T.C.

AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ

TARIMSAL KARSTİK BÖLGELER İÇİN YERALTISUYU KİRLİLİK RİSKİ DEĞERLENDİRMESİ: ANTALYA-ALTINOVA BÖLGESİ UYGULAMASI

Ahmet ÇİL

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KASIM 2017

ANTALYA

T.C.

AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ

TARIMSAL KARSTİK BÖLGELER İÇİN YERALTISUYU KİRLİLİK RİSKİ DEĞERLENDİRMESİ: ANTALYA-ALTINOVA BÖLGESİ UYGULAMASI

Ahmet ÇİL

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KASIM 2017

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TARIMSAL KARSTİK BÖLGELER İÇİN YERALTISUYU KİRLİLİK RİSKİ DEĞERLENDİRMESİ: ANTALYA-ALTINOVA BÖLGESİ UYGULAMASI

Ahmet ÇİL

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

(Bu tez Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri FLY-2016-1646 nolu proje ile desteklenmiştir.)

KASIM 2017

T.C.

AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TARIMSAL KARSTİK BÖLGELER İÇİN YERALTISUYU KİRLİLİK RİSKİ DEĞERLENDİRMESİ: ANTALYA-ALTINOVA BÖLGESİ UYGULAMASI

Ahmet ÇİL

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 20/10/2017 tarihinde jüri tarafından Oybirliği / ~~Oyçokluğu~~ ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ayşe MUHAMMETOĞLU (Danışman)
Prof. Dr. Bülent TOPKAYA
Doç. Dr. Nevzat Özgü YİĞİT

ÖZET

TARIMSAL KARSTİK BÖLGELER İÇİN YERALTISUYU KİRLİLİK RİSKİ DEĞERLENDİRMESİ: ANTALYA-ALTINOVA BÖLGESİ UYGULAMASI

Ahmet ÇİL

Yüksek Lisans Tezi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ayşe MUHAMMETOĞLU

Kasım 2017, 244 sayfa

Karstik yeraltı suyu (YAS) kaynaklarının kirliliğe karşı korunması özel önem taşımaktadır. Bu tezin amacı, yoğun tarımsal faaliyetlerin gerçekleştirildiği karstik bölgelerdeki YAS kalitesinin kirliliğe karşı korunması için YAS hassasiyeti ve kirletici analizleri kullanılarak YAS risk değerlendirilmesinin yapılması ve YAS risk haritalarının oluşturulmasıdır. Bu çalışmaların yapılması için çalışma alanı olarak yoğun tarım ve seracılık faaliyetlerinin olduğu Antalya Altınova bölgesi seçilmiştir. Gerçekleştirilen arazi çalışmalarında belirlenen sondaj kuyularından fiziko-kimyasal parametreler mevsimsel olarak yerinde ölçülmüş, tarımsal faaliyetler hakkında veri toplanmış, akiferin hidrojeolojik özelliklerinin belirlenmesi vb. çalışmaları yürütülmüştür. YAS kalitesinin fiziksel, kimyasal ve bakteriyolojik parametreler açısından kapsamlı analizi ile mevcut durumu belirlenmiş, toprak analizleri ile alansal veri elde edilmesi sağlanmıştır. Elde edilen verilerden ArcGIS yazılımı kullanılarak gerekli veri tabanları oluşturulmuştur. YAS risk değerlendirmesi, YAS kirlilik hassasiyeti ve kirletici unsur değerlendirmesine bağlı olarak gerçekleştirilmiştir. Gerçek hassasiyet değerlendirmesi ve haritalaması için PI, COP, EPIK, DRASTIC ve SINTACS yöntemleri kullanılmış ve farklı yöntemlerin sonuçları karşılaştırılmıştır. Kirletici unsur değerlendirmesinde arazi kullanım haritaları ve saha çalışmalarındaki gözlem sonuçlarından yararlanılmıştır. Yapılan gözlemler ve elde edilen bulgular doğrultusunda YAS kalitesinin korunması için öneriler sunulmuştur.

Uygulanan bilimsel yöntemler, tarımsal karstik akiferlerde sürdürülebilir YAS kalitesinin korunması için bir yaklaşım oluşturmaktadır. Bu çalışmada kullanılan yaklaşım ve elde edilen sonuçlar, tarımsal kaynaklı nitrat kirliliğinin azaltılmasına, nitrata hassas bölgelerin belirlenmesine ve iyi tarım uygulamalarının geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

ANAHTAR KELİMELER: Karst akifer, yeraltısuyu kalitesi, yeraltısuyu kirlilik hassasiyeti, kirletici unsur ve risk yönetimi.

JÜRİ: Prof. Dr. Ayşe MUHAMMETOĞLU
Prof. Dr. Bülent TOPKAYA
Doç. Dr. Nevzat Özgü YİĞİT

ABSTRACT

ASSESSMENT OF VULNERABILITY OF GROUNDWATER TO POLLUTION IN AGRICULTURAL KARSTIC REGIONS: ANTALYA ALTINOVA REGION APPLICATION

Ahmet ÇİL

MSc Thesis in Environmental Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ayşe MUHAMMETOĞLU

November 2017, 244 pages

Protection of karstic groundwater resources against pollution gain a special importance. The aim of the thesis is to develop an integrated approach for management of groundwater quality in karstic agricultural regions using groundwater vulnerability and hazard analysis and create groundwater risk maps. Antalya Altınova region was chosen as the pilot study area for this work due to presence of intensive agricultural and greenhouse activities. Within the monitoring study, seasonal in-situ measurements of physico-chemical parameters, data collection for agricultural activities, hydrogeological surveys, etc. were conducted from the pre-determined groundwater sampling wells. Comprehensive analyses of groundwater quality for physical, bacteriological and chemical parameters including pesticides and soil analyses have been conducted during the field studies. Using the collected data sets, the necessary databases were created using ArcGIS software. Groundwater risk assessment was conducted using intrinsic vulnerability and hazard analyses. Intrinsic vulnerability assessment and mapping were accomplished using PI, COP, EPIK, DRASTIC and SINTACS methods and the achieved results were compared. Hazards were defined based on land-use maps and observations from site surveys. All the activities and results were compiled together to give recommendations for protection of groundwater quality.

The applied tools provide an integrated approach for sustainable groundwater quality management in agricultural karstic aquifers. The applied approach and the achieved results contribute to reduction of nitrates from agricultural sources, designation of nitrate vulnerable zones and use of good farming practices.

KEYWORDS: Karst aquifer, groundwater quality, intrinsic groundwater vulnerability, hazard and risk assessment.

COMMITTEE: Prof. Dr. Ayşe MUHAMMETOĞLU
Prof. Dr. Bülent TOPKAYA
Assoc. Prof. Dr. Nevzat Özgü YİĞİT

ÖNSÖZ

Karstik akiferler, dünya genelinde önemli içme ve sulama suyu kaynaklarını oluştururlar. Karstik akiferler içindeki karmaşık yeraltı suyu (YAS) akım dinamiği nedeni ile kirleticiler çok hızlı taşınabildiği gibi çok uzun süre depolanabilmektedir. Dolayısıyla karstik akiferlerdeki YAS'ın kirliliğe karşı hassasiyeti artmaktadır. Karstik YAS kaynakları kirlendiğinde, temizlenmesi uzun zaman, emek ve maliyet gerektirdiğinden, entegre yönetim politikalarının geliştirilmesi ve kirliliğe karşı korunması özel önem taşır. Sürekli artan YAS ihtiyacına karşılık farklı faaliyetlerden kaynaklanan çeşitli kirleticilerin kontrolsüz olarak bertaraf edilmesi, YAS kalitesinin yönetimini ve korunmasını güçleştirmektedir. Tarımsal faaliyetler, olumsuz çevresel etkilere sebep olan ve karstik YAS'ı kirleten en etkili ve yaygın kirletici kaynaktır. Gübre ve pestisitlerin yoğun kullanımı, yüksek verimle kaliteli ürün yetiştirilmesini sağlarken özellikle YAS kalitesini olumsuz etkilemektedir. Karstik akiferlerin kirlilik riskinin değerlendirilmesi için akiferin akım dinamiği belirlendikten sonra bölgedeki temel kirlilik kaynaklarına göre önleyici tedbirlerin alınması gerekmektedir.

Bu tezin amacı yoğun tarımsal faaliyetlerin gerçekleştirildiği karstik bölgelerdeki YAS kalitesinin entegre yönetimi için YAS hassasiyet, kirletici ve risk değerlendirmesi metotları kullanılarak çalışma alanında YAS'ın tarımsal aktivitelerden ne düzeyde etkilendiğinin belirlenmesidir. Antalya-Altınova bölgesi olarak seçilen çalışma alanı yoğun tarımsal faaliyetler yapılan karstik akiferler ile karakterize edilmektedir. Çalışma alanında YAS kalitesi yoğun tarımsal faaliyetler sebebiyle bozulmuştur ve YAS'ta yer yer çok yüksek nitrat konsantrasyonları gözlenmektedir.

Bu tezin hazırlanması sırasında bana her türlü desteğini esirgemeyen Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Sayın Prof. Dr. Ayşe Muhammetoğlu, Prof. Dr. Habib Muhammetoğlu ve Yrd. Doç. Dr. Firdes Yenilmez'e, ayrıca Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Öğretim Üyesi Sayın Prof. Dr. N. Nur Özyurt'a sonsuz teşekkürü borç bilirim.

Bu tez 114Y696 nolu TÜBİTAK projesi ve FYL-2016-1646 numaralı Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi (BAP) ile desteklenmiştir. TÜBİTAK ve Akdeniz üniversitesi BAP yetkililerine ayrıca teşekkür ederim.

Literatür araştırması ve saha çalışmaları sırasında her türlü desteğini esirgemeyen Devlet Su İşleri (DSİ) 13. Bölge Müdürlüğü Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltısuları Daire Başkanlığı'na teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma esnasında her türlü desteklerini esirgemeyen arkadaşlarım Çevre Mühendisi Barış Şeker'e, Çevre Yüksek Mühendisi Oğuzhan Gülaydın'a, Çevre Yüksek Mühendisi Özge Özen'e ve Arş. Gör. Ramazan Keyikoğlu'na teşekkürlerimi sunarım.

Bu dönemimde beni yalnız bırakmayan ailem ve kardeşime teşekkürü borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET i
ABSTRACT ii
ÖNSÖZ iii
İÇİNDEKİLER iv
AKADEMİK BEYAN viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ ix
ŞEKİLLER DİZİNİ xi
ÇİZELGELER DİZİNİ xix
1. GİRİŞ 1
2. KAYNAK TARAMASI 3
2.1. Hassasiyet Analizi 6
2.2. Kirletici Unsur Analizi 9
2.3. Risk Analizi 11
2.4. Dünya'da ve Ülkemizde Yapılan Çalışmalar 12
3. MATERYAL VE METOT 15
3.1. Çalışma Bölgesi ve Genel Özellikleri 15
3.2. Hassasiyet Analizinde Kullanılan Ortak Verilerin Elde Edilmesi 20
3.2.1. Meteorolojik verilerin elde edilmesi 20
3.2.2. YAS'a olan derinliğin ölçülmesi 20
3.3. DRASTIC Metodu 22
3.3.1. YAS'a olan derinlik (D) 24
3.3.2. Net beslenim (R) 24
3.3.3. Akifer ortamının özelliği (A) 25
3.3.4. Toprak ortamının özelliği (S) 26
3.3.5. Topografya (T) 27
3.3.6. Vadoz zon özelliği (I) 27
3.3.7. Hidrolik iletkenlik (C) 27
3.3.8. DRASTIC-pestisit metodu 28
3.4. SINTACS Metodu 29

3.4.1. YAS'a olan derinlik (S) 31
3.4.2. Efektif infiltrasyon (I) 31
3.4.3. Doymamış bölgenin özelliği (N) 32
3.4.4. Toprak özelliği (T) 33
3.4.5. Akifer özelliği (A) 34
3.4.6. Hidrolik iletkenlik (C) 34
3.4.7. Yüzey eğimi (Su) 35
3.5. COP Metodu 35
3.5.1. O faktörü (Örtüleyen tabakalar) 35
3.5.2. C faktörü (Akım yoğunluğu) 38
3.5.3. P faktörü (Yağış) 42
3.6. PI Metodu 44
3.6.1. P faktörü (Koruyucu örtü) 44
3.6.2. I faktörü (İnfiltrasyon Koşulları) 48
3.7. EPIK Metodu 50
3.7.1. Epikarst parametresi (E) 51
3.7.2. Koruyucu örtü parametresi (P) 51
3.7.3. İnfiltrasyon şartları parametresi (I) 52
3.7.4. Karst ağının gelişimi parametresi (K) 53
3.8. Kirletici Unsur 54
3.9. Risk Değerlendirmesi 64
3.9.1. PI metodu ile risk hesaplanması 66
3.9.2. COP metodu ile risk haritasının elde edilmesi 66
3.9.3. DRASTIC-Genel metodu ile risk haritasının elde edilmesi 68
3.9.4. DRASTIC-Pestisit metodu ile risk haritasının elde edilmesi 69
3.9.5. SINTACS metodu ile risk haritasının elde edilmesi 70
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 73
4.1. DRASTIC Hassasiyeti 73
4.1.1. YAS'a olan derinlik (D) 73
4.1.2. Net beslenim (R) 74
4.1.3. Akifer ortamının özelliği (A) 77
4.1.4. Toprak ortamının özelliği (S) 77

4.1.5. Topografya (T) 80
4.1.6. Vadoz zon özelliği (I) 84
4.1.7. Hidrolik iletkenlik (C) 84
4.1.8. DRASTIC-Genel İndeksinin hesaplanması 84
4.1.9. DRASTIC-Pestisit indeksinin hesaplanması 84
4.2. SINTACS Hassasiyeti 89
4.2.1. YAS'a olan derinlik (S) 89
4.2.2. Efektif infiltrasyon (I) 89
4.2.3. Doymamış bölgenin özelliği (N) 89
4.2.4. Toprak özelliği (T) 89
4.2.5. Akifer özelliği (A) 89
4.2.6. Hidrolik iletkenlik (C) 94
4.2.7. Yüzey eğimi (Su) 94
4.2.8. SINTACS indeksinin hesaplanması 97
4.3. COP Hassasiyeti 100
4.3.1. O faktörü (Örtüleyen Tabakalar) 100
4.3.2. C faktörü (Akım yoğunluğu) 102
4.3.1. P faktörü (Yağış) 102
4.4. PI Hassasiyeti 106
4.4.1. P faktörü (Koruyucu örtü) 106
4.4.2. I faktörü (İnfiltrasyon koşulları) 108
4.5. EPIK Hassasiyeti 111
4.5.1. Epikarst parametresi (E) 111
4.5.2. Koruyucu örtü parametresi (P) 111
4.5.3. İnfiltrasyon şartları parametresi (I) 111
4.5.6. Karst ağının gelişimi parametresi (K) 111
4.6. YAS Kirlilik Hassasiyeti Sonuçlarının Değerlendirilmesi 117
4.7. Kirletici Unsur Analizi 117
4.7.1. Tarımsal alanlardaki kirlilik etkisine yönelik senaryolar 132
4.8. Risk Analizi 135
4.8.1. PI metodu ile risk haritasının elde edilmesi 135
4.8.2. COP metodu ile risk haritasının elde edilmesi 135

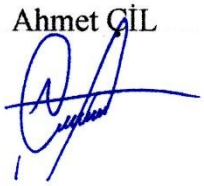
4.8.3. DRASTIC metodu ile risk haritasının elde edilmesi 135
4.8.4. DRASTIC-Pestisit metodu ile risk haritasının elde edilmesi 135
4.8.5. SINTACS metodu ile risk haritasının elde edilmesi 135
4.8.6. Tarımsal alanlardaki kirlilik etkisine yönelik senaryolar 144
4.9. İzleme Çalışmasında Saha Ölçümleri ile Elde Edilen Sonuçlar 159
4.10. Saha Ölçümleri ile Risk Haritalarının Karşılaştırılması 176
5. SONUÇLAR 183
6. KAYNAKLAR 187
7. EKLER 195
ÖZGEÇMİŞ

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum "Tarımsal Karstik Bölgeler İçin Yeraltısuyu Kirlilik Riski Değerlendirmesi: Antalya-Altınova Bölgesi Uygulaması" adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak bulunduğunu belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

20/10/2017

Ahmet GİL



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

cfu	Colony forming unit (Koloni oluşturan birim)
cm	Santimetre
°C	Santigrat derece
km	Kilometre
km^2	Kilometrekare
km^3	Kilometreküp
L	Litre
m	Metre
m^3	Metreküp
mg	Miligram
mm	Milimetre
mm	Milimetre
%	Yüzde
‰	Binde
<	Küçüktür
≤	Küçük veya eşittir
>	Büyüktür
≥	Büyük veya eşittir
µS	Mikrosiemens
µg	Mikrogram

Kısaltmalar

AB	Avrupa Birliği
BAP	Bilimsel Araştırma Projesi
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
ÇO	Çözünmüş Oksijen
DEM	Digital Elevation Model (Sayısal Yükseklik Modeli)
DSİ	Devlet Su İşleri
EPA	Environmental Protection Agency (Çevre Koruma Ajansı)
GC-MS	Gaz Kromatografisi-Kütle Spektrometresi
LOD	Limit of Detection (Dedeksiyon Sınırı)
MTA	Maden Tetkik Arama
N	Azot
NHB	Nitrata Hassas Bölge
NH_4-N	Amonyum Azotu
NRC	National Research Council (Ulusal Araştırma Konseyi)
NO_3-N	Nitrat Azotu
NTU	Nephelometric Turbidity Unit (Nefelometrik Bulanıklık Birimi)
PAH	Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar
TÇM	Toplam Çözünmüş Madde
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu

USGS	United States Geological Survey (Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırma Kurumu)
YAS	Yeraltı suyu

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Genel ve özel hassasiyet (Türkay 2015) 7

Şekil 2.2. Kirletici haritalarının oluşturulması iş planı (Zwahlen vd. 2004) 10

Şekil 2.3. Risk haritalarının unsurları (Zwahlen vd. 2004) 12

Şekil 3.1. Antalya-Altınova'da seçilen pilot çalışma sahasının lokasyonu 17

Şekil 3.2. Çalışma alanına ait bir görüntü 18

Şekil 3.3. Çalışma alanındaki jeolojik formasyon ve izleme noktalarının lokasyonları 19

Şekil 3.4. YAS'a olan derinliklerin ölçülmesi (04.12.2015) 22

Şekil 3.5. YAS'a olan ortalama derinlik değerleri 22

Şekil 3.6. YAS'a olan derinlik parametresinin derecelendirme katsayısı (Civita 2010) 31

Şekil 3.7. Efektif infiltrasyon parametresi için derecelendirme katsayısı (Civita 2010) 32

Şekil 3.8. Doymamış bölge özelliği parametresi için derecelendirme katsayıları (Civita 2010) 33

Şekil 3.9. Toprak özelliği ve derecelendirme katsayıları (Civita 2010) 33

Şekil 3.10. Akifer özelliği parametresi için derecelendirme katsayısı (Civita 2010) 34

Şekil 3.11. Hidrolik iletkenlik parametresi derecelendirme katsayısı (Civita 2010) 34

Şekil 3.12. Yüzey eğimi parametresi için derecelendirme katsayıları (Civita 2010) 35

Şekil 3.13. Kirletici Unsur Haritalaması için poligon ve çizgi semboller (COST 620 Final Raporu 2003) 62

Şekil 3.14. Kirletici Unsur Haritalaması için nokta semboller-1 (COST 620 Final Raporu 2003) 63

Şekil 3.15. Kirletici Unsur Haritalaması için nokta semboller-2 (COST 620 Final Raporu 2003) 64

Şekil 3.16. YAS kirliliğine karşı hassasiyet ve kirletici unsur değerlendirmelerinin bileşik etkileşimini içeren YAS risk değerlendirmesi yaklaşımı (Hötzl vd. 2003) 66

Şekil 4.1. YAS'a olan derinlik ve derecelendirme katsayılarının mekânsal dağılımı 75

Şekil 4.2. Net beslenim parametresinin mekânsal dağılımı 76

Şekil 4.3. Akifer ortamı özelliği parametresinin mekânsal dağılımı 78

Şekil 4.4. Toprak özelliği parametresinin mekânsal dağılımı 79

Şekil 4.5. Çalıma alanınn sayısal yükseklik modeli 81

Şekil 4.6. Çalışma alanı ve çevresindeki yüzey eğiminin mekânsal dağılımı 82

Şekil 4.7. İzleme yapılan ve numune alınan kuyu alanlarındaki eğim 83

Şekil 4.8. Vadoz zon özelliği parametresinin mekânsal dağılımı 85

Şekil 4.9. Hidrolik iletkenlik parametresinin mekânsal dağılımı 86

Şekil 4.10. Çalışma sahası için DRASTIC-Genel hassasiyet haritası 87

Şekil 4.11. DRASTIC-Pestisit hassasiyet haritası 88

Şekil 4.12. YAS'a olan derinlik ve derecelendirme katsayılarının mekânsal dağılımı 90

Şekil 4.13. Efektif infiltrasyon parametresinin mekânsal dağılımı 91

Şekil 4.14. Doymamış bölgenin özelliği parametresi için mekânsal dağılım 92

Şekil 4.15. Toprak ortamının özelliği parametresi için mekânsal dağılım 93

Şekil 4.16. Akifer özelliği parametresinin mekânsal dağılımı 95

Şekil 4.17. Hidrolik iletkenlik parametresinin mekânsal dağılımı 96

Şekil 4.18. SINTACS hassasiyet sınıfları ve standart renkleri 97

Şekil 4.19. SINTACS metodu ile Senaryo-1 için elde edilen hassasiyet haritası 98

Şekil 4.20. SINTACS metodu ile Senaryo-2 için elde edilen hassasiyet haritası 99

Şekil 4.21. Örtüleyen tabakaları temsil eden O haritası 101

Şekil 4.22. Akım yoğunluğu faktörü için C haritası 103

Şekil 4.23. Yağış parametresini temsil eden P haritası 104

Şekil 4.24. COP hassasiyet haritası 105

Şekil 4.25. Koruyucu örtüyü temsil eden P faktörü haritası 107

Şekil 4.26. İnfiltrasyon koşullarını temsil eden I faktörü haritası 109

Şekil 4.27. PI hassasiyet haritası 110

Şekil 4.28. Epikarst gelişimini gösteren E parametresi haritası 112

Şekil 4.29. Koruyucu örtüyü temsil eden P parametresi haritası 113

Şekil 4.30. İnfiltrasyon şartlarını temsil eden I faktörü haritası 114

Şekil 4.31. Karst ağının gelişimini temsil eden K faktörü haritası 115

Şekil 4.32. EPIK hassasiyet haritası 116

Şekil 4.33. Altınova çalışma bölgesinde yer alan ahırların lokasyonları 119

Şekil 4.34. Altınova çalışma bölgesinde yer alan akaryakıt istasyonlarının lokasyonları 120

Şekil 4.35. Altınova çalışma bölgesinde yer alan endüstriyel alanların lokasyonları 121

Şekil 4.36. Altınova çalışma bölgesinde yer alan foseptiklerin lokasyonları 122

Şekil 4.37. Altınova çalışma bölgesinde yer alan hammadde ve kimyasal depoların lokasyonları 123

Şekil 4.38. Altınova çalışma bölgesinde yer alan kanalizasyon hattının bulunduğu lokasyonlar 124

Şekil 4.39. Altınova çalışma bölgesinde yer alan kanalizasyon olmayan kentsel alanların lokasyonları 125

Şekil 4.40. Altınova çalışma bölgesinde yer alan mezarlıkların lokasyonları 126

Şekil 4.41. Altınova çalışma bölgesinde yer alan seraların lokasyonları 127

Şekil 4.42. Altınova çalışma bölgesinde yer alan yeraltı akaryakıt tanklarının lokasyonları 128

Şekil 4.43. Altınova çalışma bölgesinde yer alan yolların lokasyonları 129

Şekil 4.44. Altınova çalışma bölgesi için sınıflandırılmamış kirletici unsur haritası 130

Şekil 4.45. Altınova çalışma bölgesi için sınıflandırılmış kirletici unsur haritası 131

Şekil 4.46. Altınova çalışma bölgesi için seralardan kaynaklı kirlilik etkisinin 2 kat artırılması durumunda elde edilen sınıflandırılmış kirletici unsur haritası (Senaryo-2) 134

Şekil 4.47. Altınova çalışma bölgesi için PI kirlilik hassasiyeti metodu ile elde edilen YAS kirlilik riski haritası 136

Şekil 4.48. Altınova çalışma bölgesi için COP kirlilik hassasiyeti metodu ile elde edilen YAS kirlilik riski haritası 137

Şekil 4.49. Altınova çalışma bölgesi için DRASTIC-Genel kirlilik hassasiyeti metodu ile elde edilen YAS kirlilik riski haritası 138

Şekil 4.50. Altınova çalışma bölgesi için DRASTIC-Pestisit kirlilik hassasiyeti metodu ile elde edilen YAS kirlilik riski haritası 139

Şekil 4.51. Altınova çalışma bölgesi için SINTACS (Senaryo-1) kirlilik hassasiyeti metodu ile elde edilen YAS kirlilik riski haritası 140

Şekil 4.52. Altınova çalışma bölgesi için SINTACS (Senaryo 2) kirlilik hassasiyeti metodu ile elde edilen YAS kirlilik riski haritası 141

Şekil 4.53. DRASTIC metodu ile elde edilen risk sınıfları yüzdeleri 142

Şekil 4.54. DRASTIC Pestisit metodu ile elde edilen risk sınıfları yüzdeleri 142

Şekil 4.55. SINTACS Senaryo-1 metodu ile elde edilen risk sınıfları yüzdeleri 143

Şekil 4.56. SINTACS Senaryo-2 metodu ile elde edilen risk sınıfları yüzdeleri 143

Şekil 4.57. COP metodu ile elde edilen risk sınıfları yüzdeleri 144

Şekil 4.58. PI metodu ile elde edilen risk sınıfları yüzdeleri 144

Şekil 4.59. Altınova çalışma bölgesi için DRASTIC kirlilik hassasiyeti metodu ile elde edilen YAS kirlilik riski haritası (Senaryo-1: Sera alanları için Kirletici İndeksi (HI) = 45) 146

Şekil 4.60. Altınova çalışma bölgesi için DRASTIC-Pestisit kirlilik hassasiyeti metodu ile elde edilen YAS kirlilik riski haritası (Senaryo-1: Sera alanları için Kirletici İndeksi (HI) = 45) 147

Şekil 4.61. Altınova çalışma bölgesi için COP kirlilik hassasiyeti metodu ile elde edilen YAS kirlilik riski haritası (Senaryo-1: Sera alanları için Kirletici İndeksi (HI) = 45) 148

Şekil 4.62. Altınova çalışma bölgesi için PI kirlilik hassasiyeti metodu ile elde edilen YAS kirlilik riski haritası (Senaryo-1: Sera alanları için Kirletici İndeksi (HI) = 45) 149

Şekil 4.63. Altınova çalışma bölgesi için SINTACS (Senaryo-1) hassasiyeti metodu ile elde edilen YAS kirlilik riski haritası (Senaryo-1: Sera alanları için Kirletici İndeksi (HI) = 45) 150

Şekil 4.64. Altınova çalışma bölgesi için SINTACS (Senaryo-2) hassasiyeti metodu ile elde edilen YAS kirlilik riski haritası (Senaryo-2: Sera alanları için Kirletici İndeksi (HI) = 45) 151

Şekil 4.65. Altınova çalışma bölgesi için DRASTIC kirlilik hassasiyeti metodu ile elde edilen YAS kirlilik riski haritası (Senaryo-2: Sera alanları için Kirletici İndeksi (HI) = 60) 152

Şekil 4.66. Altınova çalışma bölgesi için DRASTIC-Pestisit kirlilik hassasiyeti metodu ile elde edilen YAS kirlilik riski haritası (Senaryo-2: Sera alanları için Kirletici İndeksi (HI) = 60) 153

Şekil 4.67. Altınova çalışma bölgesi için COP kirlilik hassasiyeti metodu ile elde edilen YAS kirlilik riski haritası (Senaryo-2: Sera alanları için Kirletici İndeksi (HI) = 60) 154

Şekil 4.68. Altınova çalışma bölgesi için PI kirlilik hassasiyeti metodu ile elde edilen YAS kirlilik riski haritası (Senaryo-2: Sera alanları için Kirletici İndeksi (HI) = 60) 155

Şekil 4.69. Altınova çalışma bölgesi için SINTACS (Senaryo-1) hassasiyeti metodu ile elde edilen YAS kirlilik riski haritası (Senaryo-2: Sera alanları için Kirletici İndeksi (HI) = 60) 156

