan suyun kirlilik konsantrasyonunun yüksek olmasından kaynaklandığı şeklinde yorumlanabilir. Uzun süreli bir yeraltısu taşınım modeli senaryosunda ise, bu pestisitlerin geçmiş dönemlerde de kullanıldığı fakat yeraltı suyuna taşınım süresinin uzun olması sebebiyle pestisitlerin ancak bu dönemde tespit edilebildiği şeklinde yorumlanabilir. Geçmiş dönemde sahada yapılan başka bir izleme verisine ulaşamaması, bu pestisitlerin yalnızca belirli bir kurak dönemde tespit edilmesinin kesin nedenini net bir şekilde ortaya koymayı zorlaştırmaktadır. Veri setinin sınırlılığı, somut sonuçların belirlenmesini güçleştirmekte ve yeraltı sularının uzun vadeli sürdürülebilir yönetimi için planlamanın doğru yapılmasının önüne geçmektedir.

DRASTIC hassasiyet analizi ile yeraltı suyunun pestisit kullanımına duyarlı olduğu bölgeler belirlenerek, etki değerlendirilmesinde kullanılan izleme veri setinin sınırlı olmasından kaynaklı belirsizliklerin önüne geçilmesi amaçlanmıştır. Bu sayede, çalışma alanında yeterli miktarda izleme olmasa bile, yeraltı suyunun pestisit kullanımına hangi bölgelerde ne derece duyarlı olduğu belirlenmiştir. Bu analiz, pestisitlerin gelecekteki kullanımlarının daha bilinçli ve kontrollü şekilde gerçekleştirilmesi için önemli bir araç oluşturmuştur. Çalışma sonucunda, Manavgat ilçe merkezinin güney doğu bölgesi ile kuzey batı bölgeleri, pestisitlerden kaynaklı yeraltı suyu potansiyel kirliliği hassasiyetinin çok yüksek olduğu bölgeler olarak belirlenmiştir.

Bu çalışma kapsamında yapılan baskı ve etki değerlendirmeleri ile pestisit DRASTIC hassasiyet analizi kavramsal bir bütünlük teşkil etmektedir. Tarımsal olarak yüksek baskı altında olan çalışma alanında teyit edilmiş etki tespit edilmiştir. Ancak etki analizinde kullanılan izleme verilerinin kısa dönemli olması ve pestisitlerin ölçüm yapılan 4 dönemin 1 tanesinde tespit edilmesi, yüksek tarım baskısı olan bir bölge için temsil edici olmayacağı düşünülmektedir. Pestisit DRASTIC analizi sonucunda çalışma alanının büyük bir kısmının çok yüksek ve yüksek pestisit kirliliği hassasiyetinin çıkması, mevcut durumda tek dönemde gözlenen teyit edilmiş etkinin ilerleyen dönemlerde artma ihtimalinin yüksek olduğuna işaret etmektedir. Çalışma alanındaki seracılık faaliyetlerinde fazla su kullanılmadığı için yeraltı suyunu etkileyecek pestisit kirliliğinin uzun vadede gözleneceği de göz önünde bulundurulmalıdır.

7.2. Öneriler

Çalışma alanında belirlenen teyit edilmiş pestisit etkisi ile pestisitlerden kaynaklı çok yüksek ve yüksek yeraltı suyu kirliliği hassasiyeti dikkate alınarak gelecek dönemler için tedbirlerin alınması özellikle insan sağlığı açısından önemlidir. Ayrıca, taşınım süreçlerinden dolayı yeraltı suyu kirliliği çoğu zaman, baskının tespit edildiği dönemden çok sonra gözlemlendiği için, yeraltı suyu kalitesinin iyileştirilmesi de uzun bir sürece yayılması muhtemeldir. Bu nedenle, uzun vadeli ve sürdürülebilir bir planlamanın yapılması önem teşkil etmektedir. Yeraltı suyunun etkili bir şekilde yönetilmesi ve korunmasını desteklemek amacıyla, sürdürülebilir tarım uygulamaları teşviği, pestisit kullanımı hakkında eğitimler ve yasal düzenlemeler gibi önemli adımlar planlanmalıdır. Çiftçilerin pestisit kullanımı konusunda bilinçlendirilmesi ve yasaklı pestisitlerin

kullanımının takibi önemli adımlardan biridir. Ayrıca, düzenli izleme programları ile yeraltı suyu kalitesi sürekli olarak kontrol edilmeli ve kirlilik düzeyleri belirlenmelidir. Bu kapsamda alınacak tedbirler gelecekteki su güvenliğinin sağlanmasında kritik bir rol oynamaktadır.