Şekil 4.70. Altınova çalışma bölgesi için SINTACS (Senaryo-1) hassasiyeti metodu ile elde edilen YAS kirlilik riski haritası (Senaryo-2: Sera alanları için Kirletici İndeksi (HI) = 60) 157

Şekil 4.71. Koliform bakteri değerlerinin mekânsal dağılım haritaları 177

Şekil 4.72. Nitrat konsantrasyonları, tuzluluk ve spesifik iletkenlik değerlerinin yıllık ortalama mekânsal dağılım haritaları 178

Şekil 4.73. PI kirlilik hassasiyeti metodu ile elde edilen risk haritası a) HI=30, b) HI=45, c) HI=60 179

Şekil 4.74. COP kirlilik hassasiyeti metodu ile elde edilen risk haritası a) HI=30, b) HI=45, c) HI=60 180

Şekil 7.1. Dört izleme çalışmasında sahada ölçülen sıcaklık değerleri 207

Şekil 7.2. Dört izleme çalışmasında sahada ölçülen toplam çözünmüş madde (TÇM) değerleri 208

Şekil 7.3. Dört izleme çalışmasında sahada ölçülen pH değerleri 209

Şekil 7.4. Dört izleme çalışmasında sahada ölçülen çözünmüş oksijen değerleri 210

Şekil 7.5. Dört izleme çalışmasında sahada ölçülen spesifik iletkenlik değerleri 211

Şekil 7.6. Dört izleme çalışmasında sahada ölçülen tuzluluk değerleri 212

Şekil 7.7. Dört izleme çalışmasında sahada ölçülen bulanıklık değerleri 213

Şekil 7.8. Dört izleme çalışmasında laboratuvarda analiz edilen nitrat değerleri 214

Şekil 7.9. Üç izleme çalışmasında sahada ölçülen YAS'a olan derinlik değerleri 215

Şekil 7.10. Dört izleme çalışmasında ölçülen sıcaklık değerlerinin mekânsal dağılımı 216

Şekil 7.11. Dört izleme çalışmasında ölçülen pH değerlerinin mekânsal dağılımı 217

Şekil 7.12. Dört izleme çalışmasında ölçülen spesifik iletkenlik değerlerinin mekânsal dağılımı 218

Şekil 7.13. Dört izleme çalışmasında ölçülen tuzluluk değerlerinin mekânsal dağılımı 219

Şekil 7.14. Dört izleme çalışmasında ölçülen TÇM değerlerinin mekânsal dağılımı 220

Şekil 7.15. Dört izleme çalışmasında ölçülen çözünmüş oksijen değerlerinin mekânsal dağılımı 221

Şekil 7.16. Dört izleme çalışmasında ölçülen bulanıklık değerlerinin mekânsal dağılımı 222

Şekil 7.17. Dört izleme çalışmasında ölçülen nitrat değerlerinin mekânsal dağılımı 223

Şekil 7.18. Üç izleme çalışmasında ölçülen YAS'a olan derinlik değerlerinin mekânsal dağılımı 224

Şekil 7.19. YAS seviyesinin mekânsal dağılımı 225

Şekil 7.20. İki izleme çalışmasına ait koliform bakteri değerlerinin mekânsal dağılımı 226

Şekil 7.21. İki izleme çalışmasına ait Escherichia coli değerlerinin mekânsal dağılımı 226

Şekil 7.22. İki izleme çalışmasına ait demir konsantrasyolarının mekânsal dağılımı 227

Şekil 7.23. İki izleme çalışmasına ait mangan konsantrasyonlarının mekânsal dağılımı 227

Şekil 7.24. İki izleme çalışmasına ait arsenik konsantrasyonlarının mekânsal dağılımı 228

Şekil 7.25. Kuyularda ölçülen aldrin değerleri 228

Şekil 7.26. Kuyularda ölçülen captan değerleri 229

Şekil 7.27. Kuyularda ölçülen endrin aldehyde değerleri 229

Şekil 7.28. Kuyularda ölçülen endrin aldehyde değerleri 230

Şekil 7.29. Kuyularda ölçülen dicofol değerleri 230

Şekil 7.30. Kuyularda ölçülen endrin ketone değerleri 231

Şekil 7.31. Kuyularda ölçülen dieldrin değerleri 231

Şekil 7.32. Kuyularda ölçülen lindane değerleri 232

Şekil 7.33. Kuyularda ölçülen endosulfan I değerleri 232

Şekil 7.34. Kuyularda ölçülen endosulfan II değerleri 233

Şekil 7.35. Kuyularda ölçülen heptacholor değerleri 233

Şekil 7.36. Kuyularda ölçülen nitrobenzene değerleri 234

Şekil 7.37. Kuyularda ölçülen 4,4'-DDE değerleri 234

Şekil 7.38. Kuyularda ölçülen Diallete I değerleri 235

Şekil 7.39. Kuyularda ölçülen Endrin değerleri 235

Şekil 7.40. Antalya Havzası İçin NBH'ler 236

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Dünyadaki toplam su miktarları ve yüzdelerinin dağılımı (ANONİM 1)....3

Çizelge 2.2. Ülkelere göre çekilen tatlısu miktarları ve sektörel kullanımı (Muluk vd. 2013) 4

Çizelge 2.3. Türkiye'deki su kaynakları potansiyeli (ANONİM 2) 5

Çizelge 2.4. YAS kirliliğine karşı hassasiyet değerlendirmesinde kullanılan yöntemler ve parametreleri (Polemio vd. 2009) 9

Çizelge 3.1. Saha ölçümlerinde kullanılan cihazlar ve ölçüm hassasiyetleri 16

Çizelge 3.2. Özel laboratuvarda yapılan toprak analizlerinde uygulanan yöntemler....17

Çizelge 3.3. Çalışma sahasını temsil eden meteoroloji istasyonlarından temin edilen bazı meteorolojik verilere ait ortalama değerler 21

Çizelge.3.4. DRASTIC-Genel metodunda yer alan parametrelerin ağırlık katsayıları (Aller vd. 1987) 23

Çizelge 3.5. YAS'a olan derinlik ve derecelendirme katsayıları (Aller vd. 1987)....24

Çizelge 3.6. Net beslenim miktarı ve derecelendirme katsayıları (Aller vd. 1987)....25

Çizelge 3.7. Akifer ortamı ve derecelendirme katsayıları (Aller vd. 1987) 26

Çizelge 3.8. Toprak ortamının özellikleri ve derecelendirme katsayıları (Aller vd. 1987) 26

Çizelge 3.9. Topografya parametresi için derecelendirme katsayıları (Aller vd. 1987) 27

Çizelge 3.10. Vadoz zon özelliği parametresi ve derecelendirme katsayıları (Aller vd. 1987)....28

Çizelge 3.11. Hidrolik iletkenlik parametresi için derecelendirme katsayıları (Aller vd. 1987)....28

Çizelge 3.12. DRASTIC-Genel ve DRASTIC-Pestisit ağırlık katsayıları (Aller vd. 1987)....29

Çizelge 3.13. SINTACS metodunda kullanılan ağırlık katsayıları (Civita, 2010) 29

Çizelge 3.14. Toprak bünyesi (COST 620 Final Raporu 2003) 36

Çizelge 3.15. Toprak bünyesinin OS değerine dönüşümü.....36

Çizelge 3.16. Litolojik birimler ve karşılık gelen değerleri (COST 620 Final Raporu 2003) 37

Çizelge 3.17. Tabaka indeksi (COST 620 Final Raporu 2003).....37

Çizelge 3.18. Akiferin basınç durumu (COST 620 Final Raporu 2003) 38

Çizelge 3.19. O faktörü ve karşılık gelen koruma değerleri (COST 620 Final Raporu 2003) 38

Çizelge 3.20. dh parametresinin aralıkları ve karşılık gelen değerler (COST 620 Final Raporu 2003) 39

Çizelge 3.21. ds parametresinin aralıkları ve karşılık gelen değerler (COST 620 Final Raporu 2003) 40

Çizelge 3.22. sv parametresi ve değerleri (COST 620 Final Raporu 2003).....40

Çizelge 3.23. Yüzey özellikleri (sf) (Vias vd. 2006).....41

Çizelge 3.24. Eğim ve bitki örtüsü (sv) (Vias vd. 2006) 41

Çizelge 3.25. C faktörü (Vias vd. 2006).....42

Çizelge 3.26. Yağış miktarına karşılık gelen değerler (COST 620 Final Raporu 2003).....42

Çizelge 3.27. Yağış yoğunluğu ve karşılık gelen değerler (COST 620 Final Raporu 2003) 43

Çizelge 3.28. P faktörü (COST 620 Final Raporu 2003).....43

Çizelge 3.29. COP indeksi hassasiyet sınıfları (COST 620 Final Raporu 2003) 44

Çizelge 3.30. Üst Toprak (T) parametresinin belirlenmesi (Goldscheider vd. 2000) 45

Çizelge 3.31. Alt toprak (S) parametresinin belirlenmesi (Goldscheider vd. 2000).....46

Çizelge 3.32. Beslenim (R) parametresinin belirlenmesi (Goldscheider vd. 2000) 46

Çizelge 3.33. Litoloji (L) parametresinin belirlenmesi (Goldscheider vd. 2000).....47

Çizelge 3.34. Çatlaklık (F) parametresinin belirlenmesi (Goldscheider vd. 2000) 47

Çizelge 3.35. Koruyucu örtü ve P faktörü (Goldscheider vd. 2000) 47

Çizelge 3.36. Toprak katmanının özelliklerinin belirlenmesi (Goldscheider vd. 2000) 48

Çizelge 3.37. I᾽ faktörünün belirlenmesi (Goldscheider vd. 2000) 49

Çizelge 3.38. I parametresinin belirlenmesi (Goldscheider vd. 2000) 49

Çizelge 3.39. EPIK yönteminde kullanılan ağırlık katsayıları (Doerfliger vd. 1999) 50

Çizelge 3.40. EPIK yönteminde belirlenmiş hassasiyet sınıfları (Doerfliger ve Zwahlen 1998) 51

Çizelge 3.41. Epikarst parametresinden kullanılan derecelendirme katsayıları (Doerfliger ve Zwahlen 1998)..... 51

Çizelge 3.42. Koruyucu örtü parametresi ve derecelendirme katsayıları (Doerfliger vd. 1999) 52

Çizelge 3.43. İnfiltrasyon şartları parametresinde kullanılan derecelendirme katsayıları (Doerfliger vd. 1999)..... 53

Çizelge 3.44. Karst ağının gelişimi parametresi ve derecelendirme katsayıları (Doerfliger vd. 1999) 53

Çizelge 3.45. YAS'ın korunması amacıyla kirletici unsurların sınıflandırılması (COST 620 Final Raporu 2003)..... 55

Çizelge 3.46. Kirletici unsur ağırlık değerleri (COST 620 Final Raporu 2003)..... 56

Çizelge 3.47. Kirletici indeksi ve kirletici sınıfları (COST 620 Final Raporu 2003) 62

Çizelge 3.48. PI metodu için risk seviyesinin sınıflandırılması..... 67

Çizelge 3.49. COP metodu için risk seviyesinin sınıflandırılması 68

Çizelge 3.50. DRASTIC-Genel metodu için risk seviyesinin sınıflandırılması 69

Çizelge 3.51. DRASTIC-Pestisit metodu için risk seviyesinin sınıflandırılması 70

Çizelge 3.52. SINTACS metodu için risk seviyesinin sınıflandırılması 71

Çizelge 4.1. Üç arazi çalışmasında ölçülen YAS derinlik değerleri..... 74

Çizelge 4.2. Hesaplanan ortalama eğimler ve derecelendirme katsayıları 80

Çizelge 4.3. Hesaplanan ortalama eğimler ve derecelendirme katsayıları 94

Çizelge 4.4. Altınova uygulama sahası için belirlenen kirleticilerin kirletici unsur değerlendirmesinde kullanılan faktör değerleri..... 118

Çizelge 4.5. Altınova uygulama sahasında yer alan seralar için farklı kirletici unsur tanımlamalarını içeren senaryolar 132

Çizelge 4.6. Dört izleme çalışmasından elde edilen saha ölçümlerine ilişkin istatistiksel değerlendirme (Min: Minimum değer, maks: Maksimum değer, ort: ortalama değer, S.S: standart sapma) 160

Çizelge 4.7. Birinci izleme çalışmasından elde edilen sonuçlar için korelasyon matrisi (P<0,05) 165

Çizelge 4.8. İkinci izleme çalışmasından elde edilen sonuçlar için korelasyon matrisi (P<0,05) 166

Çizelge 4.9. Üçüncü izleme çalışmasından elde edilen sonuçlar için korelasyon matrisi (P<0,05) 167

Çizelge 4.10. Dördüncü izleme çalışmasından elde edilen sonuçlar için korelasyon matrisi (P<0,05) 168

Çizelge 4.11. 18-19 Kasım 2015 tarihli izleme çalışması için tüm izleme noktalarına ilişkin bazı su kalitesi analiz sonuçlarının istatistiksel değerlendirmesi 169

Çizelge 4.12. Analiz edilen bazı pestisitler için tüm kuyulardan elde edilen en yüksek konsantasyon değerleri 171

Çizelge 4.13. 10-11 Mayıs 2016 tarihli izleme çalışması için tüm izleme noktalarına ilişkin bazı su kalitesi analiz sonuçlarının istatistiksel değerlendirmesi 172

Çizelge 4.14. 18-19 Kasım 2015 tarihli izleme çalışmasında 25 izleme noktasından alınan toprak numunelerinin analiz sonuçlarına ilişkin istatistiksel değerlendirme 174

Çizelge 4.15. 18-19 Kasım 2015 tarihli toprak analizi sonuçları için elde edilen korelasyon matrisi (P<0,05) 174

Çizelge 4.16. 10-11 Mayıs 2016 tarihli izleme çalışmasında 25 izleme noktasından alınan toprak numunelerinin analiz sonuçlarına ilişkin istatistiksel değerlendirme 175

Çizelge 4.17. 10-11 Mayıs 2016 tarihli toprak analizi sonuçları için elde edilen korelasyon matrisi (P<0,05) 176

Çizelge 7.1. Birinci izleme çalışmasına ait saha ölçüm sonuçları (6-7 Ağustos 2015) 195

Çizelge 7.2. İkinci izleme çalışmasına ait saha ölçüm sonuçları (18-19 Kasım 2015) 196

Çizelge 7.3. Üçüncü izleme çalışmasına ait saha ölçüm sonuçları (9-10 Şubat 2016) 197

Çizelge 7.4. Dördüncü izleme çalışmasına ait saha ölçüm sonuçları (10-11 Mayıs 2016) 198

Çizelge 7.5. 18-19 Kasım 2015 tarihine ait su kalitesi analiz sonuçları (Mikrobiyolojik Analizler) 199

Çizelge 7.6. 18-19 Kasım 2015 tarihine ait su kalitesi analiz sonuçları (Fiziksel-Kimyasal Analizler) 200

Çizelge 7.7. 18-19 Kasım 2015 tarihine ait su kalitesi analiz sonuçları (Kimyasal Analizler) 201

Çizelge 7.8. 18-19 Kasım 2015 tarihine ait toprak analizi sonuçları 203

Çizelge 7.9. 10-11 Mayıs 2016 tarihine ait toprak analizi sonuçları 205

Çizelge 7.10. DRASTIC-Genel yönteminin hesaplanması için kullanılan değerler 237

Çizelge 7.11. DRASTIC-Pestisit yönteminin hesaplanması için kullanılan değerler 238

Çizelge 7.12. SINTACS yönteminde Senaryo-1 için kullanılan değerler 239

Çizelge 7.13. SINTACS yönteminde Senaryo-2 için kullanılan değerler 240

Çizelge 7.14. Çalışma alanı için hesaplanan COP metodu parametreleri ve COP indeksi 241

Çizelge 7.15. Çalışma alanı için P faktörünün hesaplanması 242

Çizelge 7.16. I faktörünün hesaplanması 243

Çizelge 7.17. EPIK metodunda kullanılan parametreler ve hassasiyet değerinin hesaplanması 244

1. GİRİŞ

Karstik akiferler, karbonatlı kayaçların çözünmesi sonucunda oluşurlar ve dünya genelinde önemli içme ve sulama suyu kaynaklarını oluştururlar. Karstik akiferler, akiferi oluşturan litolojinin hemen her yerinden beslenmekle birlikte noktasal beslenim (düdenler) nedeni ile kirliliğe karşı hassaslaşmaktadır. Karbonatlı kayaçlarda YAS dolaşımı ve depolanması kayacın gözeneklerinde, kırık-çatlaklar boyunca ve farklı oranlarda gelişmiş çözünme kanallarında gerçekleşmektedir. Çözünme kanalları YAS'ı kısa sürede hızla boşalım noktalarına (kaynak) ulaştırmaktadır. Bu akım dinamiği karst akiferinde hem çok hızlı, hem de çok yavaş akım bileşenlerinin bulunması anlamına gelmektedir. Bu karmaşık akım dinamiği nedeni ile karstik akiferler içinde kirleticiler çok hızlı taşınabildiği gibi çok uzun süre depolanabilmektedir. Dolayısıyla karstik akiferlerdeki YAS'ın kirliliğe karşı hassasiyeti artmaktadır. Karstik YAS kaynakları kirlendiğinde, temizlenmesi uzun zaman, emek ve maliyet gerektirdiğinden, entegre yönetim politikalarının geliştirilmesi ve kirliliğe karşı korunması özel önem taşır. Sürekli artan YAS ihtiyacına karşılık farklı faaliyetlerden (tarım, kentsel, endüstri vb.) kaynaklanan çeşitli kirleticilerin kontrolsüz olarak bertaraf edilmesi, YAS kalitesinin yönetimini ve korunmasını güçleştirmektedir. Karstik akiferlerin kirlilik riskinin değerlendirilmesi için akiferin akım dinamiği belirlendikten sonra bölgedeki temel kirlilik kaynaklarına göre önleyici tedbirlerin alınması gerekmektedir. Tarımsal faaliyetler, olumsuz çevresel etkilere sebep olan ve karstik YAS'ı kirleten en etkili ve yaygın kirletici kaynaktır. Gübre ve pestisitlerin yoğun kullanımı, yüksek verimle kaliteli ürün yetiştirilmesini sağlarken özellikle YAS kalitesini olumsuz etkilemektedir.

Bu tezin amacı, yoğun tarımsal faaliyetlerin sürdürüldüğü karstik bölgelerdeki YAS kalitesinin korunması için YAS risk değerlendirmesini uygulamaktır. YAS risk değerlendirmesi çalışması kapsamında YAS'ın kirliliğe karşı gerçek hassasiyeti ve kirletici unsur değerlendirmesi dikkate alınmaktadır. Çalışmanın örnek uygulama sahası olarak seçilen Antalya-Altınova bölgesinde belirtilen yaklaşımın uygulanması amaçlanmıştır. YAS kirlilik riski haritaları CBS kullanılarak elde edilmiştir. YAS kirliliğinin yönetimi açısından tarımda kullanılan gübre ve pestisitler önem taşımaktadır. Çalışma sahasında gerçekleştirilen su kalite ölçümleri, su ve toprak numunelerinin analiz edilmesi, saha incelemesi (kirletici unsurların belirlenmesi, bölge hidrojeolojisinin incelenmesi vb.) çalışmaları ile karstik tarımsal bölgelerdeki YAS kirliliği sorunlarının çözümü adına bütüncül bir çalışma gerçekleştirilmesi amaçlanmaktadır.

Karstik YAS, çalışmanın uygulama alanı olan Antalya-Altınova bölgesi için temel su kaynağıdır. Alanda yoğun tarımsal faaliyetler bulunmaktadır. Mevcut YAS kaynaklarının kalitesinin daha da kötüleşmesine izin vermeksizin, çalışma alanındaki YAS kaynaklarını korumak, faydalı kullanımlarını sürdürmek, bölgedeki çevresel, sosyal ve ekonomik refahı denge içinde tutabilmek için su, arazi ve insan faaliyetlerinin entegre

bir yaklaşımla yönetimi gereklidir. Çalışmanın kapsamı bu amacı yerine getirmek için tasarlanmıştır.

YAS risk değerlendirmesi ile potansiyel bir kirlenme olayına bağlı olarak belirli miktar ve konsantrasyondaki kirleticilerin YAS'a ulaşma riski belirlenmektedir. YAS risk değerlendirme çalışması, gerçek hassasiyet değerlendirmesine ve kirletici analizine dayanmaktadır. Bu çalışmada karstik bölgelerdeki YAS kaynaklarının korunması için gerçek hassasiyet haritalaması, kirletici ve risk haritalaması ve değerlendirmesini içeren bir yaklaşım uygulanmıştır. Hassasiyet analizinde PI, COP, EPIK, DRASTIC ve SINTACS yöntemleri uygulanmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır.

YAS risk değerlendirmesi çalışmasına ait sonuçlar ile Altınova bölgesindeki YAS'ın yönetimi için çeşitli senaryolar irdelenmiştir. Belirtilmiş yöntemlere ek olarak çalışma alanında YAS kalitesini belirlemek için seçilen 25 adet izleme noktasında bir yıl süre ile fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik parametreleri içeren su kalitesi ölçümleri, analizleri ve toprak analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen ölçüm ve analiz sonuçları, YAS kirlilik hassasiyeti ve risk değerlendirmesi çalışmalarını doğrulamak için kullanılmış ve YAS kalitesinin yönetimi açısından uygulama esaslarının belirlenmesine yönelik öneriler sunulmuştur. Tez kapsamındaki tüm çalışmalar 114Y696 nolu "Yeraltısuyu Risk Değerlendirmesi ve Pestisit Risk İndikatörleri Kullanılarak Tarımsal Karstik Bölgelerdeki Yeraltısuyu Kalitesinin Entegre Yönetimi" başlıklı TÜBİTAK projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir (Muhammetoglu vd. 2017).

2. KAYNAK TARAMASI

Su canlıların vazgeçilmez yapı taşıdır. İçme ve kullanmadan sulamaya, endüstriyel amaçlardan rekreasyonel amaçlara kadar hayatımızın her bölümünde kullanılmaktadır. Dünyadaki sürekli nüfus artışı ve buna bağlı olarak artan gereksinimleri karşılamak için gün geçtikçe daha fazla suya ihtiyaç duyulmaktadır. Günümüzde artan sera gazı emisyonlarının en büyük etkisi olan iklim değişikliğinin doğrudan etkilediği ana kaynaklardan biri sudur. Gelecekte su kaynakları üzerindeki baskıdan dolayı azalan su miktarı ve kalitesi toplumsal ve çevresel açıdan çok büyük baskılar oluşturacaktır. İklim değişikliğinden dolayı artan hava sıcaklıkları hidrojeolojik döngüyü etkileyecek, bunun sonucu olarak ta nehirlerdeki su miktarları ve akım rejimleri değişecek, bu da enerji üretimi ve yeraltı suyunun (YAS) geri beslenimini olumsuz etkileyecektir. Aynı zamanda artan hava sıcaklıkları yüzey buharlaşmasını arttırarak su kaynaklarında ve tarım alanlarında tuzlanmaya neden olacaktır. İklim değişikliğinin su kaynakları üzerindeki etkilerine bunun gibi birçok örnek verilebilir (Muluk vd. 2013).

Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırma Kurumuna (USGS) göre Dünya üzerinde yeraltı ve yüzey suyu olmak üzere toplamda 1.386.000.000 km3 su bulunmaktadır. Bu toplam suyun 10.633.453 km3'lük kısmını yeraltında, bataklıklarda, göl ve nehirlerde bulunan erişilebilir tatlı su oluşturmaktadır. Dünya üzerindeki toplam suyun miktar olarak dağılımı Çizelge 2.1' de gösterilmektedir (ANONİM 1).

Çizelge 2.1. Dünyadaki toplam su miktarları ve yüzdelerinin dağılımı (ANONİM 1).

Su Kaynağı	Su Hacmi (km^3)	Tatlı Su Yüzdesi	Toplam Su Yüzdesi
Okyanus, Deniz ve Körfezler	1.338.000.000	--	96,54
Buz Dağları, Buzullar ve Kalıcı Kar	24.064.000	68,7	1,74
Yeraltı suları	23.400.000	--	1,69
Tatlı	10.530.000	30,1	0,76
Tuzlu	12.870.000	--	0,93
Topraktaki Nem	16.500	0,05	0,001
Toprak Buzu ve Donmuş Toprak	300.000	0,86	0,022
Göller	176.400	--	0,013
Tatlı	91.000	0,26	0,007
Tuzlu	85.400	--	0,006
Atmosfer	12.900	0,04	0,001
Bataklıklar	11.570	0,03	0,0008
Nehirler	2.120	0,006	0,0002
Biyolojik Su	1.120	0,003	0,0001

Dünya üzerinde suyun kullanım alanları en çok kullanımdan en az kullanıma doğru beş ana başlık altında toplanırsa suyun en çok kullanıldığı alan olarak en başta gıda ve tarım sektörü gelmektedir. Bunu sırasıyla enerji, sanayi, yerleşim alanları (evsel kullanım ve içme suyu amaçlı kullanımlar) ve ekosistem su ihtiyaçları takip etmektedir.

Bu kullanım alanları ülkelerin ekonomik düzeyleri, teknolojik gelişmeler, ülkelerin refah düzeyleri, sosyal ve kültürel yapıları ve beslenme alışkanlıkları gibi birçok etmene göre değişiklik gösterebilir. Ancak ortalama olarak bakıldığında küresel su kaynaklarının %70'i tarım, %19'u sanayi, %11' i evsel kullanımlar için kullanılmaktadır. Çizelge 2.2'de ülkelere göre çekilen tatlı su miktarları ve sektörel dağılımları verilmiştir (Muluk vd. 2013).

Çizelge 2.2. Ülkelere göre çekilen tatlısu miktarları ve sektörel kullanımı (Muluk vd. 2013).

Ülke	Toplam Tatlısu Çekimi (km^3/yıl)	Kişi Başı Tatlısu Çekimi (m^3/kişi/yıl)	Evsel Kullanım (%)	Sanayi Kullanımı (%)	Tarımsal Kullanım (%)	2010 Nüfusu (milyon)
Angola	0,4	18	23	17	60	19
Mısır	68,3	809	8	6	86	84
Somali	3,3	352	0	0	99	9
Kanada	45,1	1.330	20	69	12	34
ABD	482,2	1.518	13	46	41	318
Brezilya	58,1	297	28	17	55	195
Çin	578,9	425	12	23	63	1.362
Hindistan	761,0	627	7	2	90	1.214
İsrail	2,0	268	36	6	58	7
Japonya	88,4	696	20	18	62	127
Türkiye	40,1	530	15	11	74	76
Fransa	33,2	529	16	74	10	63
Rusya	76,7	546	19	63	18	140
İngiltere	11,8	190	22	75	3	62
Avustralya	59,8	2.782	15	10	75	22

Dünyada ülkeler su varlıklarına göre su fakiri, suyu az ve su zengini olarak üç sınıfa ayrılmaktadır. Yılda kişi başına düşen kullanılabilir su miktarının 1.000 m^3'ten az olduğu ülkeler su fakiri, 2.000 m^3'ten az olan ülkeler suyu az, 8.000-10.000 m^3'ten daha fazla olan ülkeler ise su zengini sınıfına girmektedir. Türkiye'de kişi başına düşen yıllık kullanılabilir su miktarı 1.519 m^3 civarında olduğundan ülkemiz su azlığı yaşayan ülke sınıfına girmektedir. Ayrıca Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) değerlendirmelerinde 2030 yılında ülkemizin nüfusunun 100 milyon olacağı öngörülmektedir. Mevcut su kaynaklarımızın günümüzdeki haliyle korunması halinde 2030 yılında ülkemizde kişi başına düşen kullanılabilir su miktarının 1.120 m^3/yıl olacağı tahmin edilmektedir. Türkiye'deki su miktarlarına ait veriler Çizelge 2.3'te gösterilmektedir (ANONİM 2).

Çizelge 2.3. Türkiye'deki su kaynakları potansiyeli (ANONİM 2).

Su Kaynağı	Miktar
Yıllık ortalama yağış	643 mm/yıl
Yıllık yağış miktarı	501 milyar m^3
Buharlaşma	274 milyar m^3
Yer altına sızma	41 milyar m^3
Yüzey suyu	
Yıllık yüzey akışı	186 milyar m^3
Kullanılabilir yüzey suyu	98 milyar m^3
Yeraltı suyu	
Yıllık çekilebilir su miktarı	14 milyar m^3
Toplam kullanılabilir su (net)	112 milyar m^3
Gelişme Durumu	
DSİ Sulamalarında kullanılan	32 milyar m^3
İçme suyunda kullanılan	7 milyar m^3
Sanayide kullanılan	5 milyar m^3
Toplam kullanılan su	44 milyar m^3

İklim değişikliğinin Türkiye'de en şiddetli hissedileceği yerlerden birisi Akdeniz bölgesidir. 2030 yılı itibariyle ülkemizin iç ve batı bölgelerinde %40'dan fazla, güneydoğu ve doğuda ise %20-40 arasında su stresi yaşanacağı öngörülmektedir. Ülkemizde kullanılan suyun büyük bir miktarının tarımda kullanıldığı göze alındığında yakın gelecek için var olan su kaynaklarımızın miktar ve kalite olarak iyi bir şekilde korunması gerekmektedir (Muluk vd. 2013).

Dünyada ve ülkemizde suyun günümüzdeki ve gelecekteki miktarının yanı sıra suyun kalitesi de oldukça önemlidir. Herhangi bir amaçla kullanılan suyun kullanıldıktan sonra arıtımı ve deşarjı su kaynaklarının geleceği açısından önem arz etmektedir. Suyun kullanım amacına göre kullanımdan sonra oluşan atık sular ve bu suların arıtımı, deşarjı farklılıklar göstermektedir.

Ülkemizde kullanılan suyun çok büyük miktarı tarımsal sulamada kullanılmaktadır. Tarımsal sulama esnasında bitki büyümesine katkı sağlamak ve tarım ürünlerini zararlılara karşı korumak için sulama suyuna çeşitli yardımcı besin elementleri ve zararlılara karşı mücadele amacıyla bazı kimyasallar eklenebilmektedir. Suya eklenen bu katkı maddelerinin bitkiler tarafından kullanılmayan kısmı sulama suyu ile birlikte yeraltı sularına sızıp kirliliğe neden olabilmektedir.

Ülkemizde tarımda kullanılan suyun %81'i yüzeysel su kaynaklarından, geri kalan %19'u ise YAS kaynaklarından karşılanmaktadır (DSİ 2014). YAS yüzey sularına göre daha temiz ve genellikle kontamine olmamış sular olduğundan yüzey sularına uzak olan ve YAS kaynaklarınca zengin alanlarda tarımsal amaçlı sulama için YAS sıklıkla tercih edilmektedir. Ancak YAS'da plansız ve aşırı kullanım sonucunda miktar ve kalite olarak risk altındadır. Ülkemizde özellikle İç Anadolu Bölgesi'nde aşırı YAS kullanımı

ve düzensiz yağış rejiminden dolayı son yıllarda YAS seviyelerinde ciddi düşüşler gözlemlenmiştir. Bunun yanında yüzeyde gerçekleştirilen aşırı tarımsal faaliyetler ve gübre/pestisit kullanımından dolayı YAS'ın kalitesi de önemli miktarda azalmıştır. Bu durum tarımın büyük ölçüde bağlı olduğu Konya Ovası gibi alanlarda tarım için ciddi tehditler oluşturmaktadır (Muluk vd. 2013). İç bölgeler dışında denize yakın bölgelerde YAS'ın aşırı ve plansız kullanımından dolayı YAS seviyesi deniz seviyesinin altına düşebilir. Bu gibi durumlarda deniz suyundan akifere tuzlu su girişi olur ve YAS kullanılamaz hale gelir. Örnek olarak 2002 yılında Antalya Kumluca ilçesinde Muhammetoğlu vd. tarafından yapılan bir çalışmada Kumluca ilçesinde yeraltı sularının tarımsal amaçlar için aşırı kullanımı sonucu ilçenin temel su kaynağı olan akifer kirlenmiş ve kullanıma kapanmıştır (Muhammetoğlu vd. 2002).

Karst akiferler sıkça rastlanan akifer tiplerinden bir tanesidir. Dünya nüfusunun yaklaşık dörtte birlik bölümü birincil su kaynağı olarak karstik YAS'a bağımlıdır (Ford ve Williams 1989). Avusturya, Slovenya, Hırvatistan gibi bazı Avrupa ülkelerinde ise su ihtiyacının %50'si karstik YAS'tan karşılanmaktadır (Zwahlen 2004). Karstik olmayan akiferlere kıyasla karst akiferleri çatlaklı yapılarından dolayı yüksek geçirimliliğe sahiptir. Yağış, sulama vb. aktiviteler sonucu yüzeyde biriken su akiferdeki çatlak, yarık ve yeraltı su kanalları vasıtası ile herhangi bir süzülmeye uğramadan direkt olarak YAS'a karışabilmektedir. Bu da suda bulunan tüm kirleticilerin hızlı bir şekilde YAS'a geçmesine ve akiferin kontamine olmasına sebep olmaktadır (Özyurt 2008).

Karstlaşma, genellikle karbonatlı kayaçlarda kırık-çatlak ya da tabaka sınırları boyunca gelişen kimyasal çözünme sonucu oluşan sürekli gelişen ve değişen bir süreçtir. Karbonatlı kayaçtaki çözünme sonucunda milimetre boyutundan "mağara" olarak adlandırılabilen geniş boşluklara varan çözünme kanalları oluşmaktadır. Bu çözünme kanalları tercihli olarak YAS'ı hızla akiferin boşalım noktalarına (kaynak, akarsu ve deniz) ulaştırırlar. Karstik akiferler çoğunlukla çeşitli kullanımlar için su sağlayan kaynaklara boşalırlar. Bu akiferler alansal yüksek geçirimliliklerinden dolayı karstik olmayan yeraltı sistemlerine göre kirlenmeye karşı daha eğilimli olarak kabul edilirler. Bu nedenle, karst kaynakların sürdürülebilir kullanımı için uygun bir yöntemle kirliliğe karşı hassasiyet değerlendirmesi önemli bir çevresel ve hidrojeolojik görevdir (Özyurt 2008).

2.1. Hassasiyet Analizi

YAS hassasiyeti kavramını açıklamak için birçok tanım bulunmaktadır. Amerikan Ulusal Araştırma Konseyi (NRC)'ne göre, "Bir kirleticinin akiferin en üst seviyesindeki herhangi bir yerden girişinin ardından YAS sistemi içerisine belirli bir yere ulaşabilme olasılığı" YAS hassasiyeti olarak tanımlamıştır (NRC 1993). Vrba ve Zaporozec (1994) ise "Bir YAS sisteminin insan ve/veya doğal etkilere karşı gösterdiği içsel hassasiyet" şeklinde bir tanım yapmıştır. Her iki tanımda da ana fikir, fiziksel çevrenin sahip olduğu

özelliklere göre kirlenmeye karşı çeşitli derecelerde korunma özelliklerine sahip olmasıdır.

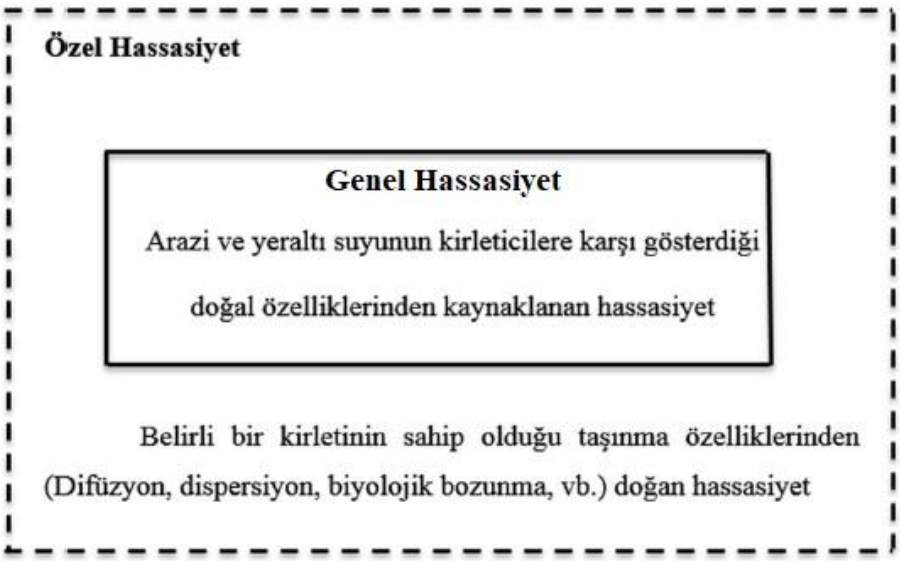
YAS hassasiyeti, kaynak-yol-alıcı ortam modeline benzerdir. Hassasiyet, modeldeki yol kısmını temsil etmektedir. Bu da kirleticinin kaynaktan çıkan bir kirleticinin alıcı ortama yani YAS'a ulaşmasının kolaylık ve zorluk derecesini göstermektir. (Türkay 2015).

YAS hassasiyeti kavramı, alanda ölçülebilen bir özellik değildir. Bazı bölgelerin diğerlerine kıyasla YAS kirlenmesine karşı hassasiyetinin daha yüksek olduğu esasına dayanan bir tahmindir. Kirleticilere karşı hassasiyetin derecesi, doğal ortam tarafından sağlanan korumanın bir fonksiyonu olarak düşünülebilir ve bölgelerin özelliklerine göre oldukça değişkendir (Gogu ve Dassargues 2000).

Kirlenme için kaynak-yol-alıcı ortam modeli düşünüldüğü zaman, kirlenme potansiyelini belirleyebilmek için kaynak özellikleri ve kirleticinin alıcıya kadar izlediği yol dikkate alınmalıdır. Bu değerlendirme özel (specific) hassasiyet veya gerçek (intrinsic) hassasiyet olarak iki şekilde yapılabilir.

Özel hassasiyet, belirli bir kirleticiye özgü taşınma özellikleri (Difüzyon, dispersiyon, biyolojik ayrışma, vb.) ve kirleticinin izlediği yolun bulunduğu ortamın doğal olarak sahip olduğu özelliklerin tamamını kapsar.

Genel hassasiyet, arazi ve YAS'ın yüzeyde oluşabilecek herhangi bir kirleticiye karşı gösterdiği doğal özelliklerinden kaynaklanan hassasiyet olarak tanımlanabilir (Vrba ve Zaporozec 1994) (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Genel ve özel hassasiyet (Türkay 2015).

YAS'ın kirlenme potansiyeli genellikle kirletici kaynak ve akifer arasında yer alan katmanlarda gerçekleşen doğal giderim prosesleri sonucu belirlenir. Toprakta, doymuş ve doymamış bölgede gerçekleşebilen fiziksel ve kimyasal birçok proses kirleticinin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin değişmesine sebep olabilir. Bu prosesler kirleticinin giderimine yardımcı olabilir ve kirliliğin derecesini etkileyebilir. Bu proseslerden özellikle toprakta ve doymamış bölgede gerçekleşenler, YAS kirletici konsantrasyonunu doymuş bölgede gerçekleşen proseslere göre daha çok etkileyebilir. Gerçek hassasiyet indeksinin hesaplandığı yöntemlerde, kirleticinin özelliklerinden bağımsız olarak akiferde var olan jeolojik ve hidrojeolojik özellikler değerlendirilir (Gogu ve Dassargues 2000).

YAS hassasiyetinin belirlenmesi için birkaç yaklaşım bulunmaktadır. Bunlar süreç bazlı yöntemler (PRZM, LEACH, HYDRUS, MODFLOW), istatistiksel yöntemler ve indeks ve bindirme yöntemleridir. Süreç bazlı yöntemler, çok detaylı ve çok kompleks bilgisayar simülasyonları, kompleks fiziksel ve kimyasal proseslerin detaylı ölçeklerde çözümlenmesiyle oluşturulur. Akım ve taşınım modelleri belirlenerek buna göre çözümleme yapılır. Çok karmaşık ve fazla veri gereksinimine ihtiyaç duyduklarından genellikle küçük alanlarda kullanılırlar ve günümüzde çok kullanılmamaktadırlar. İstatistiksel metotlarda, YAS kirliliğini belirlemek için belirlenen kirletici, çevresel koşullar, jeolojik özellikler arasında istatistiksel analizler yapılmaktadır. İndeks ve bindirme yöntemleri ile çok farklı değildir. Tek farkı indeks ve bindirme yöntemlerinde parametreler arası ilişkiler uzmanlar tarafından belirlenip buna göre katsayılar belirlenirken, istatistiksel yöntemlerde bu ilişkiler istatistiksel olarak belirlenmektedir. İndeks ve bindirme yöntemleri ise akiferin hassasiyetini etkileyen en ilgili faktörlere (toprak yapısı, jeolojik formasyon, beslenim) önem sırasına göre skorlar verilmesi ve interpolasyon yöntemleri ile ilgili her faktörün haritalarının çıkarılması ve üst üste bindirilmesi ile uygulanmaktadır. Çok daha büyük alanlarda kullanılır (Chitsazan ve Akhtari 2008).

İndeks ve bindirme yöntemlerinin herhangi bir alana etkili bir şekilde uygulanabilmesi için Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılmaktadır. Hassasiyet analizi yapılacak alanda belirlenen noktalarda kullanılan metoda göre gerekli veriler toplanır ve CBS ortamında veri tabanları oluşturulur. Bu veri tabanları kullanılarak elde edilen noktasal veriler interpolasyon yöntemleri kullanılarak alansal verilere dönüştürülür. Kullanılan metoda göre her parametrenin dağılım haritaları oluşturulur ve daha sonra bu haritalar CBS ortamında üst üste bindirilerek çalışma yapılan alan için hassasiyet haritaları oluşturulmuş olur.

YAS'ın kirliliğe karşı hassasiyetinin değerlendirilmesinde, karst sistemlerinin özellikleri, heterojen ve karmaşık yapıları (noktasal veya alansal beslenim, yüksek iletimliliğe sahip çözünme kanallarında hızlı akış, göreceli düşük iletimliliğe sahip kayaç gözeneklerinde yavaş akış, vb.) dikkate alınmalıdır (Doerfliger vd. 1999). Hassasiyet değerlendirmesi üzerine yapılan genel içerikli araştırmalar 1960'larda başlamıştır (Margat 1968). AB Su Çerçeve Direktifi ile uyumlu olarak "karstik akiferlerin korunması

için hassasiyet ve risk haritalaması" üzerine çalışan COST Action 620 grubu kurulmuştur (Zwahlen 2004). Bu çalışma grubunun hassasiyet, kirletici ve risk haritalandırması yaklaşımı kaynak nokta-yol-hedef sistematiğine dayanmakta olup genel, esnek ve kuralsız bir yaklaşım olarak tanımlanabilmektedir. YAS'ın kirleticilere karşı gerçek hassasiyeti bölgenin jeolojik, hidrolojik ve hidrojeolojik özelliklerini dikkate alır, fakat kirleticilerin yapısından bağımsızdır (Zwahlen 2003). YAS'ın kirliliğe karşı hassasiyetini belirlemek üzere pek çok yöntem geliştirilmiş ve uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Gerçek hassasiyet değerlendirmesi için GOD (Foster 1987), DRASTIC (Aller vd. 1987), SINTACS (Civita ve De Maio 1997), EPIK (Doerfliger ve Zwahlen 1997), PI (Goldscheider vd. 2000) ve COP (Vias vd. 2006) en çok uygulanan yöntemlerdir. GOD, DRASTIC ve SINTACS yöntemleri bütün akifer türlerinde yaygın olarak kullanılmış ve adapte edilmiştir. EPIK, PI ve COP yöntemleri ise daha çok karstik akiferler için tanımlanmıştır (Polemio vd. 2009). Dünya genelinde en çok bilinen ve uygulanan yöntemler ile kullanılan parametrelerin karşılaştırması Çizelge 2.4'te sunulmaktadır (Polemio vd. 2009).

Çizelge 2.4. YAS kirliliğine karşı hassasiyet değerlendirmesinde kullanılan yöntemler ve parametreleri (Polemio vd. 2009).

	Yöntem					
Parametreler	GOD	DRASTIC	SINTACS	PI	EPIK	COP
Topografik eğim		x	x	x	x	x
Hidrolik ağ			x	x		x
Toprak karakteristikleri		x	x	x	x	x
Net beslenim		x	x	x	x	x
Doygun olmayan bölgenin karakteristikleri	x	x	x	x	x	x
YAS'a olan derinlik	x	x	x	x		
Hidrojeolojik özellikler	x	x	x	x	x	
Akiferin hidrolik iletkenliği		x	x			
Akifer kalınlığı			x			
Arazi kullanımı			x	x	x	x

Tez kapsamında YAS kirliliğine karşı hassasiyetin belirlenmesi için DRASTIC, SINTACS, PI, EPIK ve COP yöntemleri uygulanmıştır. Kullanılan yöntemler ve bu yöntemlerin dayandığı parametrelere yönelik bilgiler materyal ve metot kısmında detaylı anlatılmıştır.

2.2. Kirletici Unsur Analizi

Zwahlen vd. (2004) tarafından COST Action 620 çalışmasında belirtildiği şekliyle çevresel kirletici "fark edildiğinde doğrudan veya dolaylı olarak çevresel kaliteye potansiyel zarar verebilen olaylar veya prosesler" şeklinde tanımlanmıştır. Bu tanıma göre kirleticinin bir risk oluşturabilmesi için değerli bir kaynağı etkilemesi

gerekmektedir. Bu durumda kirleticinin etkileyeceği değerli kaynak YAS olarak görülmektedir.

Hassasiyet analizleri yapılarak kirleticinin hedefe ulaşması süresince, toprak ve diğer alt katmanlar tarafından korunma potansiyeli değerlendirilmiş olur. Ancak tam anlamıyla mevcut durumdaki ve gelecekteki YAS risk analizinin yapılabilmesi, risk yönetiminin gerçekleştirilebilmesi için kirleticilerin de hesaba katılası gerekmektedir (Zwahlen vd. 2004).

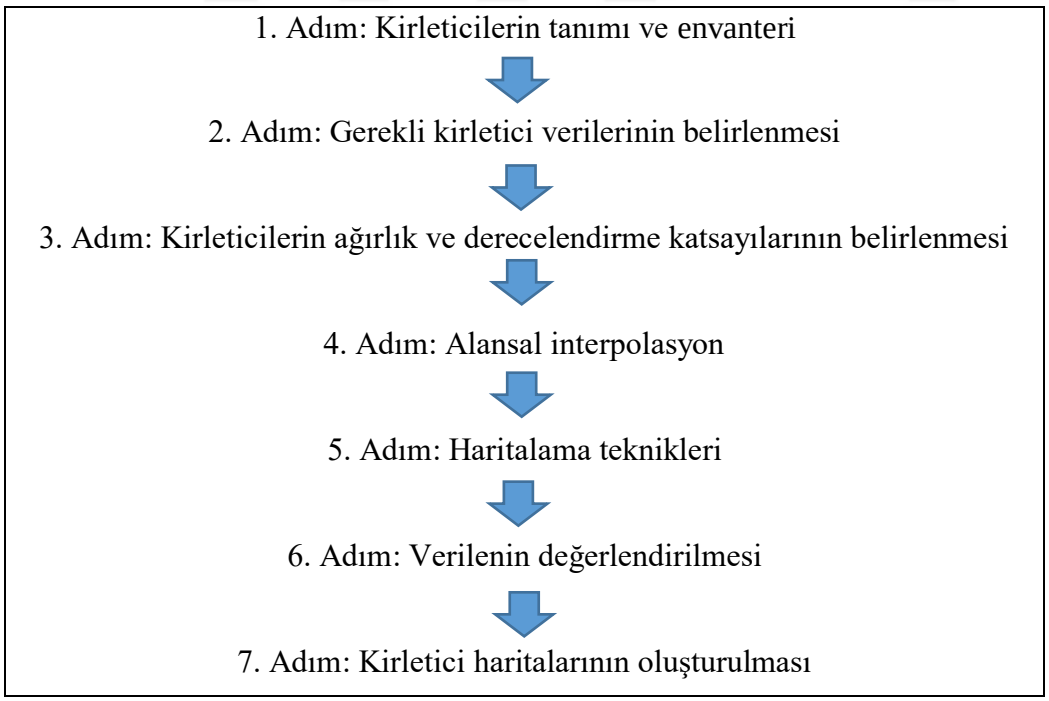
Risk değerlendirilmesi yapılırken aşağıdaki etenler mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır:

i. Potansiyel kirleticiler belirlenmeli ve haritalandırılmalıdır,

ii. Belirlenen kirleticilerin YAS'a olan potansiyel etkileri (kirletici konsantrasyonu, kirletici miktarı vb.) belirlenmelidir.

iii. Belirlenen kirleticilerin bulunduğu alanlardaki hidrojeolojik oluşumun yapısı ve özellikleri belirlenmelidir. Bu özellik kirleticinin hareketini ve konsantrasyonunu etkiler ve bunun belirlenmesi için hassasiyet yöntemlerine ihtiyaç vardır (Zwahlen vd. 2004).

Belirlenen bir alanda kirletici analizlerinin yapılabilmesi için genel olarak 7 adım izlenmelidir (Şekil 2.2) (Zwahlen vd. 2004).



Şekil 2.2. Kirletici haritalarının oluşturulması iş planı (Zwahlen vd. 2004).

Yukarıda belirtilen adımların dışında bazı verilere ulaşılamaması durumunda arazi çalışmaları gerçekleştirilip kirleticilerin yerinde belirlenmesi gerekebilir (Zwahlen vd. 2004). Belirlenen alanda gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda belirlenen kirleticiler CBS ortamına aktarılarak kirletici haritaları oluşturulur.

2.3. Risk Analizi

Genel olarak bakıldığında risk; belirli bir zaman aralığında tehlikeli bir maddenin belirli bir doz veya konsantrasyona maruz bırakılması durumunda bir veya birden fazla kişi, bitki, hayvan veya belirli bir ekolojik çevre için olumsuz sonuçlar doğurma ihtimali olarak tanımlanabilir. Bu kirleticiler yapay bir kimyasal bileşiklerden ağır metallere veya radyoaktif bileşenlere varıncaya kadar çevremizi kirleten her türlü madde olabilir. Bu tür kirleticilerin doğada bulunması, insan, çevre, ekoloji ve canlılar için bir risk teşkil etmektedir (Zwahlen vd. 2004).

YAS riski ise herhangi bir kirleticinin YAS'ı kirletme ihtimali olarak tanımlanabilir. YAS riski kesin bir ölçü olamamakla birlikte karşılaştırma amacıyla kullanılabilecek bir ölçüdür. Kaynak-yol-hedef modeline göre YAS kirlilik riski 3 adıma dayanmaktadır.

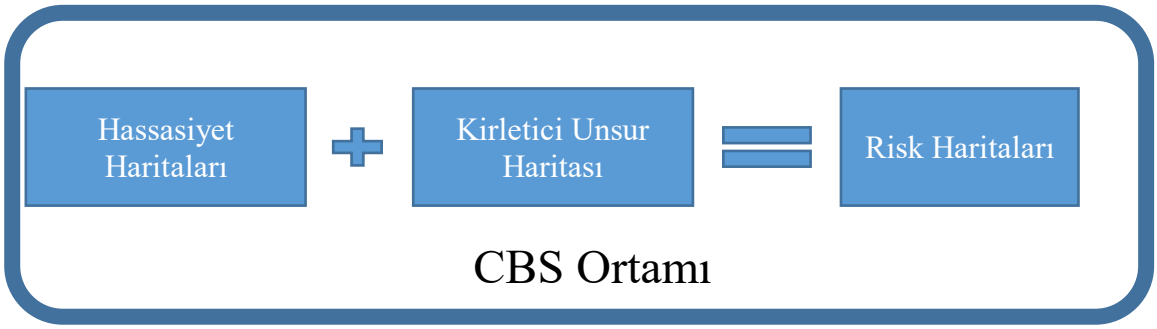
i. Potansiyel kirletici bir aktiviteden kaynaklanan kirlilik (kaynak),

ii. YAS'ın genel hassasiyeti (yol)

iii. Potansiyel YAS kirliliği (hedef=YAS)

Risk değerlendirmesi ise oluşabilecek herhangi bir kirleticinin YAS üzerindeki potansiyel etkilerinin tahmin edilmesi sürecidir. Risk değerlendirmesi, var olan veya potansiyel kirleticilerin (kaynak) belirlenmesi, kirleticinin YAS'a ulaşana kadar izlediği yolun ortak bir şekilde değerlendirilmesi ile yapılabilir. Risk değerlendirmesi yapıldıktan sonra elde edilen sonuçları uzmanlara, kara vericilere daha düzgün ve görsel bir şekilde aktarılabilmesi için haritalar hazırlanmalıdır. Bu haritaların hazırlanması için CBS tabanlı çeşitli bilgisayar programlarından faydalanılmalıdır (Zwahlen vd. 2004).

Elde edilen hassasiyet haritaları, sınıflandırılmış kirletici haritaları üst üste bindirme yapılarak çalışma alanı için risk değerlendirmesi yapılabilir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Risk haritalarının unsurları (Zwahlen vd. 2004).

2.4. Dünyada ve Ülkemizde Yapılan Çalışmalar

Zwahlen (2003) editörlüğünde hazırlanan bir raporda Almanya, İspanya ve Avusturya'dan gerçek ve spesifik hassasiyet, kirletici unsur ve risk değerlendirmesi çalışmaları sunulmuştur. COST Action 620 çalışmasında önerilen hassasiyet, kirletici unsur ve risk haritalaması yöntemi ilk olarak İspanya'nın güneyinde yer alan Sierra de Libar bölgesinde, COP yöntemi kullanılarak uygulanmıştır (Andreo vd. 2006). Daha sonra Slovenya (Ravbar ve Goldscheider 2007) ve Filistin'in Ramallah bölgesinde (Mimi ve Assi 2009) de hassasiyet, kirletici unsur ve risk haritalamasına yönelik çalışmalarda COP yöntemi kullanılmıştır. Değiştirilmiş COP yöntemi ise Güney Afrika'daki karstik alanların gerçek hassasiyet haritalarının oluşturulmasında kullanılmıştır (Leyland 2008). DRASTIC yöntemi sığ akiferlerde YAS kirlilik hassasiyetinin değerlendirmesinde sıklıkla kullanılmış olup literatürde Hindistan (Rahman 2008), Çin (Samake vd. 2011; Hailin vd. 2011), Tunus (Anane vd. 2013) ve Portekiz'de (Pacheco ve Fernandes 2013) gerçekleştirilmiş çalışmalar yer almıştır. YAS kirlilik riski konusu ile ilgili farklı çalışmalara örnek olarak Çin'in Beijing Ovası'nda (Wang vd. 2012), hibrit yöntemleri test etmek için Yunanistan'da (Antonakos ve Lambrakis 2007), YAS'ın nitrata karşı kirlilik hassasiyetinin doğrulanması için Çin'in Jilin şehrinde (Huan vd. 2012), tarımsal azot kirliliğinin risk değerlendirmesi için Macaristan'da (Leone vd. 2009), Pakistan'ın Lahore şehrinde YAS hassasiyetinin belirlenmesi için (Muhammad vd. 2014), Hindistan'ın Madhya Pradesh iline bağlı Jabalpur bölgesinde hassasiyetin belirlenmesi için (Gupta 2014), noktasal olmayan kirlilik kaynaklarının değerlendirilmesi için Türkiye'nin Mersin ilinde (Güler vd. 2013) yapılan çalışmalarda DRASTIC yöntemi kullanılmıştır.