KAYNAKLAR

- Abdullahi, U. S. (2009). Evaluation of models for assessing groundwater vulnerability to pollution in Nigeria. *Bayero Journal of Pure and Applied Sciences*, 2(2), 138-142.
- Aller L., Bennet T., Lehr J.H., Petty R.J. and Hackett G. (1987). *DRASTIC: A standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings*. Dublin Ohio: National Water Well Association, 84-97.
- Askarimarnani, S. and Willgoose, G. (2014, January). Using the DRASTIC model for determination of groundwater vulnerability in shallow aquifer in broke, NSW, Australia. In *Hydrology and Water Resources Symposium 2014* (pp. 174-181). Barton, ACT: Engineers Australia.
- Atasoy A.D. (2019). Yeraltı sularında pestisit kirliliğinin pestisit özellikleri ve kullanım miktarları bakımından irdelenmesi. *Ziraat Mühendisliği*, 368, 46-52.
- Atasu, M. (2022). *Investigation of the aquifer vulnerability in the Bakırçay Basın, Turkey*. Yüksek Lisans Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 25-36.
- Awawdeh M., Obeidat M. and Zaiter G. (2014). Groundwater vulnerability assessment in the vicinity of Ramtha wastewater treatment plant, North Jordan. *Pplied Water Science*, 5, 321-334.
- Chilton, P. J., Stuart, M. E., Gooddy, D. C., Williams, R. J. and Johnson, A. C. (2005). Pesticide fate and behaviour in the UK Chalk aquifer, and implications for groundwater quality. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 38(1), 65-81.
- Davis, A. L. M. W. A., Long, A. and Wireman, M. (2002). KARSTIC: a sensitivity method for carbonate aquifers in karst terrain. *Environmental Geology*, 42, 65-72.
- DSİ (2022). *Antalya Havzası yeraltı suyu planlama (hidrojeolojik etüt) yapılması işi*. Ankara: Devlet Su İşleri, 14-27.
- Freeze, R. A. and Cherry, J. A. (1979). Groundwater prentice-hall. *Englewood Cliffs*, 176, 161-177.
- Gogu, R. C., Hallet, V. and Dassargues, A. (2003). Comparison of aquifer vulnerability assessment techniques. Application to the Néblon river basin (Belgium). *Environmental Geology*, 44, 881-892.
- Hearne G, Wireman M, Campbell A, Turner S, Ingersoll G (1992). *Vulnerability of the uppermost ground water to contamination in the greater Denver area*. New York: United States Geological Survey, 92-4143.
- İnternet: Corine Nedir? T.C Tarım Orman Bakanlığı. URL: <https://corine.tarimorman.gov.tr/corineportal/nedir.html>. Son Erişim Tarihi: 2015.

İnternet: Yıldırım M., Topkaya B. Antalya Kentindeki İçme Suyu Kaynaklarının Kirlenme Potansiyelinin Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Belirlenmesi. URL: <https://eskisakarya.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/11128.pdf>, Son Erişim Tarihi: 23.04.2024.

Kaymak, S., Özdem, A., Karahan, A., Özercan, B., Aksu, P., Aydar, A., Kodan, M., Yılmaz, A., Başaran, S., Asav, Ü., Erdoğan, P. ve Güler, Y. (2015). *Ülkemizde zirai mücadele girdilerinin değerlendirilmesi*. Ankara: Zirai Mücadele Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, 114-125.

Kumar, T., Gautam, A. K. and Kumar, T. (2014). Appraising the accuracy of GISbased multi-criteria decision-making technique for delineation of groundwater potential zones. *Water Resources Management*, 28(3), 4449-4466.

Parsons, D. W. and Witt, J. M. (1988). *Pesticides in groundwater in the United States of America: A report of a 1988 survey of state lead agencies*. Oregon: Oregon State University, 25-36.

Sağlam, H. (2008). *Melen Havzasında pestisit uygulamaları ve pestisitlerin biyolojik bozunma, yüzeysel akış ve sızma yüzdelerinin tahmini*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 14-35.

SYGM (2023). *6 havzada nehir havzası yönetim planlarının hazırlanması için teknik yardım projesi, etkinlik 1.5: Su kütleleri üzerindeki baskı ve etkilerin analizi antalya havzası raporu*. Ankara: Tarım ve Orman Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, 12-36



Gazili olmak ayrıcalıktır