İrlanda'da gerçekleştirilen bir çalışmada, dünya çapında kullanımı olan hassasiyet modelleme araçları incelenmiş, COP ve PI yöntemleri büyük ölçekli uygulamalar için en gelişmiş araçlar olarak tanıtılmıştır (Cummins 2012). CBS tabanlı COP yöntemi, İran'ın Gilan-e-Gharb bölgesindeki karstik akiferin kirlilik hassasiyetinin değerlendirilmesi ve haritalandırılması için kullanılmıştır (Masoompour vd. 2013). CBS tabanlı EPIK modeli Ürdün'ün Irbid kenti akiferlerinde kirlilik hassasiyetinin değerlendirilmesinde

kullanılırken (Awawdeh ve Nawafleh 2008) SINTACS modeli İtalya'nın kuzeyinde tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan YAS kirlilik riskinin değerlendirilmesi ve giriş parametreleri için hassasiyet analizinin gerçekleştirilmesi amacı ile kullanılmıştır (Zhao vd. 2013). GOD, DRASTIC, SINTACS, EPIK, PI ve COP modelleri İtalya'nın Apulia bölgesindeki bir karst akiferin gerçek kirlilik hassasiyetinin değerlendirilmesi için kullanılmış ve her modelin avantaj ve dezavantajları tartışılmıştır (Polemio vd. 2009). Çalışmada, EPIK, PI ve COP modellerinin karst akiferler için güvenilir sonuçlar ürettiği vurgulanmıştır. DRASTIC ve EPIK modelleri, Ürdün'ün Jerash bölgesindeki kaynak ve kuyularda YAS kalitesini geliştirmek için hassasiyet haritalarının hazırlanmasında kullanılmıştır (Hammouri ve Naqa 2008). Chenini vd. (2015) tarafından Tunus'un kuzeyindeki Grombalia akiferinde yapılan bir çalışmada YAS hassasiyetinin belirlenmesi için DRASTIC, modifiye DRASTIC ve DRIST metotları kullanılmış ve akiferin gerçek hassasiyet haritaları oluşturulmuştur. Azzi vd. tarafından 2012 yılında yapılan bir çalışmada Fas'ın yoğun tarım yapılan El-Hajeb-Ifrane bölgesinde YAS yapılan saha çalışmalarından elde edilen veriler doğrultusunda CBS kullanılarak bölgenin DRASTIC hassasiyet haritası oluşturulmuştur. Pisciota vd. (2015) tarafından İtalya'nın Sicilya bölgesinde zeytin, üzüm ve badem yetiştiriciliğinden kaynaklanan kirleticilerin YAS'a olan etkisini değerlendirmek için IPNOA, SINTACS ve DRASTIC metotları kullanılarak CBS ortamında hassasiyet haritaları oluşturulmuştur. Nepal'deki Katmandu Vadisi için YAS kirlilik hassasiyeti ve risk çalışmasında indeks bindirme yöntemleri kullanılmıştır (Shresta vd, 2017). Çin'de tarımsal bir alandaki YAS kaynaklarındaki nitrat kirliliği ve halk sağlığı riskleri konusundaki bir çalışma Zhai vd. (2017) tarafından gerçekleştirilmiştir. Saby vd. (2017) Kanada'daki akiferlerdeki pestisit, nitrat ve *E-coli* içerikli kirletici etkilerini bölgesel bazda incelemişlerdir. Levy vd. (2017) ait bir çalışmada da Alpler bölgesindeki karstik alanlarda yer alan sığ akiferlerdeki kalıcı organik kirleticiler irdelenmiştir. Yunanistan'ın Girit Adası için gerçekleştirilen bir çalışmada gübrelerin içme ve sulama amaçlı kullanılan YAS kaynakları üzerindeki etkileri araştırılmıştır (Kourgialas vd. 2017).

Türkiye'de gerçek hassasiyet haritalarının oluşturulması ile ilgili kısıtlı sayıda çalışma mevcuttur. Antalya'nın Kumluca Ovası'nda YAS'ın tarımsal yayılı kaynaklardan kirlenme hassasiyeti SEEPAGE modeli kullanılarak değerlendirilmiştir (Muhammetoğlu vd. 2002). DRASTIC modeli, Isparta Şarkikaraağaç Havzası (Varol ve Davraz 2010) ve Senirkent-Uluborlu Havzası'nda YAS kirlilik hassasiyetinin değerlendirilmesinde kullanılmıştır (Şener vd. 2009). Şener ve Davraz (2013) tarafından Isparta'nın Eğirdir Gölü Havzası'ndaki YAS kirlilik hassasiyetinin değerlendirilmesi için değiştirilmiş DRASTIC modeli kullanılmıştır. GOD modeli Simsek vd. (2008) tarafından Torbalı Nehir Havzası'nda yüzeysel akiferin kirlilik hassasiyet karakteristiklerinin belirlenmesi için kullanılmıştır. Özyurt (2008) Antalya Kırkgöz karst kaynaklarında kirlilik hassasiyetinin belirlenmesinde YAS ortalama geçiş süresi dağılımını bir araç olarak kullanmış ve yorumlamıştır. Yıldırım ve Topkaya (2007) Antalya'daki YAS kaynaklarının kirlilik hassasiyetini DRASTIC, SINTACS, PI ve COP modellerini

kullanarak değerlendirmiştir. Ersoy ve Gültekin (2013) tarafından Amasya Gümüşhacıköy ve Merzifon havzalarında, Nalbantçılar vd. (2009) tarafından Konya'da YAS hassasiyetini belirlemek için, DRASTIC metodu kullanılmış ve hassasiyet analizi yapılmıştır. Türkay (2015) tarafından 2015 yılında hazırlanan yüksek lisans tezi kapsamında yapılan çalışmada Köyceğiz-Dalyan havzalarındaki YAS kirlenme potansiyeli DRASTIC yöntemi kullanılarak belirlenmiş ve havzanın alansal olarak %24,4'ünün çok yüksek, %8,3'ünün ise yüksek yeraltı suyu hassasiyetine sahip olduğu tespit edilmiştir. Büyükdemirci (2012) tarafından yapılan başka bir yüksek lisans tezinde ise DRASTIC metodu kullanılarak Kırıkkale Ovasının YAS hassasiyet haritası oluşturulmuştur. Ancak belirtilen çalışmaların hiçbirisinde kirlilik unsurları, risk değerlendirmesi ve haritalamasına yönelik uygulamalar ve değerlendirmeler yer almamıştır. Sonuç olarak, YAS kirlilik hassasiyeti ve kirlilik unsurlarına dayalı risk analizi ve değerlendirilmesi amaçlı özgün araştırmalar tez ve proje uygulaması dışında henüz ülkemizde gerçekleştirilmemiştir.

Baran vd. (2008) tarafından Antalya iline ana su sağlayan kaynak olarak belirtilen Düden havzasında bulunan Kırkgöz kaynaklarının özelliklerinden bahsedilmiştir. Bu derleme çalışmada Kırkgöz kaynaklarının bölgenin temek su kaynağı olduğu ve karstik bir plato üzerinde olduğundan dolayı kirlenmeye açık olduğu belirtilmiştir. Tarımsal, kentsel, endüstriyel aktiviteler akiferler üzerinde nicelik ve nitelik yönünden geri dönülemez bir etki yaratabileceği vurgulanmış ve özellikle kentsel alt yapı eksikliğinden kaynaklanan foseptiklerin karst akiferin çatlaklı yapılarına boşaltılmasının çok ciddi sorunlar yaratacağının altı çizilmiştir. Endüstri ve tarımın bu hızla gelişmesi durumunda YAS kaynaklarının daha etkili korunabilmesi ve kullanılabilmesi için gerekli önlemlerin alınması gerektiği belirtilmiştir.

Bu tez çalışmasında Antalya-Altınova bölgesi için DRASTIC, SINTACS, PI, COP ve EPIK hassasiyet yöntemleri kullanılarak YAS hassasiyeti belirlenmesi ve YAS hassasiyet haritalarının oluşturulması amaçlanmıştır. Alanda yapılan izleme çalışmaları, arazi kullanım haritaları ve uydu görüntüleri kullanılarak YAS için risk oluşturabilecek kirletici unsurlar belirlenmiş ve kirletici unsur haritaları oluşturulmuştur. Elde edilen YAS hassasiyet haritaları ve kirletici unsur haritaları CBS ortamında üst üste bindirilerek alanın YAS risk haritaları oluşturulmuştur. Bunların yanı sıra alanda yapılan izleme çalışmalarında YAS kalite ölçümleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar hassasiyet ve risk metotlarından elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Belirtilen içerik kapsamında gerçekleştirilen çalışmalar ülkemiz açısından özgün nitelikli bir çalışma oluşturmaktadır. Ek olarak, yoğun tarımsal faaliyetlerin gerçekleştirildiği bir alan için YAS kirlilik riski değerlendirilmesinin gerçekleştirilmiş olması, uluslararası literatüre de katkı sağlama potansiyeline sahiptir.

3. MATERYAL VE METOT

Bu bölümde çalışmanın yapıldığı çalışma alanının özellikleri, YAS hassasiyet, kirletici ve risk analizlerinin gerçekleştirilmesinde kullanılan tüm metotlar ve bu metotlarda kullanılan ortak verilerin elde edilmesi hakkında bilgiler detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

3.1. Çalışma Bölgesi ve Genel Özellikleri

Antalya, Türkiye'nin güneyinde, Akdeniz kıyısında yer alan, 20.723 km² yüzölçümüne, 630 km kıyı uzunluğuna sahip bir ildir. İl ve ilçe merkezlerinin toplam nüfusu 2.288.456 kişidir. Antalya'nın başlıca gelir kaynakları turizm ve tarımdır. 2015 yılında Antalya'yı turizm amacıyla 11.140.004 kişi ziyaret etmiştir (ANONİM 3).

Antalya il arazisinin %18,20'lik kısmını tarım alanları oluşturmaktadır. Tarım alanlarının %55,70'lik kısmını tarla bitkileri, %13,36'lık kısmını sebzeler, %0,15'lik kısmını süs bitkileri, %20,14'lük kısmını meyvelikler ve %10,65'lik kısmını da nadas alanları oluşturmaktadır. 2015 yılı Türkiye bitkisel üretiminin %6,79'unu Antalya oluşturmuştur (ANONİM 4).

Çalışma alanı Antalya İl merkezine yaklaşık 10 km uzaklıktadır. Alanın güney sınırını Antalya Havalimanı, batı sınırını Düden çayı, doğu sınırını Antalya-Isparta yolu, kuzey sınırını ise üst plato oluşturmaktadır. Çalışma alanı 36° 54' 0" ve 37° 2' 0" Kuzey enlemleri, 30° 43' 0" ve 30° 50' 0" Doğu boylamları arasında yer alan yaklaşık 75 km2'lik bir alandır (Şekil 3.1). Seçilen çalışma alanında yerel halkın başlıca gelir kaynağı seracılıktır (Şekil 3.2). Bu seralarda başlıca domates, kavun, karpuz, marul, çilek, maydanoz, biber, patlıcan, roka, dereotu, kabak, çiçek ve salatalık yetiştirilmektedir. Bu ürünlerin yetiştirilmesi sırasında bitki gelişimine yardımcı olması amacıyla suni ve doğal gübreler, parazit ve zararlıların bitki gelişimini olumsuz etkilememesi amacıyla da pestisitler çokça kullanılmaktadır. Alanda sulama amacıyla çoğunlukla yeraltı suları kullanılmaktadır. YAS sondaj pompalarıyla çekilip çoğunlukla damlama sulama sistemleri kullanılarak bitkilere verilmektedir. Gerekli olduğu durumlarda sulama suyuna karıştırılarak bitkilere azot (N), fosfor (P), potasyum (K), demir (Fe) vb. maddeler verilebilmektedir.

YAS kalitesi izleme çalışmalarında, belirlenen lokasyonlardaki kuyulardan alınan su numunelerinde sıcaklık, Toplam Çözünmüş Madde (TÇM), pH, Çözünmüş Oksijen (ÇO), spesifik iletkenlik, tuzluluk, bulanıklık ve nitrat parametreleri sahada ölçülmüştür. Sıcaklık, TÇM, pH, ÇO, spesifik iletkenlik, tuzluluk ve nitrat parametreleri HACH marka HQ 40d dijital multimetre set ve problarıyla, bulanıklık ise HACH marka 2100Q-is cihazıyla ölçülmüştür. Nitrat parametresi için sahada nitrat probu ile ölçümler yapılmış ise de daha hassas sonuçlar elde edilebilmesi açısından izleme noktalarından alınan su numuneleri Akdeniz Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü laboratuvarına getirilmiş ve laboratuvarda HACH DR5000 spektrofotometresi ve HACH Lange LCK 339 nitrat

kiti kullanılarak (2.6-Dimethylphenol, Standard method: EN 38405 D-2 metodu ile) nitrat analizleri gerçekleştirilmiştir. Saha ölçümlerinde kullanılan cihazlar ve ölçüm hassasiyetleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Saha ölçümlerinde kullanılan cihazlar ve ölçüm hassasiyetleri.

Parametre	Ölçüm cihazı	Ölçüm hassasiyeti
Sıcaklık	HACH HQ40d	---
pH	HACH HQ40d	± 0,002 pH
Çözünmüş Oksijen	HACH HQ40d	0,01 mg/L
İletkenlik	HACH HQ40d	Okuma değeri ± %0,5
Tuzluluk	HACH HQ40d	±0,01 ppt
Toplam Çözünmüş Madde	HACH HQ40d	± %0,5
Nitrat	HACH HQ40d	±0.02 mV veya %0,05 değerinden büyük olanı
Bulanıklık	HACH 2100Q is	Okuma değeri ± %2

YAS kalitesi izleme çalışmaları kapsamında Altınova bölgesinde belirlenen izleme noktalarından iki izleme döneminde (Kasım 2015 ve Mayıs 2016) alınan su numuneleri için T. C. Sağlık Bakanlığı, Türkiye Halk Sağlığı Kurumu'na bağlı olan Antalya Halk Sağlığı Müdürlüğü-Halk Sağlığı Laboratuvarı'nda detaylı su kalitesi analizleri gerçekleştirilmiştir. Antalya Halk Sağlığı Laboratuvarı'nda gerçekleştirilen su kalitesi analizlerinde cihazların tayin limitleri yüksek olduğundan Mayıs 2016 döneminde alınan sunu numuneleri hizmet alımı yolu ile özel bir laboratuvarda GC-MS cihazı kullanılarak yüksek hassasiyetle analiz ettirilmiştir. Bu analiz sonuçlarına ilişkin bilgilere bulgular kısmında yer verilmiştir.

Tez çalışmasında Altınova bölgesinde iki izleme döneminde (Kasım 2015 ve Mayıs 2016) YAS kalitesi ölçümlerinin gerçekleştirildiği 25 adet izleme istasyonunda toprak özelliklerini belirlemek üzere örnekleme ve analizler yapılmıştır. Toprak örnekleri, toprak yüzeyinden 0-20 cm'lik tabakadan alınmıştır. Toprak numuneleri için toprak bünyesi, pH, tuzluluk, doygunluk, organik madde, toplam azot, nitrat azotu, amonyum azotu, infiltrasyon hızı parametrelerinin ölçüm ve analizleri, çalışma bölgesine çok yakın bir lokasyonda bulunan özel akredite bir laboratuvarda gerçekleştirilmiştir. Belirtilen parametrelerin ölçüm ve analizinde kullanılan yöntemler Çizelge 3.2'de sunulmaktadır.

Çizelge 3.2. Özel laboratuvarda yapılan toprak analizlerinde uygulanan yöntemler.

Parametre	Birim	Yöntem
pH	-	Saturasyon
Tuz	%	Saturasyon
Doygunluk	%	Saturasyon
İnfiltrasyon Hızı	cm/saat	Saturasyon (Hes.)
Organik Madde	%	Modifiye Walkley Black-TS8336
Toplam N	%	Kjeldahl
NH_4-N	%	Kjeldahl
NO_3-N	%	Kjeldahl

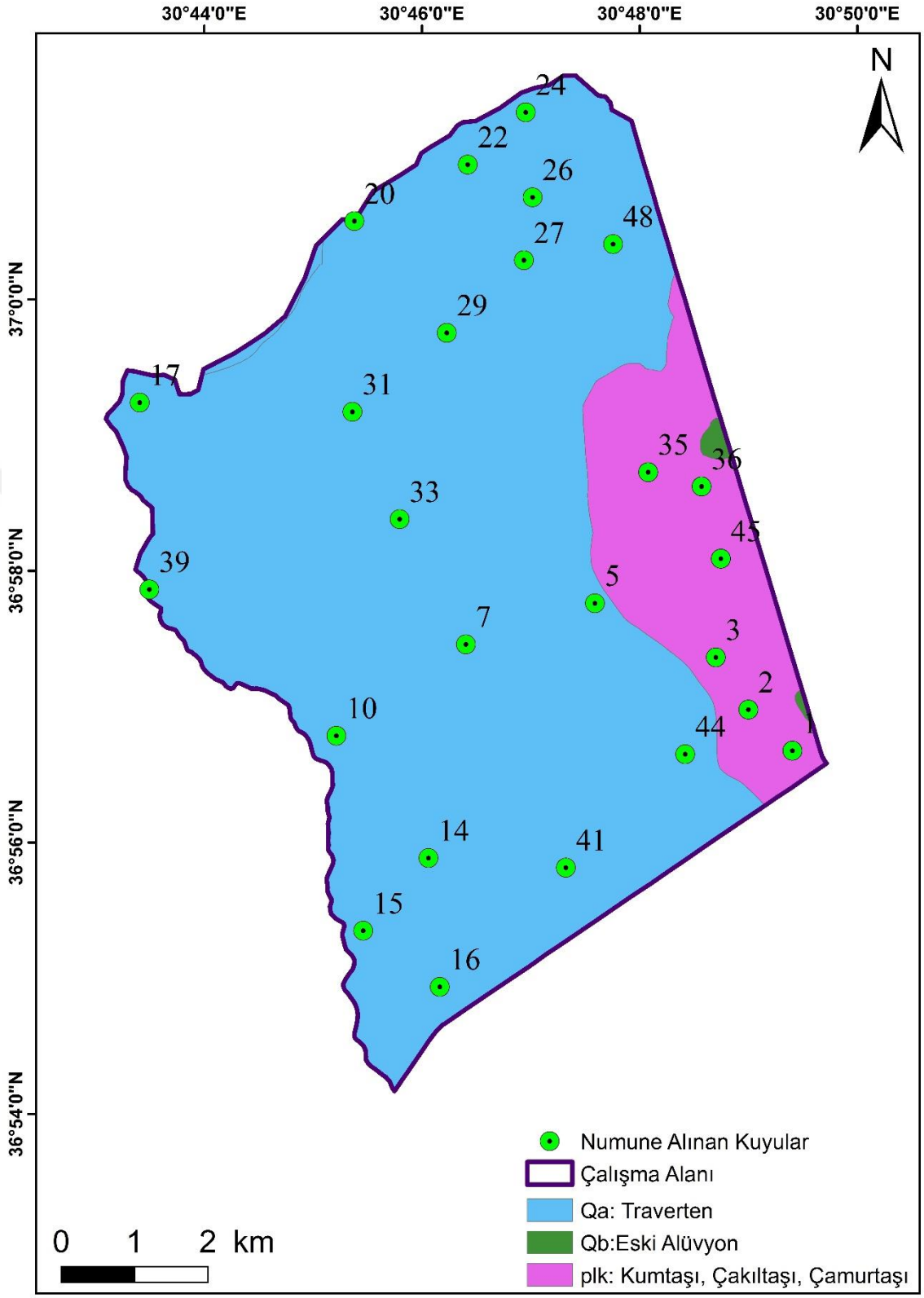


Şekil 3.1. Antalya-Altınova'da seçilen pilot çalışma sahasının lokasyonu.

Çalışma alanında jeolojik olarak üç oluşum bulunmaktadır. Alanın yaklaşık %85'i karstik kireçtaşı, %14'ü kumtaşı ve çakıltaşı formasyonunda, %1'i ise alüvyonlardan oluşmaktadır (Şekil 3.3). Alanın büyük bir çoğunluğunun karstik yapıda olması ve alan üzerinde aşırı tarım faaliyetleri yapılması YAS'ı kirleticilere karşı hassaslaştırmaktadır.



Şekil 3.2. Çalışma alanına ait bir görüntü.



Şekil 3.3. Çalışma alanındaki jeolojik formasyon ve izleme noktalarının lokasyonları.

3.2. Hassasiyet Analizinde Kullanılan Ortak Verilerin Elde Edilmesi

3.2.1. Meteorolojik verilerin elde edilmesi

YAS'ın kirlenmeye karşı hassasiyetini belirlemek için kullanılan yöntemlerde, YAS'ın besleniminin hesaplanabilmesi için meteoroloji verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Yağış, sıcaklık, açık yüzey buharlaşması gibi bazı parametreler beslenim miktarının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Meteorolojik verilerin elde edilmesi için çalışma alanına en yakın olan 17300 numaralı Antalya Havalimanı Meteoroloji istasyonundan 2000-2015 yılları arasındaki meteorolojik veriler temin edilmiştir. Temin edilen meteorolojik veriler; toplam yağış, maksimum rüzgâr hızı, maksimum sıcaklık, minimum sıcaklık, 5, 10, 20 ve 50 cm derinliklerde toprak sıcaklığı, ortalama basınç, ortalama bulutluluk, ortalama nem, ortalama rüzgâr hızı, ortalama sıcaklık, toplam açık yüzey buharlaşması, toplam güneş radyasyonu, toplam güneşlenme süresi ve günlük toplam yağıştır. Temin edilen verilerin bir kısmı için hesaplanan ortalama değerler Çizelge 3.3'te sunulmaktadır.

2007-2008 yıllarına ait yağış verileri Antalya Havalimanı istasyonu için bulunmamaktadır. Buharlaşma verileri 2010 yılına kadar Antalya Havalimanı, 2010'dan sonraki dönem için Antalya Bölge istasyonundan temin edilmiştir. 2000-2006 yılları için sıcaklık verileri Antalya Havalimanı istasyonuna, 2007'den sonrası için Antalya Bölge istasyonuna aittir. Temin edilen veri setlerinden faydalanılarak DRASTIC, SINTACS, COP, PI ve EPIK metotlarında yer alan YAS beslenim miktarı hesaplanmıştır.

3.2.2. YAS'a olan derinliğin ölçülmesi

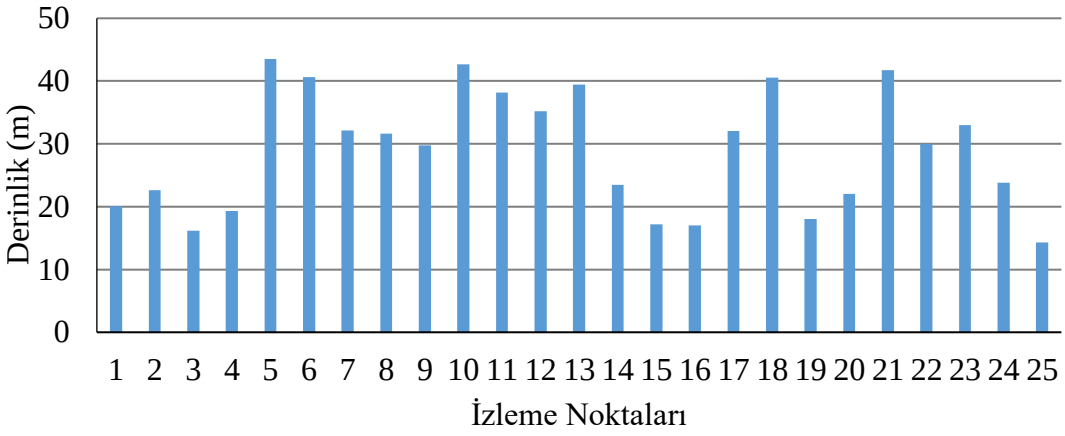
DRASTIC ve SINTACS metotları ile hassasiyetin belirlenebilmesi için YAS'a olan derinlik verisi gerekmektedir. Bu parametrenin sahada ölçülmesi, saha çalışmaları kapsamında gerçekleştirilmiştir. Devlet Su İşleri 13. Bölge Müdürlüğü Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltı suları Şube Müdürlüğü'nde görevli teknik personel ile ilk kez 04.12.2015 tarihinde çalışma alanında seçilen 25 adet kuyuda YAS'A olan derinlik ölçülmüştür. Derinlik ölçümleri için bir ampermetrenin uçlarına bağlı olan yeterli uzunluktaki kablonun ucuna küçük bir ağırlık takılmış ve kablo kuyuya salınmıştır. Kablonun ucu suya temas ettiği anda ampermetrede bir akım okunmakta ve kablo geri çekilmektedir. Kablonun uzunluğu, üzerinde bulunan işaretler yardımıyla ölçülmekte ve uzunluk ölçüm değeri ile YAS'ın yüzeyden olan derinliği belirlenmektedir (Şekil 3.4). Daha sonra gerçekleştirilen arazi çalışmalarında (9-10.02.2016 ve 10-11.05.2016) aynı yöntem ile YAS'A olan derinlikler ölçülmüştür. İkinci, üçüncü ve dördüncü arazi çalışmalarında YAS'a olan derinlikler için ortalamaları hesaplanmış ve Şekil 3.5'te sunulmuştur.

Çizelge 3.3. Çalışma sahasını temsil eden meteoroloji istasyonlarından temin edilen bazı meteorolojik verilere ait ortalama değerler.

Yıllar	Ortalama Günlük Minimum Sıcaklık (°C)	Günlük Ortalama Sıcaklık (°C)	Ortalama Günlük Maksimum Sıcaklık (°C)	Yıllık Toplam Açık Yüzey Buharlaşması (mm)	Yıllık Toplam Yağış (mm)
2000	14,07	18,95	25,03	2460,56	839,40
2001	14,72	19,39	25,03	2338,06	1891,80
2002	14,41	19,02	24,72	2028,86	971,60
2003	14,68	19,28	25,07	2294,18	1773,60
2004	14,10	18,95	24,75	2169,89	1268,20
2005	14,05	18,77	24,42	2135,81	1021,80
2006	14,03	18,75	24,52	1988,23	1324,30
2007	16,78	20,06	24,78	2072,77	-
2008	17,04	20,12	24,73	2028,60	-
2009	16,85	19,85	24,17	1855,82	1389,40
2010	17,40	20,33	24,24	1933,29	950,80
2011	16,35	19,44	23,76	1170,81	1083,90
2012	16,82	19,83	24,05	993,03	1403,60
2013	16,82	19,93	24,38	1232,90	1156,80
2014	16,83	19,85	23,77	1143,39	1268,00
2015	16,33	19,27	23,42	1330,18	1018,00
Ortalama	**15,71**	**19,49**	**24,43**	**1823,52**	**1240,09**



Şekil 3.4. YAS'a olan derinliklerin ölçülmesi (04.12.2015).



Şekil 3.5. YAS'a olan ortalama derinlik değerleri.

3.3. DRASTIC Metodu

DRASTIC metodu, Aller vd. (1987) tarafından YAS için kirlilik hassasiyeti seviyesinin belirlenmesi amacıyla geliştirilmiştir. Genel değerlendirme için kullanılan metot DRASTIC-Genel, pestisitler için kullanılan metot ise DRASTIC-Pestisit olarak isimlendirilmektedir. DRASTIC-Genel metodu içerisinde 7 adet hidrojeolojik parametre

yer almaktadır. Bu parametreler YAS'a olan derinlik (D), net beslenim (R), akifer ortamının özelliği (A), toprak ortamının özelliği (S), topografya (T), vadoz zonun etkisi (I) ve hidrolik iletkenlik (C)'tir. DRASTIC-Genel metodunda her parametre için bir ağırlık katsayısı (w) bulunmaktadır ve bu ağırlık katsayısı 1 ile 5 arasında değişmektedir (Çizelge.3.4). 1 en düşük öneme sahip parametreyi gösterirken, ağırlık katsayısı arttıkça parametrenin önemi artmaktadır.

Çizelge.3.4. DRASTIC-Genel metodunda yer alan parametrelerin ağırlık katsayıları (Aller vd. 1987).

	Parametre	**Ağırlık katsayısı**
D	Yeraltı suyuna olan derinlik	5
R	Net beslenim	4
A	Akifer ortamının özelliği	3
S	Toprak ortamının özelliği	2
T	Topografya	1
I	Vadoz zonun özelliği	5
C	Hidrolik iletkenlik	3

Ağırlık katsayısına ek olarak, her parametrenin kendi içerisinde bir derecelendirme katsayısı (r) vardır ve bu katsayı 1-10 arasında değiştirmektedir. Bu katsayılar için 10 değeri kirlenme potansiyeli en çok olan, 1 değeri ise kirlenme potansiyeli en az olan anlamına gelmektedir. Derecelendirme katsayıları ve ağırlık katsayıları tanımlandıktan sonra belirlenen alan için DRASTIC indeksi sayısal olarak aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilir. (Eşitlik 3.1)

$$DI=Dr.Dw+Rr.Rw+Ar.Aw+Sr.Sw+Tr.Tw+Ir.Iw+Cr.Cw \quad (3.1)$$

DI = DRASTIC-Genel indeksi

Dr = YAS'a olan derinlik parametresi için derecelendirme katsayısı

Dw =YAS'a olan derinlik parametresi için ağırlık katsayısı

Rr = Net beslenim parametresi için derecelendirme katsayısı

Rw = Net beslenim parametresi için ağırlık katsayısı

Ar = Akifer ortamının özelliği parametresi için derecelendirme katsayısı

Aw = Akifer ortamının özelliği parametresi için ağırlık katsayısı

Sr = Toprak ortamının özelliği parametresi için derecelendirme katsayısı

Sw = Toprak ortamının özelliği parametresi için ağırlık katsayısı

Tr = Topografya parametresi için derecelendirme katsayısı

Tw = Topografya parametresi için ağırlık katsayısı

Ir = Vadoz zonun özelliği parametresi için derecelendirme katsayısı

Iw =Vadoz zonun özelliği parametresi için ağırlık katsayısı

Cr = Hidrolik iletkenlik parametresi için derecelendirme katsayısı

Cw = Hidrolik iletkenlik parametresi için ağırlık katsayısı

Çalışma alanında her bir parametrenin verileri elde edilmiş, derecelendirme katsayıları belirlenmiş, her noktanın DRASTIC-Genel metodu ile indeksleri hesaplanmış ve haritalandırılmıştır.

3.3.1. YAS'a olan derinlik (D)

DRASTIC indeksinin hesaplanmasında ilk parametre olan YAS'a olan derinlik parametresi, ağırlık derecesi 5 olduğu için DRASTIC indeksinin belirlenmesinde en etkili parametrelerden birisidir. Bu parametre YAS tablasının, yüzeyden ne kadar derinlikte olduğunu ifade eder. YAS'a olan derinlik ne kadar fazla olursa, YAS ve yüzey arasındaki mesafe o kadar fazla olur. Bunun sonucunda kirleticilerin YAS'a ulaşması daha uzun zaman alır ve bu süre içerisinde kirleticiler kimyasal olarak parçalanabilir ve yüzeyde oluşacak bir kirleticinin YAS'ı kirletme ihtimali azalır. YAS'a olan derinlik az ise, doygun olmayan bölgenin tabaka kalınlığı az olacağından YAS'ın kirlenme potansiyeli artar. Bu parametre için 7 adet derecelendirme katsayısı belirlenmiş ve Çizelge 3.5'te verilmiştir (Aller vd. 1987). YAS'a olan derinlik arttıkça derecelendirme katsayısı da düşmektedir.

Çizelge 3.5. YAS'a olan derinlik ve derecelendirme katsayıları (Aller vd. 1987).

Yeraltı suyuna olan derinlik	Derecelendirme
0-1,5	10
1,5-4,5	9
4,5-9	7
9-15	5
15-22,5	3
22,5-30	2
> 30	1

3.3.2. Net beslenim (R)

DRASTIC-Genel yönteminde net beslenim parametresi için 5 farklı derecelendirme katsayısı tanımlanmıştır. Net beslenim değeri fazla ise YAS'a sızan su

miktarı fazla olacağından, kirleticilerin YAS'a taşınma ihtimali yüksektir. Yüzeyden YAS'a sızan su, yüzeydeki kirleticilerin YAS'a taşınmasında etkili olduğundan, net beslenim miktarı ne kadar fazla ise derecelendirme katsayısı o kadar büyük olmaktadır. Çizelge 3.6'da DRASTIC-Genel yönteminde tanımlanan net beslenim miktarları ve derecelendirme katsayıları verilmiştir.

Çizelge 3.6. Net beslenim miktarı ve derecelendirme katsayıları (Aller vd. 1987).

Net Beslenim (mm/yıl)	Derecelendirme katsayısı
>254	9
178-254	8
102-178	6
51-102	3
0-51	1

Net beslenim parametresi, yüzeye düşen yağışın YAS'a geçebilecek kısmını ifade eder. Bu değer belirlenirken yüzey buharlaşması, bitkilerden kaynaklanan terleme, yağışın yüzey akışa geçen miktarı gibi birçok parametrenin bilinmesi gerekmektedir. Literatürde net beslenimin belirlenmesine yönelik olarak birçok yöntem tanımlanmaktadır. YAS seviyesindeki dalgalanmalar, yağış ve su seviyesi arasındaki ilişkilerden faydalanılarak, hidrojeolojik bütçe oluşturularak, fiziksel, kimyasal ve izotopik, sayısal metotlar kullanılarak net beslenim miktarı belirlenebilir. Ancak bu metotların kullanılabilmesi için birçok veriye ihtiyaç duyulmaktadır. DSİ 13. Bölge Müdürlüğü Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltı Suları Şube Müdürlüğü tarafından Kırkgöz kaynakları ve Antalya karstik platosu üzerinde uzun yıllardır çalışmalar yapılmakta ve hidrojeolojik raporlar hazırlanmaktadır. Bu raporlardan 2015 yılı içerisinde hazırlanmış olan "Antalya Master Plan-Hidrojeoloji Raporu" içerisinde uzun yıllar boyu yapılan çalışmaların sonuçlarına dayanılarak, çalışma sahasını kapsayan karstik alandaki yağışın %44'ünün YAS'a sızdığı belirlenmiştir. Çalışma alanının karstik olmayan, pliyosen yaşlı Kurşunlu Formasyonunun kumtaşı ve konglomeralarının olduğu bölümünde ise bu değer %15'tir (AMPR 2015).

3.3.3. Akifer ortamının özelliği (A)

YAS, akifer içerisinde yatay veya dikey yönlerde hareket edebilir. Suyun akifer içerisinde izlediği yolun uzunluğu, su içerisinde bulunan kirleticilerin azalma ihtimalini etkilemektedir (Büyükdemirci 2012). DRASTIC yönteminde akifer ortamının özelliği için 10 farklı akifer ortamı tanımlanmış ve bu ortamlar için derecelendirme katsayıları belirlenmiştir (Çizelge 3.7).

Çizelge 3.7. Akifer ortamı ve derecelendirme katsayıları (Aller vd. 1987).

Akifer ortamı	Derecelendirme	Tipik
Karstik Kireçtaşı	9-10	10
Bazalt	2-10	9
Kum ve Çakıl	4-9	8
Masif Kireçtaşı	4-9	6
Masif Kumtaşı	4-9	6
Tabakalı Kumtaşı, kireçtaşı ve Şist ardalanması	5-9	6
Buzul malzemesi	4-6	5
Bozunmuş Metamorfik/Magmatik	3-5	4
Metamorfik/Magmatik	2-5	3
Masif Şist	1-3	2

3.3.4. Toprak ortamının özelliği (S)

Toprak ortamının özelliği parametresi, yüzeyin en üst tabakasındaki toprağın özelliklerini ifade eder. Toprağın özellikleri yüzeye düşen yağışın YAS'a sızma ve kirleticilerin tutulma miktarını belirler. Toprak tabakası çakıl, kum gibi geçirimli bir yapıdan oluşuyor ise yüzeye düşen yağışın büyük bir kısmı yüzey akışa geçemeden YAS'a doğru harekete geçecektir. Diğer taraftan, toprak tabakası kil gibi az geçirimli bir yapıdan oluşuyor ise yüzeye düşen yağışın büyük bir kısmı yüzey akışa geçer. Bu yüzden toprak ortamın özelliği DRASTIC-Genel yönteminde kullanılan bir parametredir. Aller vd. (1987) tarafından DRASTIC-Genel yönteminde toprak ortamının özelliği için 11 adet toprak ortamı tanımlanmıştır ve bunlar için derecelendirme katsayıları Çizelge 3.8'de verilmiştir.

Çizelge 3.8. Toprak ortamının özellikleri ve derecelendirme katsayıları (Aller vd. 1987).

Toprak ortamının özelliği	Derecelendirme
İnce veya Yok	10
Çakıl	10
Kum	9
Turba	8
Susuzlaştırılmış ve Toparlanmış	7
Kumlu Tın	6
Tınlı	5
Siltli Tın	4
Killi Tın	3
Gübre/Kompost	2
Susuzlaştırılmamış ve Toparlanmamış Kil	1

3.3.5. Topografya (T)

Topografya yüzey koşullarını ifade etmektedir. DRASTIC-Genel yönteminde bu parametre toprak yüzeyinin eğimini tanımlamaktadır. Yüzey eğiminin yüksek ya da düşük olması toprak yüzeyinden YAS'a sızabilecek su ve kirletici miktarlarını etkilemektedir. Eğimin fazla olduğu yerlerde yüzeydeki suyun büyük bir çoğunluğu yüzeysel akışa geçecek ve YAS'a ulaşamayacaktır. Eğimin az olduğu yerlerde ise yüzeye düşen suyun büyük bir çoğunluğu yüzey akışa geçemez ve YAS'a ulaşır. DRASTIC-Genel yönteminde topografya parametresi için 5 farklı sınıf ve derecelendirme katsayısı bulunmaktadır (Çizelge 3.9).

Çizelge 3.9. Topografya parametresi için derecelendirme katsayıları (Aller vd. 1987).

Topografya (%)	Derecelendirme katsayısı
0-2	10
2-6	9
6-12	5
12-18	3
>18	1

3.3.6. Vadoz zon özelliği (I)

Vadoz zon özelliği parametresi, YAS tablasının üzerinde bulunan doymamış bölgenin özelliklerini ifade etmektedir. Vadoz zonun özelliği yüzeyden YAS'a sızabilecek suyun miktarını ve hızını etkiler. Akifer ortamının aşırı geçirimli olduğu veya çatlak ve mağaraların bulunduğu ortamlarda kirleticiler tutulmadan YAS'a ulaşabilir. Killi veya az geçirimli tabakanın olduğu yerlerde ise yüzeydeki suyun YAS'a geçişi sırasında tabakanın az geçirimli olması sonucunda hem su geçişi yavaş olur hem de su içerisinde bulunan kirleticilerin süzülmesi ile YAS'a ulaşma ihtimali azalır. DRASTIC-Genel metodunda vadoz zon özelliği parametresi için 10 farklı derecelendirme katsayısı belirlenmiştir (Çizelge 3.10).

3.3.7. Hidrolik iletkenlik (C)

Suyun akifer içindeki taşınımı, hidrolik iletkenlik olarak tanımlanmaktadır. Hidrolik iletkenlik katsayısı akiferin porozitesine ve türüne göre değişkenlik göstermektedir. Örneğin porozitesi yüksek olan bir zeminde (karstik traverten gibi) hidrolik iletkenlik katsayısı ve YAS'ın akış hızı yüksektir. Hidrolik iletkenlik katsayısı yüksek olan bir alanda yüzeyden YAS'a sızan bir kirletici çok hızlı bir şekilde akifer ortamına karışabilir. DRASTIC yönteminde hidrolik iletkenlik parametresi için altı adet derecelendirme katsayısı belirlenmiştir (Çizelge 3.11).

Çizelge 3.10. Vadoz zon özelliği parametresi ve derecelendirme katsayıları (Aller vd. 1987).

Vadoz zon	Derecelendirme katsayısı	Tipik değer
Geçirimsiz tabaka	1	1
Silt/Kil	2-6	3
Şeyl	2-5	3
Kireçtaşı	2-7	6
Kumtaşı	4-8	6
Tabakalı Kireçtaşı, Kumtaşı ve Şeyl	4-8	6
Önemli miktarda Kil ve Silt Bulunduran Kum ve Çakıl	4-8	6
Metamorfik/Magmatik	2-8	4
Kum ve Çakıl	6-9	8
Bazalt	2-10	9
Karstik Kireçtaşı	8-10	10

Çizelge 3.11. Hidrolik iletkenlik parametresi için derecelendirme katsayıları (Aller vd. 1987).

Hidrolik iletkenlik (mm/gün)	Derecelendirme katsayısı
0-4	1
4-12	2
12-29	4
29-41	6
41-82	8
>82	10

3.3.8. DRASTIC-pestisit metodu

Literatürde iki çeşit DRASTIC metodu uygulaması bulunmaktadır (Aller vd. 1987). DRASTIC-Genel metodu, genel kirleticilere karşı olan hassasiyeti, DRASTIC-Pestisit ise spesifik olarak pestisitlere karşı olan hassasiyeti belirlemektedir. DRASTIC-Pestisit'in DRASTIC-Genel'den farklı yanı ağırlık katsayılarının farklı olmasıdır. Pestisitler için özel olarak ağırlık katsayıları belirlenmiştir (Çizelge 3.12).

Çizelge 3.12. DRASTIC-Genel ve DRASTIC-Pestisit ağırlık katsayıları (Aller vd. 1987).

Parametre	DRASTIC-Genel ağırlık katsayısı	DRASTIC-Pestisit ağırlık katsayısı
Yeraltı suyuna olan derinlik (D)	5	5
Net beslenim (R)	4	4
Akifer ortamının özelliği (A)	3	3
Toprak ortamının özelliği (S)	2	5
Topografya (T)	1	3
Vadoz zonun özelliği (I)	5	4
Hidrolik iletkenlik (C)	3	2

3.4. SINTACS Metodu

YAS kirlilik hassasiyetinin belirlenmesinde kullanılan metotlardan biri de SINTACS (Civita 1994) metodudur. Bu metot, Aller vd. (1987) tarafından geliştirilen DRASTIC metodunun hidrojeolojik ve iklim özelliklerinin Akdeniz şartlarına uyarlanmış halidir (Kapelj vd. 2006). SINTACS metodunda yedi adet parametre bulunur. Bu parametreler YAS'a olan derinlik (S), efektif infiltrasyon (I), doymamış bölgenin özelliği (N), toprak özelliği (T), akifer özelliği (A), hidrolik iletkenlik (C) ve yüzey eğimi (S)'dir. SINTACS yönteminde de DRASTIC yöntemi gibi her parametrenin ağırlık katsayıları vardır ve bu ağırlık katsayıları 1 ile 5 arasında değişmektedir. Ek olarak, SINTACS yönteminde dört farklı koşul için ağırlık katsayıları bulunmaktadır ve bu ağırlık katsayıları farklı hidrojeolojik alanlar için kullanılmaktadır (Civita 2010). Çizelge 3.13'te SINTACS metodu için farklı hidrojeolojik alanlarda kullanılan ağırlık katsayıları verilmiştir.

Çizelge 3.13. SINTACS metodunda kullanılan ağırlık katsayıları (Civita 2010).

Parametre	Normal alanlar	Aşırı kirleticilerin bulunduğu alanlar	Sızıntılı alanlar	Karstik alanlar	Çatlaklı alanlar
S	5	5	4	2	3
I	4	5	4	5	3
N	5	4	4	1	3
T	3	5	2	3	4
A	3	3	5	5	4
C	3	2	5	5	5
S	3	2	2	5	4

Normal alanlar, tarıma çok elverişli olmayan, bitki koruma ürünleri ve kimyasal gübrelerin az kullanıldığı, az sayıda hayvanın bulunduğu, mevsimsel iklim değişikliklerinin çok olmadığı çorak alanları ifade etmektedir (Civita 2010).

Aşırı kirleticilerin bulunduğu alanlar, yoğun tarım faaliyetinin yapıldığı, bitki koruma ürünleri ve kimyasal gübrelerin çok kullanıldığı, kanalizasyon şebekesi bulunmayan, katı atıkların kontrolsüz olarak atıldığı, aktif sanayi alanları ve şehirler gibi alanları ifade etmektedir (Civita 2010).

Sızıntılı alanlar, yüzey ve YAS arasındaki mesafenin az olduğu sığ akiferler, drenaj hatları ve sulama ile YAS'a büyük miktarlarda suyun karıştığı, basınçsız akiferlerin bulunduğu alanları ifade etmektedir (Civita 2010).

Karstik alanlar, hidrojeolojik olarak karstik kireçtaşı yapısında olan alanları ifade etmektedir (Al Kuisi 2006).

Çatlaklı alanlar, jeolojik yapıda çatlakların çok bulunduğu alanları ifade etmektedir (Al Kuisi 2006).

SINTACS yönteminde ağırlık katsayısına ek olarak her parametrenin kendi içerisinde bir derecelendirme katsayısı (r) vardır. Bu katsayı 1-10 arasında değişmektedir. 10 değeri kirlenme potansiyeli en çok, 1 değeri ise kirlenme potansiyeli en az olan koşul anlamına gelmektedir. Derecelendirme katsayıları ve ağırlık katsayıları belirlendikten sonra SINTACS indeksi ($I_{SINTACS}$) sayısal olarak aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

SINTACS indeksi ($I_{SINTACS}$) = Sr Sw+Ir Iw+Nr Nw+Tr Tw+Ar Aw+Cr Cw+Sur Suw (3.2)

$I_{SINTACS}$ = SINTACS indeksi

Sr = YAS'a olan derinlik parametresi için derecelendirme katsayısı

Sw = YAS'a olan derinlik parametresi için ağırlık katsayısı

Ir = Efektif infiltrasyon parametresi için derecelendirme katsayısı

Iw = Efektif infiltrasyon parametresi için ağırlık katsayısı

Nr = Doymamış bölgenin özelliği parametresi için derecelendirme katsayısı

Nw = Doymamış bölgenin özelliği parametresi için ağırlık katsayısı

Tr = Toprak özelliği parametresi için derecelendirme katsayısı

Tw= Toprak özelliği parametresi için ağırlık katsayısı

Ar = Akifer özelliği parametresi için derecelendirme katsayısı

Aw = Akifer özelliği parametresi için ağırlık katsayısı

Cr = Hidrolik iletkenlik parametresi için derecelendirme katsayısı

Cw = Hidrolik iletkenlik parametresi için ağırlık katsayısı

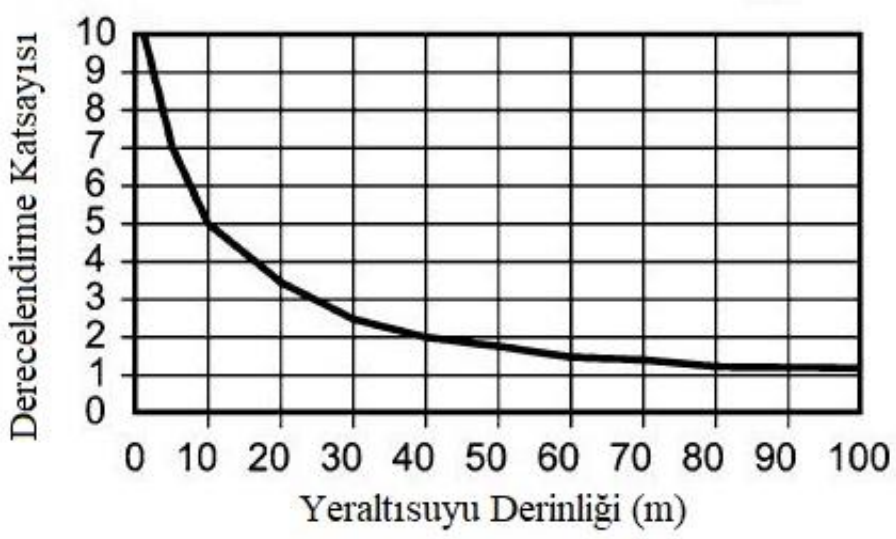
Sur = Yüzey eğimi parametresi için derecelendirme katsayısı

Suw = Yüzey eğimi parametresi için ağırlık katsayısı

Çalışma alanında her bir parametre için gerekli veriler elde edilmiş, derecelendirme katsayıları belirlenmiş ve izlenen tüm noktalar için SINTACS indeksi hesaplanmış ve haritalandırılmıştır.

3.4.1. YAS'a olan derinlik (S)

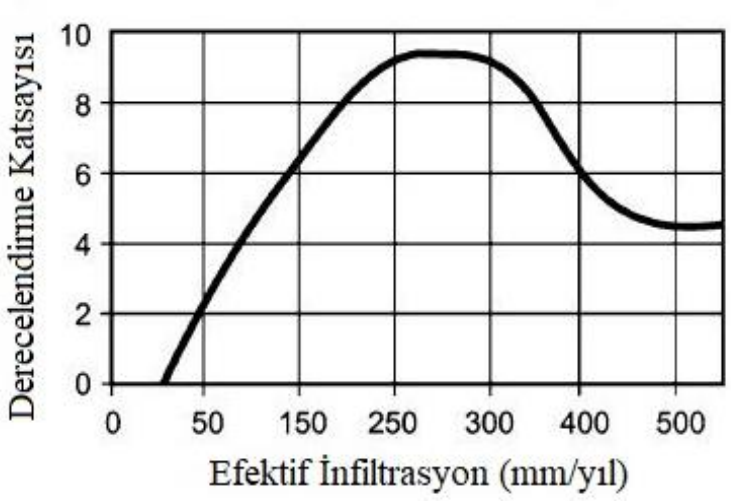
SINTACS metodunda YAS'a olan derinlik parametresi için kullanılan derecelendirme katsayıları Şekil 3.6'da gösterilmiştir (Civita 2010).



Şekil 3.6. YAS'a olan derinlik parametresinin derecelendirme katsayısı (Civita 2010).

3.4.2. Efektif infiltrasyon (I)

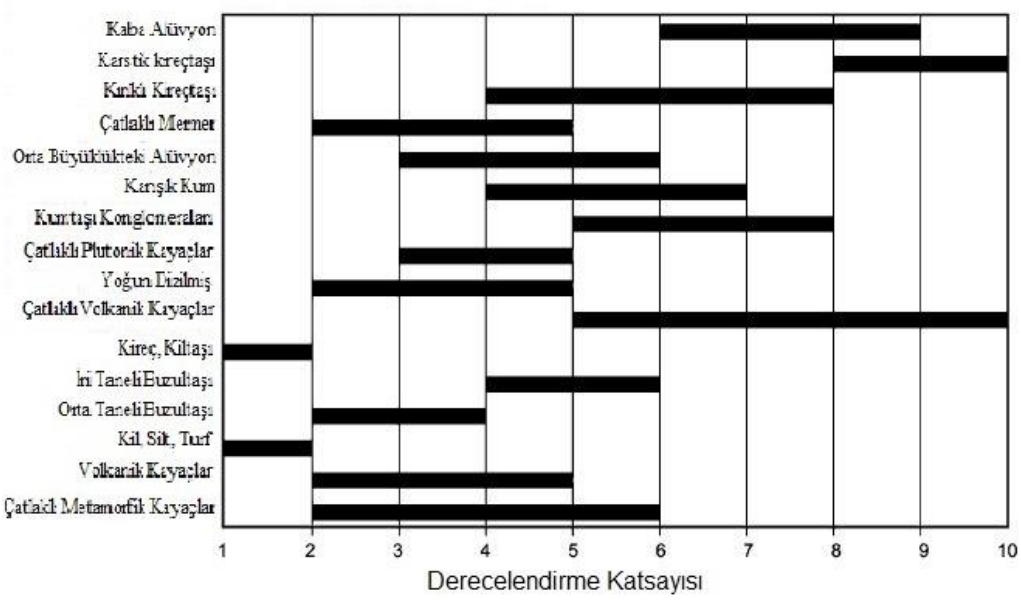
Efektif infiltrasyon parametresi yüzeydeki kirleticilerin YAS'a sızması ve kirleticilerin seyrelmeleri üzerinde büyük rol oynayan önemli bir parametredir. SINTACS metodunda efektif infiltrasyon parametresi için kullanılan derecelendirme katsayıları Şekil 3.7'de verilmiştir.



Şekil 3.7. Efektif infiltrasyon parametresi için derecelendirme katsayısı (Civita 2010).

3.4.3. Doymamış bölgenin özelliği (N)

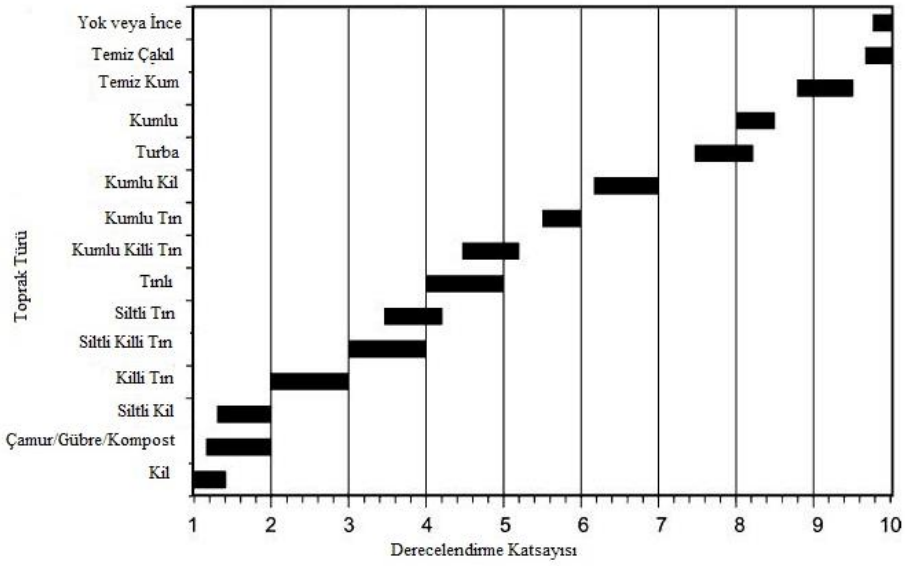
Bu parametre, YAS tablasının üzerinde bulunan doymamış bölgenin özelliklerini ifade etmektedir. Doymamış bölgenin özelliği yüzeyden YAS'a sızabilecek suyun miktarını ve hızını etkiler. Akifer ortamının aşırı geçirimli olduğu veya çatlak ve mağaraların bulunduğu ortamlarda kirleticiler tutulmadan YAS'a ulaşabilir. Killi veya az geçirimli tabakanın olduğu yerlerde yüzeydeki suyun YAS'a geçişi sırasında hem su hareketi yavaşlar hem de su içerisinde bulunan kirleticiler süzülerek YAS'a ulaşma ihtimali azalır. Suyun doymamış bölgeden geçişi sırasında kirleticilerin zayıflamasını belirleyen bazı faktörler vardır. Bu faktörler doymamış bölgenin yapısı, mineral özellikleri, tane çapı, çatlak ve karst gelişimidir (Civita 2010). SINTACS metodunda doymamış bölgenin özelliği parametresi için kullanılan derecelendirme katsayıları Şekil 3.8'de verilmiştir.



Şekil 3.8. Doymamış bölge özelliği parametresi için derecelendirme katsayıları (Civita 2010).

3.4.4. Toprak özelliği (T)

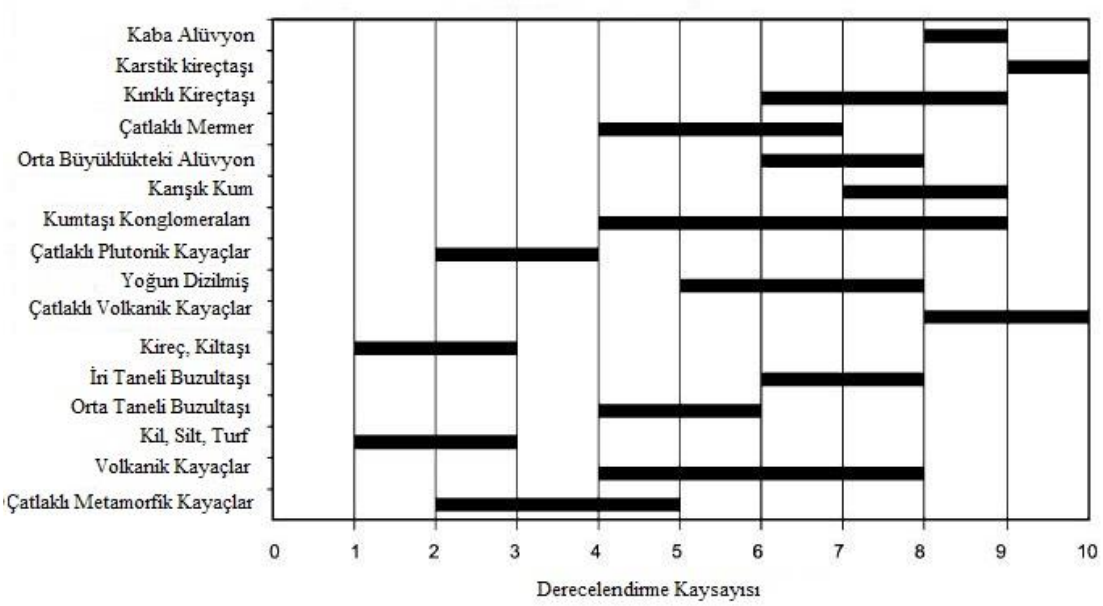
Toprak ortamının özelliği parametresi yüzeyin en üst tabakasındaki toprağın özelliklerini ifade eder. Toprağın özellikleri yüzeye düşen yağışın YAS'a sızma ve kirleticilerin tutulma miktarını belirler. Bu yüzden toprak ortamının özelliği SINTACS yönteminde kullanılan bir parametredir. SINTACS yönteminde toprak ortamının özelliği parametresi için kullanılan derecelendirme katsayıları Şekil 3.9'da verilmiştir.



Şekil 3.9. Toprak özelliği ve derecelendirme katsayıları (Civita 2010).

3.4.5. Akifer özelliği (A)

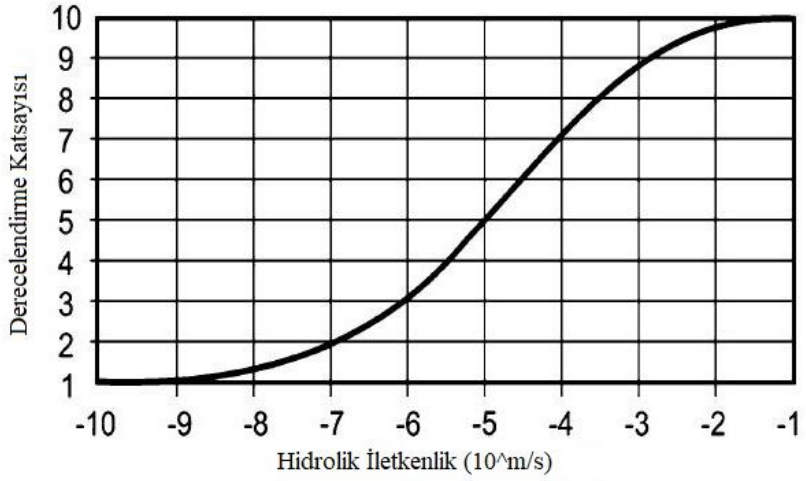
Akifer özelliği parametresi, YAS'a karışan bir kirleticinin YAS tablası altında suyun içerisindeki karışım, seyrelme gibi özelliklerini etkileyerek suyun hareketi boyunca kirleticinin konsantrasyonunu belirler (Civita 2010). SINTACS yönteminde akifer özelliği parametresi için kullanılan derecelendirme katsayıları Şekil 3.10'da verilmiştir.



Şekil 3.10. Akifer özelliği parametresi için derecelendirme katsayısı (Civita 2010).

3.4.6. Hidrolik iletkenlik (C)

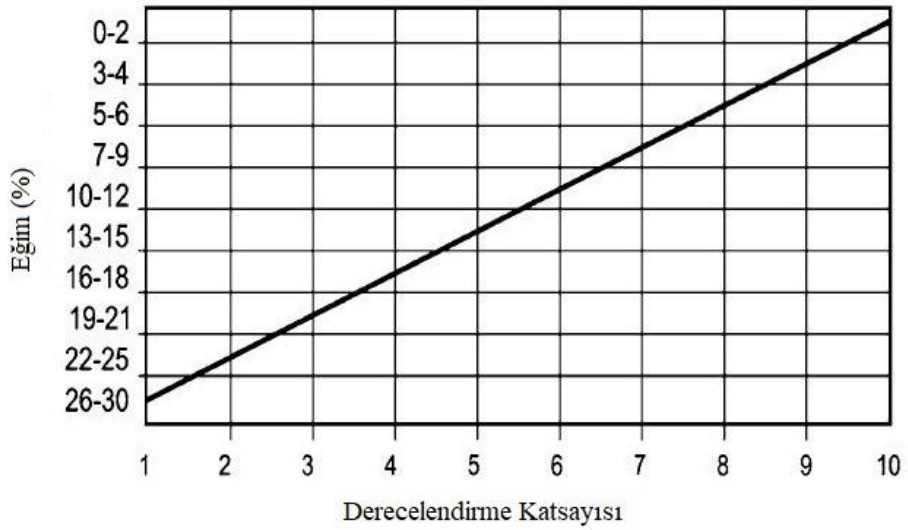
SINTACS yönteminde hidrolik iletkenlik parametresi için kullanılan derecelendirme katsayıları Şekil 3.11'de verilmektedir (Civita 2010).



Şekil 3.11. Hidrolik iletkenlik parametresi derecelendirme katsayısı (Civita 2010).

3.4.7. Yüzey eğimi (Su)

SINTACS yönteminde yüzey eğimi parametresi için kullanılan derecelendirme katsayıları Şekil 3.12'de verilmiştir.



Şekil 3.12. Yüzey eğimi parametresi için derecelendirme katsayıları (Civita 2010).

3.5. COP Metodu

COP metodu, 2001 ve 2002 yıllarında Malaga Üniversitesi Hidrojeoloji grubu tarafından YAS'ın kirlilik hassasiyeti seviyesinin belirlenmesi için geliştirilmiştir (COST Action 620 Final Raporu 2003). COP metodu, örtüleyen tabakadaki toprağın ve doymamış bölgenin özellikleri tarafından belirlenen YAS korumasını (O faktörü) ve aynı zamanda bu korumanın infiltrasyon prosesleri (C faktörü) ve iklim şartlarından (P faktörü) nasıl etkilendiğini değerlendirmektedir (Vias vd. 2006). YAS kirliliğine karşı hassasiyet, bu üç faktör dikkate alınarak belirlenmektedir.

3.5.1. O faktörü (Örtüleyen tabakalar)

O faktörü, doymuş bölgenin üstünde yer alan tabakaların fiziksel özellikleri ve kalınlıkları tarafından akifere sağlanan korumayı ifade etmektedir. O faktörünün hesaplanabilmesi için iki önemli hidrojeolojik alt faktör vardır. Bunlardan ilki toprak özellikleri (O_S) ve diğeri doymamış bölgenin litolojik katmanları (O_L)'dir (Vias vd. 2006). O_S, doymamış bölgenin biyolojik olarak aktif kısmını dikkate almaktadır. O_S toprak bünyesi, sınıfı ve toprak profili kalınlığı parametreleri kullanılarak belirlenir (Çizelge 3.14). Toprak bünyesinin OS değerine dönüşümü Çizelge 3.15'te tanımlanmıştır (COST Action 620 Final Raporu 2003).

Çizelge 3.14. Toprak bünyesi (COST Action 620 Final Raporu 2003).

Killi	> %30 kil
Siltli	> %70 silt
Kumlu	kum > % 70 kil <= % 15
Tınlı	diğer durumlarda

Çizelge 3.15. Toprak bünyesinin OS değerine dönüşümü.

Kalınlık	Killi	Siltli	Tınlı	Kumlu
> 1 m	5	4	3	2
0,5 – 1m	4	3	2	1
< 0,5 m	3	2	1	0

Litoloji alt faktörü (OL) doymamış bölgedeki her katmanın kirleticileri zayıflatma kapasitesini yansıtmaktadır. Belirlenmesi için kullanılan parametreler: Litoloji ve çatlaklık (ly), her bir katmanın kalınlığı (m) ve akiferin basınç durumu (cn)'dur (Çizelge 3.16).

Her bir litolojik tabakanın kalınlıklarıyla çarpımlarının toplamı, YAS koruması ile ilişkili olan tabaka indeksini verir (Vias vd. 2006). Tabaka indeksi minimum "0" değerini alırken, maksimum değeri akiferdeki tabakaların sayısına ve kalınlıklarına bağlı olarak değişebilir. Çizelge 3.17'de tabaka indeksinin aralıkları ve her bir aralığın sağladığı koruma değerleri verilmiştir (COST Action 620 Final Raporu 2003).

$$\text{Tabaka indeksi} = \sum \text{ly} \times \text{m} \qquad (3.3)$$

Çizelge 3.16. Litolojik birimler ve karşılık gelen değerleri (COST 620 Final Raporu 2003).

ly	Değer
Kil	1500
Silt	1200
Volkanik kayaçlar	1000
Marnlı kireçtaşı	500
Çatlaklı ve volkanik kayaçlar	400
Pekişmiş ya da çatlaksız konglomera ya da breş	100
Kumtaşı	60
Çimentolu ya da çatlaklı konglomera ve breş	40
Kum ve çakıl	10
Geçirimli bazalt	5
Kırıklı karbonat kayacı	3
Karstik kayaç	1

Çizelge 3.17. Tabaka indeksi (COST Action 620 Final Raporu 2003).

Tabaka İndeksi	Değer
0 – 250	1
250 – 1000	2
1000 - 2500	3
2500 - 10000	4
> 10000	5

"cn" parametresi bir ağırlık katsayısıdır ve artezyen akiferler için bu parametreye verilen yüksek değerler en yüksek korumayı sağlarken, serbest akiferlerde cn parametresi 1 olacağı için bu parametrenin akifer korumasına etkisi olmaz (Vias vd. 2006). Çizelge 3.18'de akiferin basınç durumu için tanımlanan değerler sunulmaktadır.

Çizelge 3.18. Akiferin basınç durumu (COST Action 620 Final Raporu 2003).

cn	Değer
Basınçlı akifer	2
Yarı basınçlı	1,5
Serbest	1

O_L parametresinin son değeri tabaka indeksinin "cn" değeri ile çarpılması ile elde edilir (Eşitlik 3.4).

$$O_L = \text{Tabaka indeksi değeri} \cdot cn \quad (3.4)$$

O_L ve O_S alt faktörlerinin toplanması ile akiferin koruma değeri olan O faktörü elde edilir (Eşitlik 3.5). O skoru, en düşük koruma değerini gösteren "1" değeri ile en yüksek koruma değerini gösteren "15" değeri arasında değer alabilir (Çizelge 3.19).

$$O \text{ skoru} = O_L + O_S \quad (3.5)$$

Çizelge 3.19. O faktörü ve karşılık gelen koruma değerleri (COST Action 620 Final Raporu 2003).

O skoru	Koruma değeri
1	Çok düşük
2	Düşük
2-4	Orta
4-8	Yüksek
8-15	Çok yüksek

O faktörü ne kadar düşükse koruma değeri de düşecektir ve dolayısıyla YAS kirliliğine karşı hassasiyet artacaktır. O faktörü ne kadar yüksekse, koruma değeri de artacaktır ve YAS kirliliğine karşı hassasiyet düşecektir.

3.5.2. C faktörü (Akım yoğunluğu)

Daly vd. (2002) C faktörünü, O faktörü tarafından sağlanan koruma değerini düzenleyici faktör olarak tanımlamıştır. O faktörü, infiltrasyonun doymamış bölgede yayılı olduğu durumlardaki YAS'ın kirleticilere karşı olan hassasiyetini tanımlamaktadır. C faktörü ise, üst tabakalar tarafından sağlanan korumanın (O faktörü) hangi derece

bypass edildiğini gösteren bir parametredir. C faktörünün hesaplanmasında iki senaryo bulunmaktadır (Daly vd. 2002).

1. Senaryo

İlk senaryo düşük geçirimli bir tabakayla kaplanan alanda yüzey akışının düdenlere ya da batan nehirlere konsantre olarak aktığı durumu tanımlamaktadır (Vias vd. 2006). Bu şartların hüküm sürdüğü durumlarda C faktörü aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$Cs = dh \cdot sv \cdot ds \quad (3.6)$$

dh: Düdene olan uzaklık
sv: Bitki örtüsü
ds: Batan nehire olan uzaklık

Düdene olan uzaklık, dh parametresi için aralıklar ve karşılık gelen değerleri Çizelge 3.20'de sunulmaktadır. Düdenlere 500 m'den daha yakın olan bölgelerde dh=0 kabul edilir ve uzaklığın artması ile beraber akiferin koruma kapasitesi doğrusal olarak artar. Batan nehre olan uzaklık, ds parametresi için aralıklar ve karşılık gelen değerleri Çizelge 3.21'de sunulmaktadır. Batan nehirlere 10 m'den yakın olan yerler sıfır koruma bölgesi olarak sınıflandırılırlar. 100 m'den daha uzakta yer alan koruma değeri değişmez ve 1 değerini alır. Bitki örtüsü, sv, parametresi için aralıklar ve karşılık gelen değerleri Çizelge 3.22'de sunulmaktadır.

Çizelge 3.20. dh parametresinin aralıkları ve karşılık gelen değerler (COST Action 620 Final Raporu 2003).

Düdene uzaklık (m)	Değer	Düdene uzaklık (m)	Değer
≤ 500	0	3000-3500	0,6
500-1000	0,1	3500-4000	0,7
1000-1500	0,2	4000-4500	0,8
1500-2000	0,3	4500-5000	0,9
2000-2500	0,4	>5000	1,0

Çizelge 3.21. ds parametresinin aralıkları ve karşılık gelen değerler (COST Action 620 Final Raporu 2003).

Batan nehirlere olan uzaklık (m)	Değer
<10	0,0
10-100	0,5
>100	1,0

Çizelge 3.22. sv parametresi ve değerleri (COST Action 620 Final Raporu 2003).

Eğim (%)	Bitki örtüsü	Değer
≤8	-	1
8-31	Yüksek	0,95
	Düşük	0,90
31-76	Yüksek	0,85
	Düşük	0,80
>76	-	0,75

2. Senaryo

Senaryo 2, otojenik beslemenin olduğu ancak infiltrasyonun düdenlere ya da batan nehirlere konsantre şekilde olmadığı durumlar için önerilmiştir (Vias vd. 2006). Böyle alanlarda C faktörü aşağıdaki eşitlik yardımıyla bulunur.

$$C = sf \cdot sv \quad (3.7)$$

sf: Yüzey özellikleri

sv: Eğim ve bitki örtüsü

Yüzey özellikleri, sf, parametresi için tanımlamalar ve karşılık gelen değerleri Çizelge 3.23'te, eğim ve bitki örtüsü, sv, parametresi için tanımlamalar ve karşılık gelen değerleri Çizelge 3.24'te sunulmaktadır.

Çizelge 3.23. Yüzey özellikleri (sf) (Vias vd. 2006).

		Yüzey tabakaları		
		Yok	Geçirimli	Geçirimsiz
Karstik özellikler	Gelişmiş karst	0,25	0,50	0,75
	Az gelişmiş karst ya da çözünme yapıları	0,50	0,75	1,00
	Kırık-çatlaklı karbonat	0,75	0,75	1,00
	Karstik olmayan	1,00	1,00	1,00

Çizelge 3.24. Eğim ve bitki örtüsü (sv) (Vias vd. 2006).

Eğim (%)	Bitki örtüsü	Değer
≤8	-	0,75
8-31	Yüksek	0,80
	Düşük	0,85
31-76	Yüksek	0,9
	Düşük	0,95
>76	-	1,00

C faktörünün değeri için 5 koruma sınıfı bulunmaktadır (Çizelge 3.25). 0,2'ye yakın değerler akifer korumasının çok azaldığı, yani hassasiyetin arttığı bölgeleri gösterirken, 1'e yakın değerler akifer korumasının azalmasının çok düşük olduğu dolayısıyla hassasiyetin düşük olduğu alanları göstermektedir (COST Action 620 Final Raporu 2003).

Çizelge 3.25. C faktörü (Vias vd. 2006).

C_{Skoru}	Akifer koruması azalımı
0-0,2	Çok yüksek
0,2-0,4	Yüksek
0,4-0,6	Orta
0,6-0,8	Düşük
0,8-1	Çok düşük

3.5.3. P faktörü (Yağış)

Daly vd. (2002)'ye göre bu faktör yağış miktarı, sıklığı, zamansal dağılımı, süresi ve aşırı yağış olaylarının yoğunluğu gibi parametreleri içermektedir. P faktörü yağış miktarı ve yoğunluğuna bağlı olarak akiferin koruma kapasitesini düzenleyici faktördür (COST 620 Final Raporu, 2003). P faktörü yağış miktarı (PQ) (Çizelge 3.26) ve yağış yoğunluğu (PI) (Çizelge 3.27) olmak üzere iki alt faktör ile belirlenir.

Çizelge 3.26. Yağış miktarına karşılık gelen değerler (COST Action 620 Final Raporu 2003).

Yağış miktarı (mm/yıl)	Değer
> 1600	0,4
1200 - 1600	0,3
800 - 1200	0,2
400 - 800	0,3
< 400	0,4

$$\text{Yağış yoğunluğu (PI)} = \frac{\text{yıllık yağış (mm)}}{\text{yağmurlu gün sayısı}} \quad (3.8)$$

Çizelge 3.27. Yağış yoğunluğu ve karşılık gelen değerler (COST Action 620 Final Raporu 2003).

P_I (mm/gün)	Değer
< 10	0,6
10 - 20	0,4
>20	0,2

P faktörünün son değeri aşağıda gösterildiği gibi iki alt faktörün toplamı ile elde edilir.

$$P \text{ skoru} = P_Q + P_I \quad (3.9)$$

P_Q: yağış miktarı

P_I: yağış yoğunluğu

P faktörü için 5 sınıf tanımlanmıştır (Çizelge 3.28). Bu değerler minimum korumayı gösteren "0,4" ile maksimum korumayı gösteren "1" değeri arasında değişmektedir. 1'e yakın değerler O faktör tarafından belirlenen koruma değerini yağış faktörünün çok az etkilediğini gösterir. 0,4'e yakın değerler akifer korumasını düşürerek hassasiyeti arttırır (COST 620 Final Raporu 2003).

Çizelge 3.28. P faktörü (COST 620 Final Raporu 2003).

P_{Skoru}	Akifer koruması azalımı
0,4 – 0,5	Çok yüksek
0,6	Yüksek
0,7	Orta
0,8	Düşük
0,9 -1	Çok düşük

C, O ve P faktörleri belirlendikten sonra COP hassasiyet indeksi bu üç faktör çarpılarak hesaplanır (COST 620 Final Raporu 2003).

$$\text{COP indeksi} = C \cdot O \cdot P \quad (3.10)$$

COP hassasiyet indeksinin değerleri 5 sınıfa ayrılmıştır ve 0 ile 15 arasında değişmektedir (Çizelge 3.29). "Çok yüksek" ve "yüksek" sınıf aralıkları, karbonat kayaçların etkisi ile C ve P faktörünün, O faktörü tarafından sağlanan akifer korumasını çok azalttığı bölgeleri göstermektedir. "Çok düşük" sınıf aralığındaki değerler C ve P faktörünün akifer korumasına çok az etkisi olduğu durumları ifade etmektedir.

Çizelge 3.29. COP indeksi hassasiyet sınıfları (COST 620 Final Raporu 2003).

COP indeksi	Hassasiyet sınıfı
0 - 0,5	Çok yüksek
0,5 - 1	Yüksek
1 - 2	Orta
2 - 4	Düşük
4 - 15	Çok düşük

3.6. PI Metodu

PI metodu, Karlsruhe Üniversitesi Uygulamalı Jeoloji Departmanı'nda COST 620 Projesi kapsamında geliştirilmiştir (COST 620 Final Raporu, 2003). PI metodu karst akiferleri özel olarak ele alan ve YAS genel hassasiyetinin CBS'ye dayanarak haritalanmasında kullanılan bir metottur (Mimi ve Assi, 2009). PI metodu ismini kendini oluşturan faktörlerden almaktadır. Bunlar, koruyucu örtü (P faktörü) ve infiltrasyon şartları (I faktörü)'dır.

$$\pi = P \times I \quad (3.11)$$

π: PI hassasiyet indeksi

P: Koruyucu örtü parametresi skoru

I: İnfiltrasyon koşulları parametresi skoru

3.6.1. P faktörü (Koruyucu örtü)

P faktörü yer yüzeyi ve YAS seviyesi arasında kalan bütün tabakaların (toprak, alt toprak, karstik olmayan ana kaya ve karstik ana kayanın doymamış bölgesi) kalınlığı ve hidrolik iletkenliği tarafından sağlanan koruyuculuk işlevini tanımlamaktadır (Goldscheider vd. 2000). P faktörü belirlenirken, üst toprak (Çizelge 3.30), alt toprak (

Çizelge **3.31**), beslenim (Çizelge 3.32), litoloji (Çizelge 3.33) ve kayaç çatlaklığı (Çizelge 3.34) parametreleri kullanılır. Koruyucu örtü toplam koruma işlevinin değeri olan, Pts, skoru aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanır.

$$\mathrm{Pts} = \left[\mathrm{T} + \left[\sum_{i=1}^{m} \mathrm{Si}\times\mathrm{Mi} + \sum_{j=1}^{n} \mathrm{Bj}\times\mathrm{Mj}\right]\right]\times\mathrm{R} + \mathrm{A} \quad (3.12)$$

$$\mathrm{B} = \mathrm{L}\times\mathrm{F} \quad (3.13)$$

Pts: Koruyucu örtü toplam skoru

T: Üst toprak

S: Alt toprak

M: Her bir tabakanın kalınlığı (m)

B: Ana kaya

R: Beslenim (mm/yıl)

A: Artezyenlik

L: Litoloji

F: Çatlaklı yapı

Ana kaya (B) değeri, L parametresi (litoloji) ve F parametresi (çatlaklık ve karstlaşma) değerlerinin çarpılması ile elde edilir. Her bir tabaka kalınlıklarıyla çarpıldıktan sonra elde edilen değerler toplanarak beslenim miktarıyla çarpılır. Artezyen akiferler için ilave bir koruma fonksiyonu tanımlanmıştır ve A değeri bu tür akiferler için 1500 alınmalıdır (Goldscheider vd. 2000).

Üst toprak parametresi, toprağın su tutma kapasitesini gösteren, "etkin alan kapasitesi" (eFC) olarak verilmiştir (Çizelge 3.30). Su tutma kapasitesi, toprağın bitkilerin kullanımı için depolayabildiği su miktarı olarak tanılanabilir (Nick 2011).

Çizelge 3.30. Üst Toprak (T) parametresinin belirlenmesi (Goldscheider vd. 2000).

1 m derinliğe kadar eFC (mm)	T değeri
>250	750
>200-250	500
>140-200	250
>90-140	125

>50-90	50
<50	10

Çizelge 3.31. Alt toprak (S) parametresinin belirlenmesi (Goldscheider vd. 2000).

Alt toprak türü (tane boyu dağılımı)	S değeri	Alt toprak türü (tane boyu dağılımı)	S değeri
Kil	500	Çok kill, kum,killi kum..	140
Tınlı kil, düşük siltli kil	400	Kumlu kil, çok tınlı kum	120
Düşük kumlu kil	350	Tınlı kum, çok siltli kum	90
Siltli kil, killi siltli tın	320	Az killi kum, siltli kum, kumlu killi çakıl	75
Killi tın	300	Az tınlı kum, kumlu siltli çakıl	60
Çok siltli kil, kumlu kil	270	Az siltli kum, az siltli çakıl	50
Çok tınlı silt	250	Kum	25
Düşük killi tın, killi siltli tın,	240	Çakıllı kum, kumlu çakıl	10
Çok killi silt, siltli tın	220	Çakıl, breşli çakıl	5
Çok kumlu kil, kumlu siltli tın, az kumlu tın	200	Piroklastik malzeme	200
Kumlu tın az tınlı silt	180	Turba	400
Az killi silt, kumlu tınlı silt	160	Sappropel	300

YAS beslenimi yüzeye düşen yağışın YAS'a geçebilen kısmını ifade eder. PI metodunda her noktada R parametresinin belirlenmesi için Çizelge 3.32 kullanmıştır.

Çizelge 3.32. Beslenim (R) parametresinin belirlenmesi (Goldscheider vd. 2000).

Beslenim (mm/yıl)	R değeri
0-100	1,75
>100-200	1,50

>200-300	1,25
>300-400	1,00
>400	0,75

Çizelge 3.33. Litoloji (L) parametresinin belirlenmesi (Goldscheider vd. 2000).

Litoloji	L değeri
Kil taşı, kayrak taşı, marn, silttaşı	20
Kumtaşı, kuvarsit, volkanik kayaç, plütonik, metamorfik	15
Gözenekli kumtaşı, gözenekli volkanik kayaç	10
Konglomera, breş, kireçtaşı dolomit, jips	5

Çizelge 3.34. Çatlaklık (F) parametresinin belirlenmesi (Goldscheider vd. 2000).

Çatlaklılık	F değeri
Çatlaksız	25
Çok az çatlaklı	4
Orta çatlaklı, çok az karstlaşmış ya da karst yapıları tamamen tıkanmış	1
Orta çatlaklı, çok az karstlaşmış ya da karst yapıları kısmen tıkanmış	0,5
Yoğun çatlaklı ya da aşırı karstlaşmış ve tamamen açık	0,3
Tıkanmamış aşırı epikarst gelişimi	0
Tanımlanamayan durumlar	1

PI metodunun P faktörünü oluşturan PTS skoru için 5 sınıf tanımlanmıştır (Çizelge 3.35). PTS≤10 olduğu durumlarda çok düşük doğal koruma ve aşırı hassas (P=1) durumları gösterirken, PTS>10000 çok yüksek derecede korumayı, dolayısıyla çok düşük hassasiyeti (P=5) göstermektedir (Goldscheider vd. 2000).

Çizelge 3.35. Koruyucu örtü ve P faktörü (Goldscheider vd. 2000).

P_{TS} skoru	Koruyu örtü etkinliği	P-faktörü	Örnek
0-10	Çok düşük	1	0-2 m çakıl

>10-100	Düşük	2	1-10 m çakıllı kum
>100-1000	Orta	3	2-20 m az siltli kum
>1000-10000	Yüksek	4	2-20 m kil
>10000	Çok yüksek	5	>20 m kil

3.6.2. I faktörü (İnfiltrasyon Koşulları)

İnfiltrasyon koşulları, yüzeyden YAS'a geçebilecek olan kirleticilerin yer tabakaları tarafından tutulma derecesini gösterir. Bu parametre hesaplanırken hidrolik iletkenlik, geçirimli tabakaya olan uzaklık, toprak türü, yüzey eğimi ve arazi kullanımı gibi parametreler göz önünde bulundurulur. Bu parametrenin belirlenmesi üç adımdan oluşur. Birinci adımda doygun hidrolik iletkenlik ve geçirimli tabakaya olan uzaklık değerleri dikkate alınarak toprak katmanının özellikleri belirlenir (Çizelge 3.36). İkinci adımda belirlenen toprak katmanı özellikleri, yüzey eğimi ve arazi kullanımı dikkate alınarak I' faktörü belirlenir (Çizelge 3.37). Son adımda ise belirlenen I' faktörü ve alandaki karstik oluşumlar dikkate alınarak I faktörü katsayısı belirlenir (Çizelge 3.38) (Goldscheider vd. 2000).

Çizelge 3.36. Toprak katmanının özelliklerinin belirlenmesi (Goldscheider vd. 2000).

	Düşük geçirimli tabakaya olan uzaklık (cm)		
Doygun hidrolik iletkenlik (m/s)	<30 cm	30 – 100 cm	> 100 cm
$> 10^{-4}$	D Tipi	C Tipi	A Tipi
$10^{-4} – 10^{-5}$		B Tipi	
10^{-5} - 10^{-6}		E Tipi	
$< 10^{-6}$		F Tipi	

Çizelge 3.37. I' faktörünün belirlenmesi (Goldscheider vd. 2000).

Arazi Kullanımı: Tarla/Çayır/Otlak			
Toprak Özellikleri	**Eğim (%)**		
	< %3,5	%3,5 - %27	> %27
A Tipi	1,0	1,0	0,8
B Tipi	1,0	0,6	0,4
C Tipi	1,0	0,4	0,2
D Tipi	0,6	0,4	0,2
E Tipi	0,8	0,4	0,2
F Tipi	0,6	0,2	0,0
Yerleşim Alanları İçin I': 0,8			
Arazi Kullanımı: Orman			
Toprak Özellikleri	**Eğim (%)**		
	< %3,5	%3,5 - %27	> %27
A Tipi	1,0	1,0	1,0
B Tipi	1,0	0,8	0,6
C Tipi	1,0	0,6	0,4
D Tipi	0,8	0,6	0,4
E Tipi	1,0	0,6	0,4
F Tipi	0,8	0,4	0,2

Çizelge 3.38. I parametresinin belirlenmesi (Goldscheider vd. 2000).

Havza Yüzey Özellikleri	**I' faktör**					
	0,0	**0,2**	**0,4**	**0,6**	**0,8**	**1,0**
Düden, yeraltı nehirlerine 10 m uzaklıkta	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Düden, yeraltı nehirlerine 100 m uzaklıkta	0,0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
Yeraltı nehrinin beslenim alanı içinde	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,0
Diğer alanlar	0,4	0,6	0,8	1,0	1,0	1,0

3.7. EPIK Metodu

EPIK yöntemi, karstik akiferlerin kirliliğe duyarlılığının değerlendirilmesi için Doerfliger vd. (1999) tarafından İsviçre'de geliştirilmiştir. Çok amaçlı ağırlık ve derecelendirmelerden oluşan bu metot, özellikle karstik alanlarda YAS kirlilik hassasiyeti seviyesinin belirlenmesi için kullanılmaktadır. Bu metot Epikarst (E), Koruyucu örtü (P), İnfiltrasyon koşulları (I), Karst ağı gelişimi (K) parametrelerini dikkate almaktadır. Her parametreye önem derecesine göre bir ağırlık katsayısı ve parametre özelliklerine göre derecelendirme katsayıları verilmiştir. Her parametreye ait ağırlık ve derecelendirme katsayıları kendi içinde çarpılarak o parametreye ait hassasiyet skoru belirlenir. Her parametrenin hassasiyet skoru belirlendikten sonra bu hassasiyet skorları toplanarak nihai hassasiyet skoru elde edilir. Hesaplanan Fp değeri ne kadar düşük ise hassasiyet o kadar yüksektir. EPIK yönteminde tanımlanan ağırlık katsayıları Çizelge 3.39'da hesaplanan Fp değerine göre hassasiyet sınıfları Çizelge 3.40'ta verilmiştir.

$$Fp=\alpha\times E+\beta\times P+\gamma\times I+\delta\times K \quad (3.14)$$

Fp: Koruma faktörü

α: Epikarst parametresi ağırlık katsayısı

E: Epikarst parametresi derecelendirme katsayısı

β: Koruyucu örtü parametresi ağırlık katsayısı

P: Koruyucu örtü parametresi derecelendirme katsayısı

γ: İnfiltrasyon koşulları parametresi ağırlık katsayısı

I: İnfiltrasyon koşulları parametresi derecelendirme katsayısı

δ: Karst ağı gelişimi parametresi ağırlık katsayısı

K: Karst ağı gelişimi parametresi derecelendirme katsayısı

Çizelge 3.39. EPIK yönteminde kullanılan ağırlık katsayıları (Doerfliger vd. 1999).

Parametre	**Ağırlık katsayısı**
Epikarst (α)	3
Koruyucu Örtü (β)	1
İnfiltrasyon koşulları (γ)	3
Karst ağı gelişimi (δ)	2

Çizelge 3.40. EPIK yönteminde belirlenmiş hassasiyet sınıfları (Doerfliger ve Zwahlen 1998).

Koruma faktörü (F_p)	Hassasiyet sınıfı
9 < Fp < 19	Çok yüksek
20 < Fp < 25	Yüksek
F_p > 25	Orta
P4 varlığı	Düşük

3.7.1. Epikarst parametresi (E)

Epikarst parametresi sıkışmış toprağın altında kalan epikarst kısmını ifade etmektedir. Karst ağının gelişmişlik derecesi ve yapısı yüzeyden yeraltına sızabilecek olan kirleticileri etkileyen bir faktördür. EPIK yönteminde epikarst parametresi için üç sınıf belirlenmiştir. Bu sınıflar ve belirlenen derecelendirme katsayıları Çizelge 3.41'de verilmiştir.

Çizelge 3.41. Epikarst parametresinden kullanılan derecelendirme katsayıları (Doerfliger ve Zwahlen 1998).

EPIK yöntemi parametresi	Açıklama	Derecelendirme katsayısı
Çok iyi gelişmiş (E_1)	Mağaralar, sığ delikler, düdenler, karen alanları, birikme alanları	1
Orta düzeyde gelişmiş (E_2)	Düden yapıları, uvalalar, kuru vadiler, kanyonlar, polyeler	3
Az ya da bulunmayan (E_3)	Drenaj alanının geri kalanı	4

3.7.2. Koruyucu örtü parametresi (P)

Koruyucu örtü parametresi, zemin ile YAS tablası (ağırlıklı olarak toprak, toprak altı karst olmayan kaya, doygun olmayan karstik kaya) arasındaki kirletici taşınımı açısından koruyucu işlev gören tabakaları tanımlar. EPIK yönteminde koruyucu örtü parametresinde kullanılan derecelendirme katsayıları Çizelge 3.42'de verilmiştir.

Çizelge 3.42. Koruyucu örtü parametresi ve derecelendirme katsayıları (Doerfliger vd. 1999).

Koruyucu örtü	Açıklama	Derecelendirme katsayısı	
	A. Karbonatlı kayaçlar üzerinde olan toprak veya çok yüksek hidrolik iletkenlikli pekişmemiş malzemeler	B. Düşük iletkenliği olan jeolojik birimler üzerindeki toprak	
P_1	0-20 cm toprak örtüsü	20 cm'den daha ince düşük iletkenlikli jeolojik birimler	1
P_2	20-100 cm toprak örtüsü	20-100 cm toprak/düşük hidrolik iletkenliği olan yapılar	2
P_3	>100 cm toprak örtüsü	> 100cm toprak/düşük iletkenlikli jeolojik birimler	3
P_4	>200 cm toprak örtüsü	> 8 m çok düşük iletkenlikli jeolojik birim veya 1m toprağı ve 6 m'den daha kalın çok düşük iletkenlikli jeolojik birim	4

3.7.3. İnfiltrasyon şartları parametresi (I)

İnfiltrasyon şartları yüzeyden akifere geçebilecek suyun miktarı ile ilgili bir parametredir. İnfiltrasyon şartlarının belirlenmesinde yüzey eğimi, bitki örtüsü gibi parametreler kullanılmaktadır. EPIK yönteminde infiltrasyon şartları parametresi için dört sınıf belirlenmiştir ve bu sınıflar Çizelge 3.43'te verilmiştir.

Çizelge 3.43. İnfiltrasyon şartları parametresinde kullanılan derecelendirme katsayıları (Doerfliger vd. 1999).

İnfiltrasyon şartları	Açıklama	Derecelendirme katsayısı
I_1	Çok yıllık veya geçici düdenler – düdene su taşıyan geçici veya kalıcı akarsu yatak ve kıyıları - yapay drenaj alanlar	1
I_2	Yapay olarak drene olmayan I1 ile tanımlanan alanlar ve ekili alanlarda eğimin %10'dan fazla olduğu alanlar ve %25'ten büyük çayır ve otlaklar	2
I_3	Yapay olarak drene olmayan su toplama alanları ve ekili alanlarda eğimin %10'dan az olduğu alanlar ve %25'ten küçük çayır ve otlaklar. Su toplama alanı yüzeyi dışında: yüzey akışının infiltre olduğu, eğim etekleri ve step eğilimleri (ekili alanlarda %10'dan fazla olduğu alanlar ve %25'ten büyük çayır ve otlaklar)	3
I_4	Su toplama alanının geri kalanı	4

3.7.4. Karst ağının gelişimi parametresi (K)

Akiferdeki karst ağı gelişiminin derecesinin tanımlanması için önerilmiş bir parametredir. Mağaralar, düdenler ve aktif mağara sistemleri karst ağının göstergesi olarak kabul edilmektedir. Karst ağı gelişimi suyun akış hızı için önemli rol oynadığından karstik akiferlerin kirliliğe karşı hassasiyet analizinde önemlidir. EPIK yönteminde karst ağının gelişimi parametresi için üç sınıf belirlenmiştir (Çizelge 3.44).

Çizelge 3.44. Karst ağının gelişimi parametresi ve derecelendirme katsayıları (Doerfliger vd. 1999).

Karst ağının gelişimi	Açıklama	Derecelendirme katsayısı
İyi gelişmiş karstik ağ K_1	Desimetre ila metre genişliğinde çözünme boşluklu, az dolgulu ve iyi bağlantılı olan iyi gelişmiş karstik ağ	1
Az gelişmiş karstik ağ K_2	Desimetre ya da daha dar çaplı tıkanmış ya da az gelişmiş konditler içeren az gelişmiş karst ağı	2
Karışık veya çatlaklı akifer K_3	Gözenekli ortamın süzülme koşullarını kontrol ettiği sistemler ve çatlaklı karstlaşmamış kireçtaşı akiferleri dâhil	3

3.8. Kirletici Unsur

YAS kaynaklarına yönelik artan talep ile birlikte YAS kalitesini olumsuz yönde etkileyen kirleticilerin artış göstermesi, YAS kalitesinin korunması ve yönetimi açısından ciddi tehditler oluşturmaktadır. YAS kaynaklarından optimum düzeyde faydalanılması açısından özellikle karstik ortamlar için yürütülen çalışmalarda güncel araştırma tekniklerinin sistematik bir biçimde uygulanması gerekmektedir (Günay 1993). YAS kalitesinin entegre yönetimi açısından YAS'ın kirliliğe karşı hassasiyetinin belirlenmesini, kirletici unsurların incelenmesini ve risk analizini içeren bütünleşik bir yaklaşım izlenmelidir. YAS'ın kirliliğe karşı gerçek hassasiyetinin (intrinsic vulnerability to pollution) belirlenmesi için temel olarak akifer beslenim bölgesinden kirleticilerin YAS'a ulaşması ve taşınımı açısından ne kadar koruyucu kapasiteye sahip olduğu irdelenir. Kirletici unsur ve YAS risk değerlendirmesi çalışmasında karst akiferler için YAS kirlilik hassasiyeti, kirletici unsur ve YAS kirlilik riski tanımlamalarını bütüncül olarak ele alan COST 620 Vulnerability and Risk Mapping for the Protection of Carbonate (Karst) Aquifers Final Report (COST Action 620 Final Raporu 2003) çalışmasından faydalanılmıştır.

Kirletici unsur (hazard) yer yüzeyinde gerçekleşen insan faaliyetlerinden kaynaklanan ve kontaminasyona sebep olan potansiyel kirleticiler olarak tanımlanır. Kirletici unsur değerlendirmesinde her kirletici için potansiyel zarar derecesi dikkate alınmaktadır. Kirletici unsur değerlendirmesi, hem kontaminasyon olayı sonucunda salınan zararlı madde miktarına, hem de toksisitesine bağlı olarak belirlenir. Kirletici unsurlar arazi kullanımı çeşidine göre sınıflandırılmalıdır. Arazi kullanımının lokal veya bölgesel ölçekte genel ayrımı altyapı, endüstriyel ve tarımsal aktiviteler olarak üç ana kategoriyi oluşturur (COST Action 620 Final Raporu 2003). Bu ana kategoriler Kirletici Unsur Envanterinde Seviye I kategorisi olarak verilir (Çizelge 3.45). Önerilen Seviye II kategorileri, kirletici unsurların olası YAS kirlenmesinin ana kaynaklarına (katı veya sıvı kirleticiler) göre ilave kriterlerle ayrılmasını sağlar. Daha fazla altbölümlere ayrılmış Seviye III kategorisindeki kirletici unsurlar Çizelge 3.46'da verilmiştir. Böylece YAS kirliliği ile ilişkili olduğu düşünülen pek çok kirletici unsur listelenerek kirletici unsurların değerlendirilmesi, haritalanması ve altbölümlere ayrılmasında ekonomik ve pratik bir yol oluşturulmuştur. Çalışma alanına özgü spesifik kirleticiler için Çizelge 3.46 genişletilebilir.

Çizelge 3.46'da verilen ve karst sistemler için tehlikeli olan aktivitelerden kaynaklanan ana etkiler:

Hava kirliliği emisyonu

Atık suların deşarjı ve sulu olmayan organik sıvılar

Katı atıkların depolanması ve bertarafı

Maden, inşaat işleriyle ilgili kazılar

Gübre ve pestisitlerin dağılımı şeklinde özetlenebilir.

Çizelge 3.45. YAS'ın korunması amacıyla kirletici unsurların sınıflandırılması (COST Action 620 Final Raporu 2003).

No	Seviye I Kirletici Unsur Kategorisi	Seviye II Kirletici Unsur Kategorisi
1	**Altyapısal Gelişim**	Atık su
1.1		Kentsel atık
1.2		Yakıtlar
1.3		Ulaşım ve trafik
1.4		Rekreasyonel tesisler
1.5		Farklı tehlikeler
1.6		
2	**Endüstriyel Aktiviteler**	Madencilik (çalışır durumda ve terk edilmiş)
2.1		Kazı alanları
2.2		Petrol ve gaz arama
2.3		Sanayi tesisleri (Madencilik dışında)
2.4		Santraller
2.5		Endüstriyel depolama
2.6		Atık suyun aktarılması ve arıtılması
2.7		
3	**Çiftlik Hayvanları ve Tarım**	Çiftlik hayvanları
3.1		Tarım
3.2		

Çizelge 3.46. Kirletici unsur ağırlık değerleri (COST Action 620 Final Raporu 2003).

No	Kirleticiler	Ağırlık faktörü (H)	Harita sembolleri		
			İşaretleyici	Çizgi	Gölge
1	**Altyapısal Gelişim**				
1.1	**Atık Su**				
1.1.1	Kentsel Alan (Sızdıran kanalizasyon boruları ve kanalizasyon sistemleri)	35			1
1.1.2	Kanalizasyon sistemi olmayan kentsel alan	70			1
1.1.3	Kanalizasyon sistemi olmayan müstakil evler	45	1		
1.1.4	Lağım çukuru, foseptik, umumi tuvalet	45	2		
1.1.5	Atık su ile sulama sistemleri olan çiftlikler	55	3		9
1.1.6	İkincil Arıtma tesisinden deşarj	35	4		
1.1.7	Kentsel atık suların yüzeyde depolanması	60	5		9
1.1.8	Asfalt yüzeylerden meydana gelen yüzey akışı	25	6	1	
1.1.9	Yüzeysel sulara atık su deşarjı	45	7		
1.1.10	Atık su enjeksiyon kuyuları	85	8		
1.2	**Kentsel Atıklar**				
1.2.1	Çöp yığını, çöp tenekesi, çöp kutusu	40	9		8
1.2.2	Çöp yükleme istasyonları ve hurdalıklar	40	10		8
1.2.3	Düzenli depolama sahası	50	11		8
1.2.4	Yıkım atıkları ve moloz depo alanı	35	12		8
1.2.5	Arıtma tesislerinden gelen çamur	35	13		
1.3	**Yakıtlar**				
1.3.1	Yer üstündeki depolama tankları	50	14		
1.3.2	Yer altındaki depolama tankları	55	15		
1.3.3	Petrol Varili	50	16		

Çizelge 3.46'nın devamı

1.3.4	Depolama alanı	50	17		11
1.3.5	Yakıt yükleme istasyonu	60	18		
1.3.6	Akaryakıt istasyonu	60	19		
1.3.7	Yakıt depolama mağaraları	65	20		
1.4	**Ulaşım ve Trafik**				
1.4.1	Emniyetsiz yol	40		2	
1.4.2	Emniyetsiz tünel	40	21		
1.4.3	Nakliye deposu	35	22		11
1.4.4	Araç park alanları	35	23		11
1.4.5	Demiryolu hattı	30		3	
1.4.6	Emniyetsiz demiryolu tüneli	30	24		
1.4.7	Tren istasyonu	35	25		
1.4.8	Manevra garı	40	26		
1.4.9	Pist	35	27	2	
1.4.10	Tehlikeli sıvı atıkların iletildiği boru hattı	60		4	
1.5	**Dinlence- Eğlence Tesisleri**				
1.5.1	Turistlerin yaşadığı kentsel alan	30	28		2
1.5.2	Kamp Alanı	30	29		2
1.5.3	Açık spor salonu	25	30		3
1.5.4	Golf sahası	35	31		3
1.5.5	Kayak sahası	25	32		3
1.6	**Çeşitli Kirleticiler**	25			
1.6.1	Mezarlık	25	33		10
1.6.2	Hayvan mezarlığı	35	34		10
1.6.3	Kuru temizleme tesisi	30	35		
1.6.4	Trafo merkezi	35	36		
1.6.5	Askeri tesisler ve terk edilmiş binalar		37		13

Çizelge 3.46'nın devamı

2	**Endüstriyel Aktiviteler**				
2.1	**Madencilik (Çalışan veya kapatılmış)**				
2.1.1	Tuz madeni	60	38		7
2.1.2	Metal dışındaki madenler	70	39		7
2.1.3	Maden yatağı	70	40		7
2.1.4	Kömür madeni	70	41		7
2.1.5	Uranyum madeni	80	42		7
2.1.6	Tehlikeli hammaddelerin açık alanda depolanması	85	43		6
2.1.7	Cevher çıkarma ve zenginleştirme tesisleri	70	44		
2.1.8	Maden atıkları ve çöpleri	70	45		6
2.1.9	Atık maden posası	70	46		6
2.1.10	Maden drenajı	65	47	5	
2.1.11	Tortu biriktirme havuzları	65	48		6
2.2	**Kazı Alanları**				
2.2.1	Genişleme için kazı ve dolgu	10	49		
2.2.2	Kum ve çakıl ocağı	30	50		12
2.2.3	Taş ocağı	25	51		12
2.3	**Petrol ve gaz kullanımı**				
2.3.1	Üretim kuyusu	40	52		
2.3.2	Reenjeksiyon kuyusu	70	53		
2.3.3	Yükleme istasyonu	55	54		
2.3.4	Petrol boru hattı	55		4	
2.4	**Endüstriyel Tesisler (Maden Dışında)**				
2.4.1	Dökümhane	40	55		4
2.4.2	Demir metal işleri	40	56		4
2.4.3	Metal işleme ve cila endüstrisi	50	57		4

Çizelge 3.46'nın devamı

2.4.4	Elektroliz kaplama işleri	55	58		4
2.4.5	Petrol rafinerisi	85	59		4
2.4.6	Kimya endüstrisi	65	60		4
2.4.7	Kauçuk ve lastik endüstrisi	40	61		4
2.4.8	Kâğıt ve selüloz üretimi	40	62		4
2.4.9	Deri endüstrisi	70	63		4
2.4.10	Gıda endüstrisi	45	64		4
2.5	**Enerji Üretimi**				
2.5.1	Doğalgaz ile enerji üretimi	60	65		4
2.5.2	Termik santral	50	66		4
2.5.3	Nükleer santral	65	67		4
2.6	**Endüstriyel Depo Alanları**				
2.6.1	Hammadde ve kimyasalların depolanması	60	68		
2.6.2	Tehlikeli maddelerin depolanması	70	69		
2.6.3	Kül ve mucur depolanması	70	70		5
2.6.4	Tehlikesiz atık depo alanı	45	71		5
2.6.5	Tehlikeli atık depo alanı	90	72		5
2.6.6	Nükleer atık alanı	100	73		5
2.7	**Atık Azaltma ve Atık Su Arıtımı**				
2.7.1	Atık su boru hattı	65		5	
2.7.2	Endüstriyel atık sular için yüzey havuzu	65	74		9
2.7.3	Arıtma tesislerinden deşarj	40	75		
2.7.4	Atık su enjeksiyon kuyuları	85	76		
3	**Hayvancılık ve Tarım**				
3.1	**Hayvancılık**				
3.1.1	Hayvan ahırı (Ağıl, kümes, domuz ağırı)	30	77		
3.1.2	Besi yeri	30	78		

Çizelge 3.46'nın devamı

3.1.3	Fabrika çiftliği	30	79	
3.1.4	Gübre yığını	45	80	
3.1.5	Sulu gübre depolama tankı veya havuzu	45	81	
3.1.6	Yoğun otlatma yapılan alanlar	25		14
3.2	**Tarım**			
3.2.1	Açık yeşil alan (tarla)	25	82	
3.2.2	Kapalı yeşil alan	20	83	
3.2.3	Gübre ve pestisit depo alanı	40	84	
3.2.4	Yoğun tarım yapılan alanlar (yüksek miktarda gübre ve pestisit kullanılan)	30	85	14
3.2.5	Hobi bahçesi	15	86	14
3.2.6	Sera	20	87	14
3.2.7	Atık su ile sulama yapılan alanlar	60	88	14

Her tür tehlikeli unsurun potansiyel zararlılık derecesini belirlemek için aşağıdaki bilgilere ihtiyaç vardır:

Aktivitenin süreci veya doğası (üretim, depolama, vb.),

Kirletici maddenin çeşidi,

Oluşabilecek maddelerin miktarı,

Tesis ve fabrikaların yaşı ve durumu.

Bu bilgiler, bütün kirleticilerin lokasyonları, kapladıkları alan, topografik haritalardan çıkarılan, hava fotoğraflarının değerlendirilmesinden, arşivlerden toplanan, arazi çalışmasından ve şirketlerle yapılan görüşmeler neticesinde elde edilen verilerle birlikte değerlendirilmelidir.

Bir kirleticinin YAS'a ve YAS kalitesine olası etkisi önemli ölçüde değişkenlik gösterir. Çizelge 3.46'da verilen kirletici unsurların YAS'a olası zarar ve tahribatlarının karşılaştırılabilmesi ve olası YAS koruma alanlarının ve önlemlerinin formülasyonu için ağırlıklandırma sistemi kurulmuştur. COST Action 620 çalışmasında oluşturulan ağırlık faktörleri Çizelge 3.46'da verilmiştir. Ağırlık faktörleri 10 ile 100 arasında değişmektedir. Bununla birlikte her bir kirletici kategorisinin kendi içinde zararsızlıklarının karşılaştırılabilmesi için sıralama faktörü belirlenmelidir. Temel olarak

zarar derecelerindeki farklılık kirletici maddenin değişen miktarlarda dökülmesi ve YAS'a ulaşmasından kaynaklanmaktadır. Ortalama ağırlık değerlerinde adil bir dengenin sağlanması ve sürdürülebilmesi için 0,8 ve 1,2 arasında değişen sıralama faktörü (Q_n) değeri ile çarpılarak söz konusu toksik kirleticinin az veya çok miktarda oluşuna bağlı olarak ortalama değerlerden farklılaşması sağlanmalıdır.

Kirlilik ile ilişkilendirilen kirletici maddenin miktarı ve çeşidinin dışında, teknik durumu, bakım durumu, çevresel şartlar ve güvenlik tedbirleri YAS kirlenmesinin olasılığının değerlendirilmesinde önemli faktörlerdir. Kirletici unsur değerlendirmesi için kullanılan indeksin hesaplanmasında bu faktörlerin göz önüne alınması *azaltma faktörü (R_f)* kullanılarak sağlanır. Böylece azaltma faktörü, spesifik bir kirletici unsura bağlı olarak bir kontaminasyon olayının gerçekleşme olasılığına yönelik azaltma etkisini sağlar. Söz konusu faktörler hakkında bilgi yoksa veya YAS etkileme olasılığını azaltmak için sebep yoksa, R_f=1 olarak alınır. Faktör 0 olarak alınırsa, YAS kirletme riski yok demektir. Azaltma faktörüne 0-1 arasında değişen değerler verilebilir.

Özet olarak; kirletici unsura bağlı tehlike düzeyinin tahmininde her kirletici unsurun zarar derecesini kontrol etmek için üç faktör kullanılmaktadır (COST 620 Final Raporu, 2003). Öncelikle yüklemeye ilişkin bir ağırlık faktörü olan *H* belirlenir. Bu faktör, değerlendirmeye tabi tutulan kirleticinin zehirlilik etkisi, çözünürlüğü ve mobilitesi gibi özelliklerini değerlendirir. Sıralamaya yönelik *Qn* faktörü aynı çeşitteki kirleticilerin karşılaştırılması için ortama bırakılabilecek kirleticinin rölatif miktarının tahmin edilmesini sağlar. Son olarak *Rf* faktörü ise spesifik bir kirletici unsura bağlı olarak bir kontaminasyon olayının gerçekleşme olasılığına yönelik azaltma etkisini sağlamaktadır. Kirletici unsur değerlendirmesi için kullanılan indeks belirtilen üç faktörün çarpılması ile elde edilmektedir (COST 620 Final Raporu, 2003) .

$$HI = H.Qn.\ Rf \qquad (3.15)$$

HI= kirletici indeksi (Hazard Index)

H= ağırlık faktörü

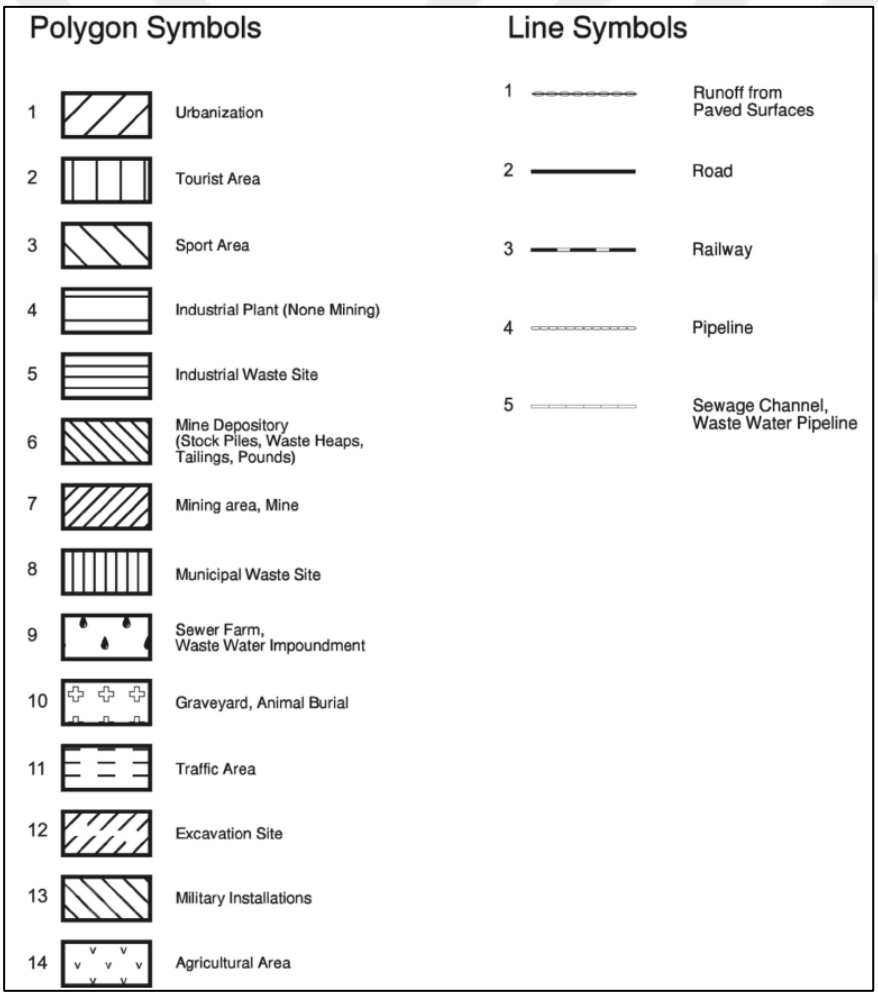
Qn= sıralama faktörü

Rf= azaltma faktörü

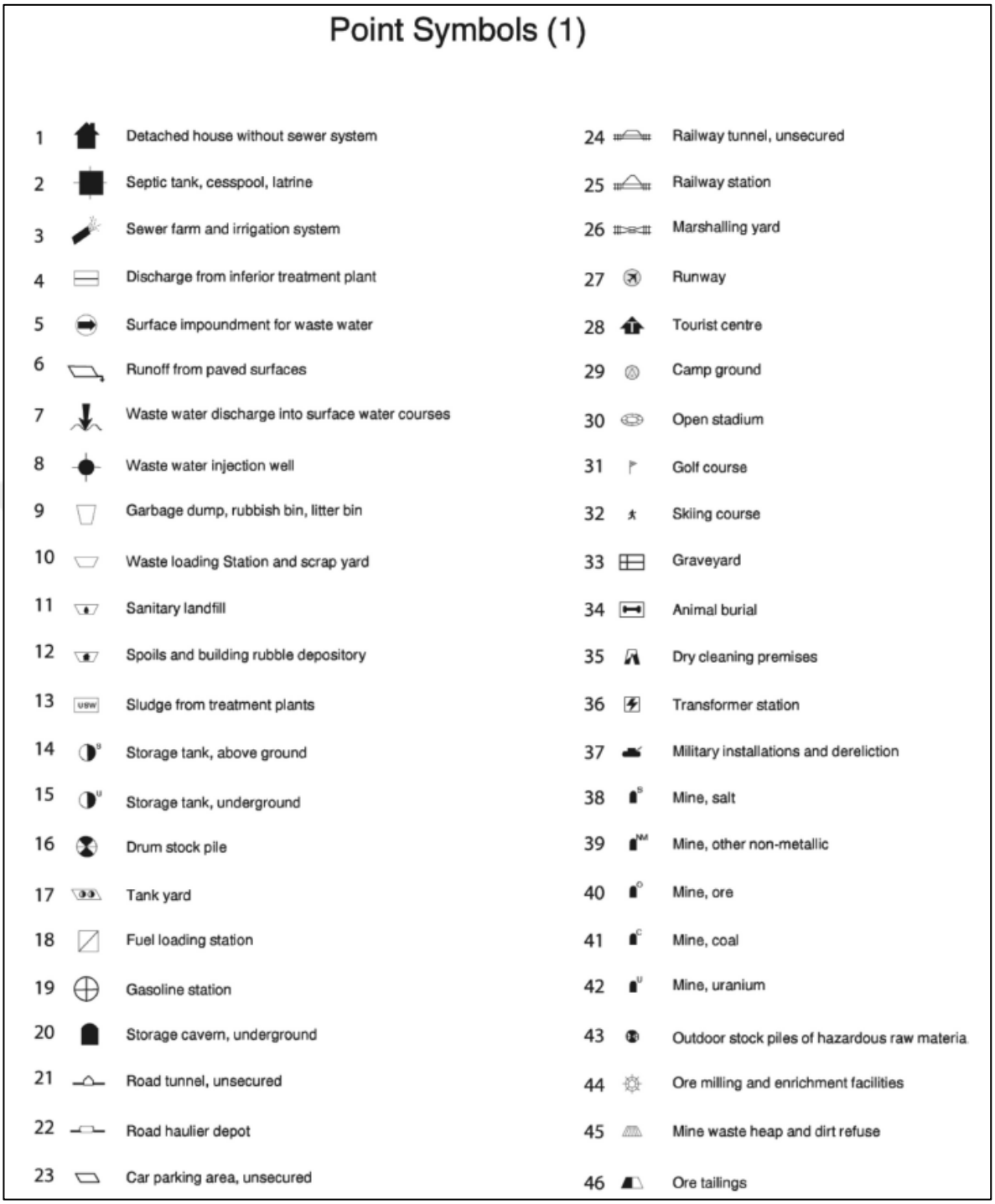
Kirletici İndeksi 0 ila 120 arasında skor alabilir. Elde edilen kirletici indeks değerlerinin 5 veya 6'dan fazla sınıfa ayrılmaması tavsiye edilir. Çizelge 3.46'daki envanter listesinde yer alan bütün kirletici unsurlar için haritalamada kullanılacak semboller Şekiller 3.10, 3.11 ve 3.12'de verilmiştir. Çizelge 3.47'de ise farklı kirletici unsurların potansiyel zararsızlık derecelerine kirletici indeksine göre renkler atanmıştır. Söz konusu çizelge, yok veya çok az kirletici seviyesini gösteren mavi renk ile başlayıp, yeşil, sarı ve turuncu ile devam edip çok yüksek kirletici seviyesini gösteren kırmızı renkle son bulmaktadır.

Çizelge 3.47. Kirletici indeksi ve kirletici sınıfları (COST Action 620 Final Raporu 2003).

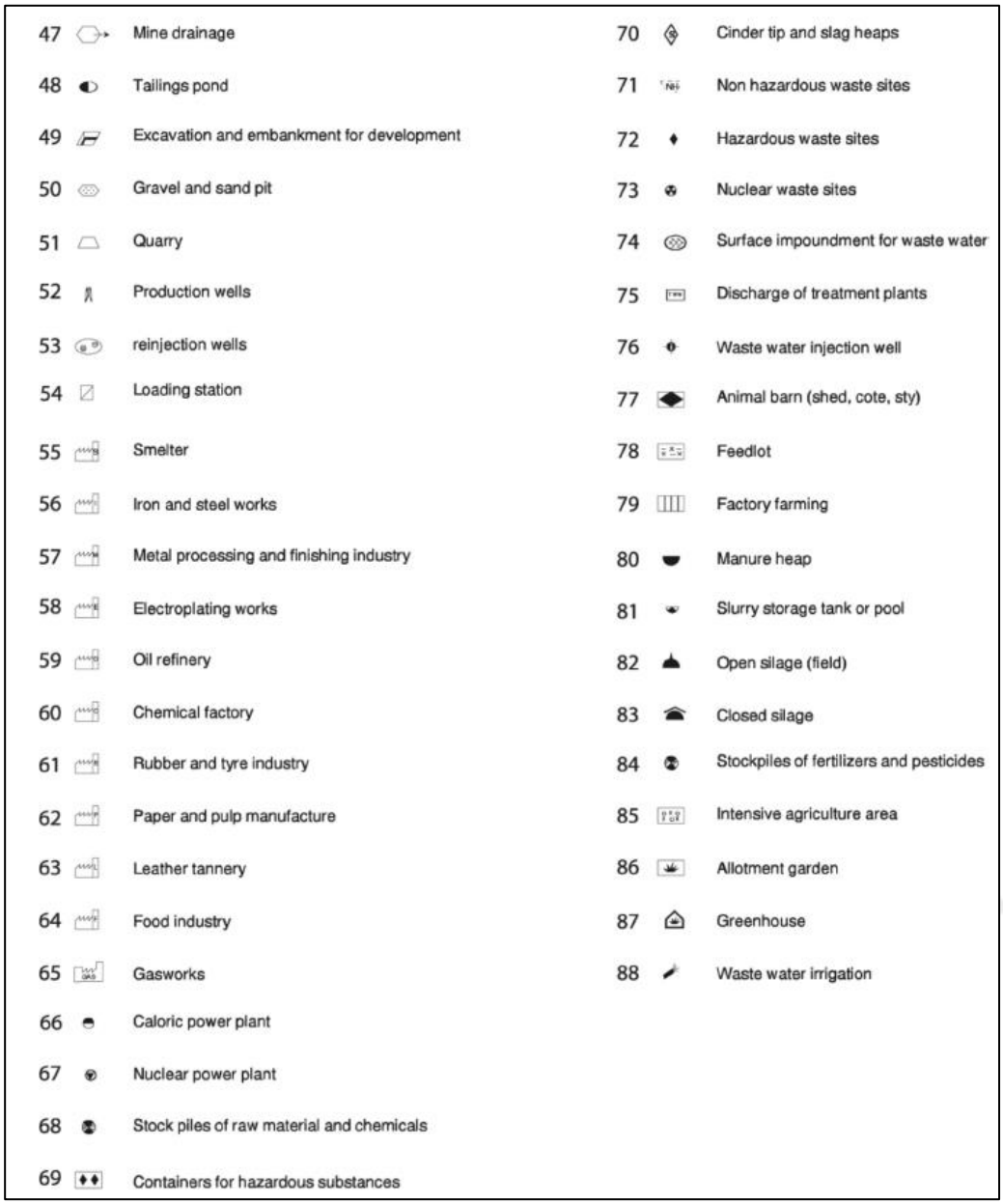
Kirletici indeksi	Kirletici sınıfı	Kirletici seviyesi	Renk
0-24	1	yok veya çok az	mavi
>24-48	2	az	yeşil
>48-72	3	orta	sarı
>72-96	4	yüksek	turuncu
>96-120	5	çok yüksek	kırmızı



Şekil 3.13. Kirletici Unsur Haritalaması için poligon ve çizgi semboller (COST Action 620 Final Raporu 2003).



Şekil 3.14. Kirletici Unsur Haritalaması için nokta semboller-1 (COST Action 620 Final Raporu 2003).



Şekil 3.15. Kirletici Unsur Haritalaması için nokta semboller-2 (COST Action 620 Final Raporu 2003).

3.9. Risk Değerlendirmesi

YAS risk değerlendirmesi**,** potansiyel bir kontaminasyon olayının sonuçlarını belirleyebilmek için uygulanır. Risk değerlendirmesi açısından genellikle belirli bir miktar ve konsantrasyondaki kirleticinin YAS'a ulaşma olasılığını ifade eden bir Risk Yoğunluğu İndeksi (Risk Intensity Index) hesaplanmaktadır. Risk yoğunluğu indeksi, gerçek hassasiyeti ve kirletici unsurları dikkate alır. Risk değerlendirmesi için elde edilen gerçek hassasiyet haritası ile sınıflandırılmış kirletici unsur haritası çakıştırılmaktadır.

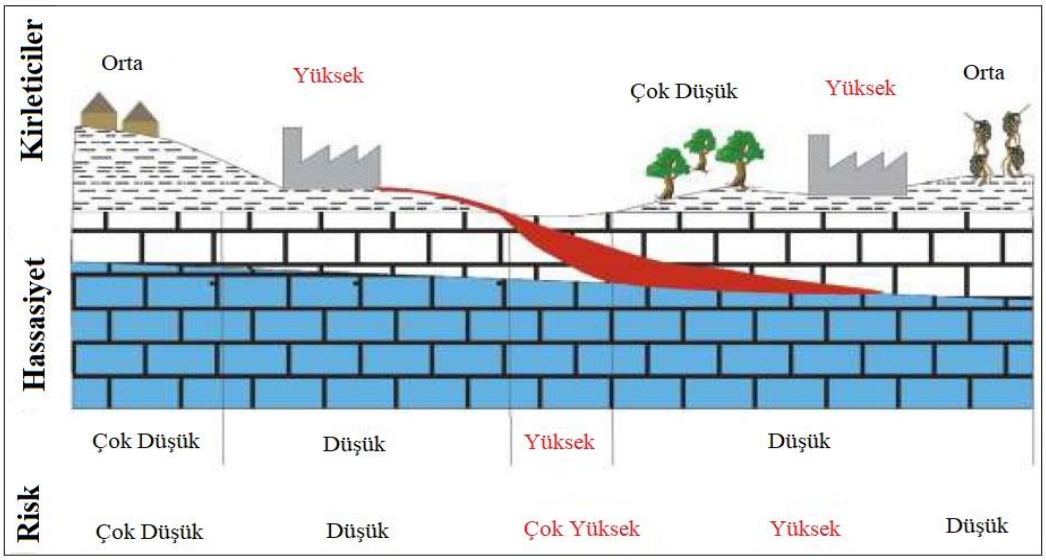
Morris ve Foster (2000) YAS kirlilik riskini, akiferdeki YAS'ın beslenim bölgesindeki faaliyetler neticesinde kabul edilemez seviyelerde kontaminasyonu olarak tanımlamaktadır. Bu yaklaşımda, ilgilenilen bir lokasyondaki yüzey altı kirletici yükü ile akiferin kirlilik hassasiyeti arasındaki etkileşim kullanılır. Basitleştirilmiş bir yol olarak, risk yoğunluğu değerlendirilir ve nihai risk indeksi belirli bir miktar ve konsantrasyondaki kirleticilerin YAS yüzeyine ulaşma olasılığı olarak tanımlanır. YAS kirliliği için risk yoğunluk indeksi hem hassasiyete hem de kirletici unsurlara bağlıdır. Önemli miktarda kirletici yükü yok ise yüksek akifer hassasiyetine sahip alanlarda bile düşük risk indeksine sahip olunması mümkündür. Tam tersi bir durumda, çok yüksek kirlilik yüklemesi olan düşük akifer hassasiyetine sahip alanlarda, yüksek risk indeks değerine sahip olunabilir (Zwahlen 2003). Risk değerlendirmesinde üst katmanların koruyucu özellikleri ile mevcut kirlilik unsurları ve kirleticinin ilerlemesine yönelik risk seviyesi birlikte irdelenir. Kirliliğe karşı hassasiyet, kirletici unsur ve risk değerlendirmesi sürecinde farklı lokasyonlardaki noktasal veriler toplanır ve değerlendirilir. Elde edilen jeo-referanslı ve ilişkili verilerin depolanması, yönetimi, analiz edilmesi ve haritalandırılmasında CBS yaygın olarak kullanılır.

Çalışmada uygulanan YAS kirliliğine karşı hassasiyet, kirletici unsur ve risk haritalaması ve değerlendirmesi yaklaşımı kaynak nokta-yol-hedef sistematiğine dayanmakta olup su kaynaklarının korunmasına yöneliktir. Bu yaklaşımda kaynak nokta (origin) kirliliğin bırakıldığı alan olarak kabul edilir. Yol (pathway) kaynak noktadan çıkan kirleticinin sistem içerisinde korunması hedeflenen noktaya kadar izlediği akış yoludur. Yol kavramı içinde kirleticinin YAS'a ulaşana kadar yer yüzeyinden su tablasına kadarki hareketi tanımlanır. Hedef (target) korunması istenilen sudur. Hedef olarak akiferdeki YAS veya bir kuyu veya membadaki su tariflenebilir (Goldscheider, 2004). Kirletici unsur (hazard) temel olarak arazi yüzeyindeki insan faaliyetlerine bağlı olarak ortaya çıkan potansiyel kirlilik kaynaklarıdır (De Ketelaere vd. 2004). Dolayısıyla, YAS kirliliği, kirletici unsur (kaynak nokta-origin), sistem hassasiyeti (yol–pathway) ve bir kontaminasyon olayının YAS üzerindeki potansiyel etkilerine (hedef–target) bağlıdır (Daly vd. 2004). Şekil 3.14'te YAS'ın risk değerlendirmesinde kirletici unsur ve hassasiyet dağılımının farklı olası etkileşimleri gösterilmektedir (Hötzl vd. 2003). YAS kirliliğinin risk değerlendirmesinde sadece zemin yapısının kirliliğe karşı hassasiyeti değil aynı zamanda yeraltına giren kirletici yükü de dikkate alınmalıdır. Verilen yaklaşıma bağlı olarak, YAS risk değerlendirmesi çalışmasında sırası ile üç temel adım bulunmaktadır ve aşağıda açıklanmaktadır:

i. YAS kirliliğine karşı hassasiyet değerlendirmesi ve haritalaması

ii. Kirletici unsurların belirlenmesi, değerlendirilmesi ve haritalaması

iii. Hassasiyet ve kirletici unsur değerlendirmesine dayanan risk değerlendirmesi ve haritalaması



Şekil 3.16. YAS kirliliğine karşı hassasiyet ve kirletici unsur değerlendirmelerinin bileşik etkileşimini içeren YAS risk değerlendirmesi yaklaşımı (Hötzl vd. 2003).

3.9.1. PI metodu ile risk hesaplanması

Risk yoğunluk indeksinin hesaplanmasında aşağıdaki eşitlik kullanılmaktadır (COST Action 620 Final Raporu 2003).

$$RI = 1/HI * \pi \quad (3.16)$$

RI: risk yoğunluğu indeksi,

HI: kirletici indeksi

π: PI faktörü

Risk sınıfının limitleri, hassasiyet sınıfının limitleri ile kirletici indeksinin limitlerinin çarpımı ile elde edilmektedir (Çizelge 3.48). Bu yaklaşımda, "çok düşük" veya "düşük" kirlilik seviyesinde olan kirletici unsurlar, "çok yüksek" hassasiyet seviyesinde, "çok yüksek" risk seviyesi oluşturabilir. Buna karşılık, "çok yüksek" kirlilik seviyesinde olan kirletici unsurlar, hassasiyet düzeyi "çok yüksek" olmayan durumlarda "orta" veya "yüksek" risk seviyesi oluşturabilir.

3.9.2. COP metodu ile risk haritasının elde edilmesi

Risk yoğunluk indeksinin hesaplanmasında aşağıdaki eşitlik kullanılmaktadır (COST Action 620 Final Raporu 2003).

$$RI = 1/HI * COP \quad (3.16)$$

RI: risk yoğunluğu indeksi,

HI: kirletici indeksi

COP: COP faktörüdür.

Risk sınıfının limitleri, hassasiyet sınıfının limitleri ile kirletici indeksinin limitlerinin çarpımı ile elde edilmektedir (Çizelge 3.49).

Çizelge 3.48. PI metodu için risk seviyesinin sınıflandırılması.

π faktörü	**Kirletici indeksi (HI)**	**1/HI**	**RI = π * (1/HI)**	**Risk sınıfı**	**Risk seviyesi**	**Renk**
4-5	0-24	>0,042	>0,167	1	Yok veya	Mavi
Yok veya çok az	Yok veya çok az				Çok az	
3-4	24-48	0,042-0,021	0,167-0,063	2	Az	Yeşil
Az	Az					
2-3	48-72	0,021-0,014	0,063-0,028	3	Orta	Sarı
Orta	Orta					
1-2	72-96	0,014-0,010	0,028-0,010	4	Yüksek	Turuncu
Yüksek	Yüksek					
0-1	96-120	<0,010	<0,010	5	Çok yüksek	Kırmızı
Çok yüksek	Çok yüksek					

Çizelge 3.49. COP metodu için risk seviyesinin sınıflandırılması.

COP faktörü	Kirletici indeksi (HI)	1/HI	RI = COP *(1/HI)	Risk sınıfı	Risk seviyesi	Renk
4- 15	0-24	>0,042	>0,168	1	Yok veya	Mavi
Yok veya çok az	Yok veya çok az				Çok az	
2- 4	24-48	0,042-0,021	0,168-0,042	2	Az	Yeşil
Az	Az					
1- 2	48-72	0,021-0,014	0,042-0,014	3	Orta	Sarı
Orta	Orta					
0,5- 1	72-96	0,014-0,010	0,014-0,005	4	Yüksek	Turuncu
Yüksek	Yüksek					
0- 0,5	96-120	<0,010	<0,005	5	Çok yüksek	Kırmızı
Çok yüksek	Çok yüksek					

3.9.3. DRASTIC-Genel metodu ile risk haritasının elde edilmesi

Risk yoğunluk indeksinin hesaplanmasında aşağıdaki eşitlik kullanılmaktadır:

RI= HI * DRASTIC (3.17)

RI: risk yoğunluğu indeksi

HI: kirletici indeksi

DRASTIC: DRASTIC faktörü

Risk sınıfının limitleri, hassasiyet sınıfının limitleri ile kirletici indeksinin limitlerinin çarpımı ile elde edilmektedir. Bu uygulamada DRASTIC metodunun 79 – 200 değerleri arasında tanımlı olan faktör değerleri, en yüksek değer olan 200 sayısına bölünerek tüm değerler normalize edilmiştir. Risk yoğunluk indeksi hesaplamasında da normalize edilmiş olan DRASTIC faktör değerleri kullanılmıştır (Çizelge 3.50).

Çizelge 3.50. DRASTIC-Genel metodu için risk seviyesinin sınıflandırılması.

DRASTIC faktörü	Normalize edilmiş DRASTIC faktörü	Kirletici indeksi (HI)	RI = DRASTIC *HI	Risk sınıfı	Risk seviyesi	Renk
<79	<0,40	0-24	<9,60	1	Yok veya	Mavi
Çok az	Çok az	Yok veya çok az			Çok az	
80- 119	0,40 – 0,59	24-48	9,60 – 28,79	2	Az	Yeşil
Az	Az	Az				
120- 159	0,60- 0,79	48-72	28,80 – 57,59	3	Orta	Sarı
Orta	Orta	Orta				
160- 199	0,80 – 1,00	72-96	57,60 – 96,00	4	Yüksek	Turuncu
Yüksek	Yüksek	Yüksek				
>200	>1,00	96-120	>96,00	5	Çok yüksek	Kırmızı
Çok yüksek	Çok yüksek	Çok yüksek				

3.9.4. DRASTIC-Pestisit metodu ile risk haritasının elde edilmesi

Risk yoğunluk indeksinin hesaplanmasında aşağıdaki eşitlik kullanılmaktadır:

RI= HI * DRASTIC-Pestisit (3.18)

RI: risk yoğunluğu indeksi

HI: kirletici indeksi

DRASTIC: DRASTIC-Pestisit

Risk sınıfının limitleri, hassasiyet sınıfının limitleri ile kirletici indeksinin limitlerinin çarpımı ile elde edilmektedir. Bu uygulamada DRASTIC-Pestisit metodunun 79 – 200 değerleri arasında tanımlı olan faktör değerleri, en yüksek değer olan 200 sayısına bölünerek tüm değerler normalize edilmiştir. Risk yoğunluk indeksi hesaplamasında da normalize edilmiş olan DRASTIC-Pestisit faktör değerleri kullanılmıştır (Çizelge 3.51).

Çizelge 3.51. DRASTIC-Pestisit metodu için risk seviyesinin sınıflandırılması.

DRASTIC – Pestisit Faktörü	**Normalize edilmiş DRASTIC-Pestisit faktörü**	**Kirletici indeksi (HI)**	**RI = DRASTIC-Pestisit *HI**	**Risk sınıfı**	**Risk seviyesi**	**Renk**
<79	<0,40	0-24	<9,60	1	Yok veya	Mavi
Çok az	Çok az	Yok veya çok az			Çok az	
80- 119	0,40 – 0,59	24-48	9,60 – 28,79	2	Az	Yeşil
Az	Az	Az				
120- 159	0,60- 0,79	48-72	28,80 – 57,59	3	Orta	Sarı
Orta	Orta	Orta				
160- 199	0,80 – 1,00	72-96	57,60 – 96,00	4	Yüksek	Turuncu
Yüksek	Yüksek	Yüksek				
>200	>1,00	96-120	>96,00	5	Çok yüksek	Kırmızı
Çok yüksek	Çok yüksek	Çok yüksek				

3.9.5. SINTACS metodu ile risk haritasının elde edilmesi

Risk yoğunluk indeksinin hesaplanmasında aşağıdaki eşitlik kullanılmaktadır:

RI= HI * SINTACS (3.19)

RI: risk yoğunluğu indeksi

HI: kirletici indeksi

SINTACS: SINTACS faktörü

Risk sınıfının limitleri, hassasiyet sınıfının limitleri ile kirletici indeksinin limitlerinin çarpımı ile elde edilmektedir. Bu uygulamada SINTACS metodunun 26 – 260 değerleri arasında tanımlı olan faktör değerleri, çok yüksek hassasiyet sınıfının başlangıç değeri olan 186 sayısına bölünerek tüm değerler normalize edilmiştir. Risk yoğunluk indeksi hesaplamasında da normalize edilmiş olan SINTACS faktör değerleri kullanılmıştır (Çizelge 3.52).

Çizelge 3.52. SINTACS metodu için risk seviyesinin sınıflandırılması.

SINTACS faktörü	**Normalize edilmiş SINTACS faktörü**	**Kirletici indeksi (HI)**	**RI = SINTACS *HI**	**Risk sınıfı**	**Risk seviyesi**	**Renk**
26-80 Çok az	0,14 – 0,42 Çok az	0-24 Yok veya çok az	<10,32	1	Yok veya Çok az	Mavi
80- 105 Az	0,43 – 0,55 Az	24-48 Az	10,32 – 26,87	2	Az	Yeşil
105- 140 Orta	0,56- 0,74 Orta	48-72 Orta	26,88 – 53,99	3	Orta	Sarı
140- 186 Yüksek	0,75 – 1,00 Yüksek	72-96 Yüksek	54,00 – 96,00	4	Yüksek	Turuncu
>186 Çok yüksek	>1,00 Çok yüksek	96-120 Çok yüksek	>96,00	5	Çok yüksek	Kırmızı

Bu tez çalışmasında Altınova bölgesindeki YAS kaynaklarının kirliliğe karşı hassasiyetinin belirlenmesi için DRASTIC, SINTACS, COP, PI ve EPIK hassasiyet analizi yöntemleri kullanılmış, çalışma bölgesi için kirletici unsur analizi yapılmış ve bu iki çalışmadan elde edilen veriler risk analizi için birleştirilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

YAS risk değerlendirmesi yapılabilmesi için genel olarak üç adım takip edilmiştir. YAS hassasiyeti ve kirletici analizinden elde edilen veriler kullanılarak YAS risk değerlendirmesi yapılmıştır. YAS hassasiyeti ve kirletici analizlerinin yapılabilmesi için gerekli olan veriler toplamda bir yıllık süre içerisinde yapılan dört farklı arazi çalışmasında toplanmıştır. Bu çalışmalarda bölgede homojen bir şekilde seçilen sondaj kuyularından alınan su örnekleri yerinde ölçüm ve laboratuvar analizleri ile değerlendirilmiş ve çalışma alanındaki YAS kalitesi ile ilgili veriler toplanmıştır.

Yapılan ilk arazi çalışmasında arazide belirlenen 50 adet kuyudan yerinde sıcaklık (°C), Toplam Çözünmüş Madde (TÇM) (mg/L), pH, Çözünmüş Oksijen (ÇO) (mg/L), spesifik iletkenlik (µS/cm), tuzluluk (‰), bulanıklık (NTU) ve nitrat (mg/L) ölçümleri yapılmış ve alınan su numuneleri laboratuvar ortamında HACH LCK 339 nitrat kiti kullanılarak analiz edilmiştir.

İzleme çalışmalarında sahada gerçekleştirilen ölçümlere ek olarak, sonbahar ve ilkbahar mevsimlerini temsil eden 18-19 Kasım 2015 ve 10-11 Mayıs 2016 tarihli izleme çalışmalarında tüm izleme noktalarından su numuneleri alınmış ve detaylı su kalitesi analizlerinin gerçekleştirilmesi için Antalya Halk Sağlığı Laboratuvarı'na getirilmiştir. Laboratuvarda T.C. Sağlık Bakanlığı'nın İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmeliğinde tanımlanan içme-kullanma suyuna ilişkin tüm parametreler analiz edilmiş ve limit değerler ile karşılaştırılarak raporlanmıştır. EK-1 içinde yer alan Çizelge 7.5-7.7'de tüm izleme noktaları için analiz sonuçları sunulmuştur. Ayrıca yapılan 2. ve 4. çalışmalarda su numunesi alınan kuyuların etrafından toprak numuneleri alınıp pH, tuzluluk (%), Doygunluk (%), Organik Madde (%), Toplam N (%), NH_4-N (%), NO_3-N (%) ve bünye (%) parametreleri bakımından analizleri özel bir laboratuvara yaptırılıştır. Toprak numunelerinin analiz sonuçları da EK-1'de sunulmuştur.

4.1. DRASTIC Hassasiyeti

DRASTIC hassasiyetinin belirlenmesi için gerekli olan 7 adet parametreye ilişkin bulgular ve haritalar aşağıda sunulmuştur.

4.1.1. YAS'a olan derinlik (D)

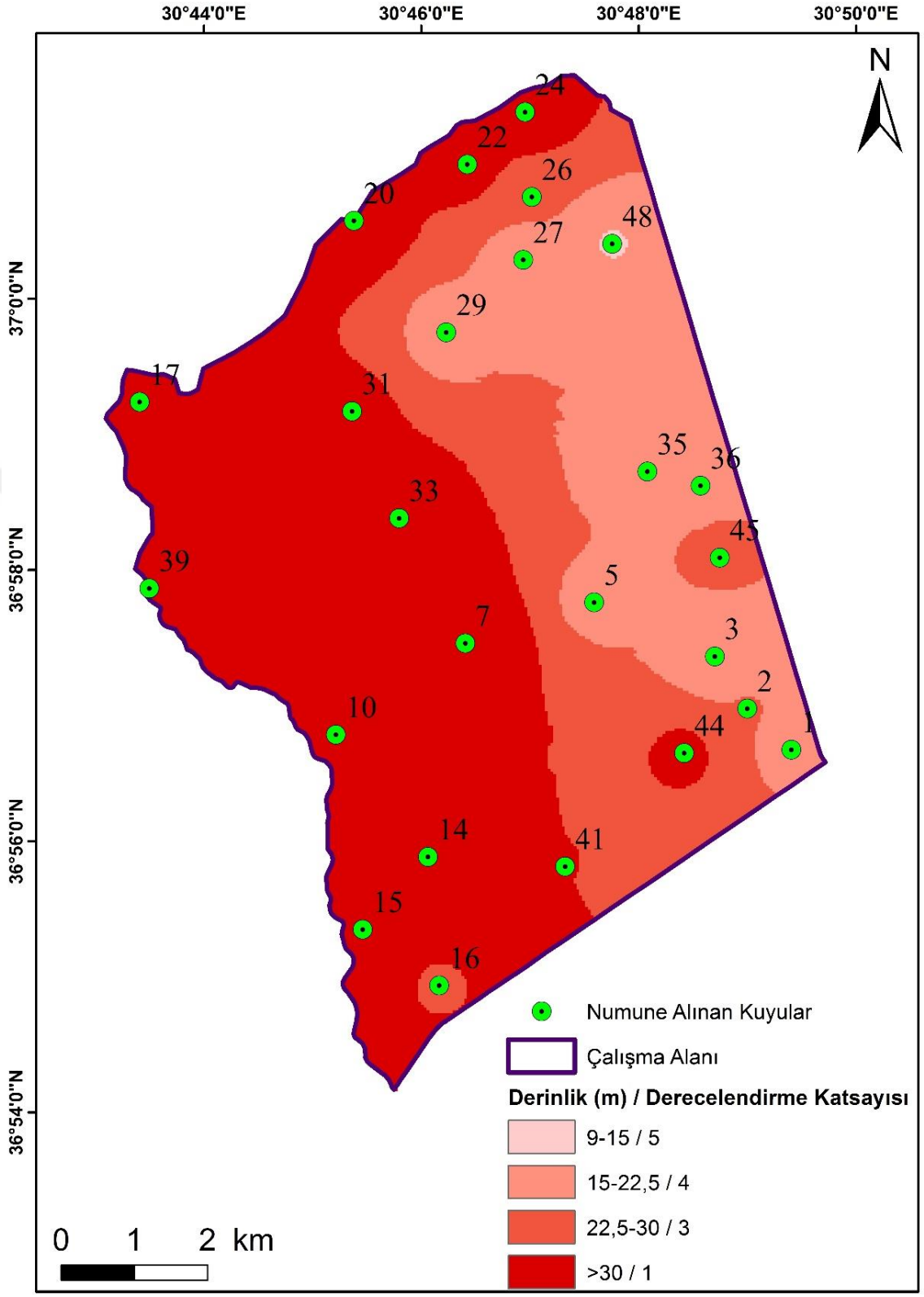
Çalışma alanında ikinci, üçüncü ve dördüncü izleme çalışmalarında YAS derinlikleri ölçülmüştür. Ölçülen YAS'a olan derinlik değerleri Çizelge 4.1'de YAS'ın mevsimsel olarak mekânsal dağılımı da Şekil 4.1' de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Üç arazi çalışmasında ölçülen YAS derinlik değerleri.

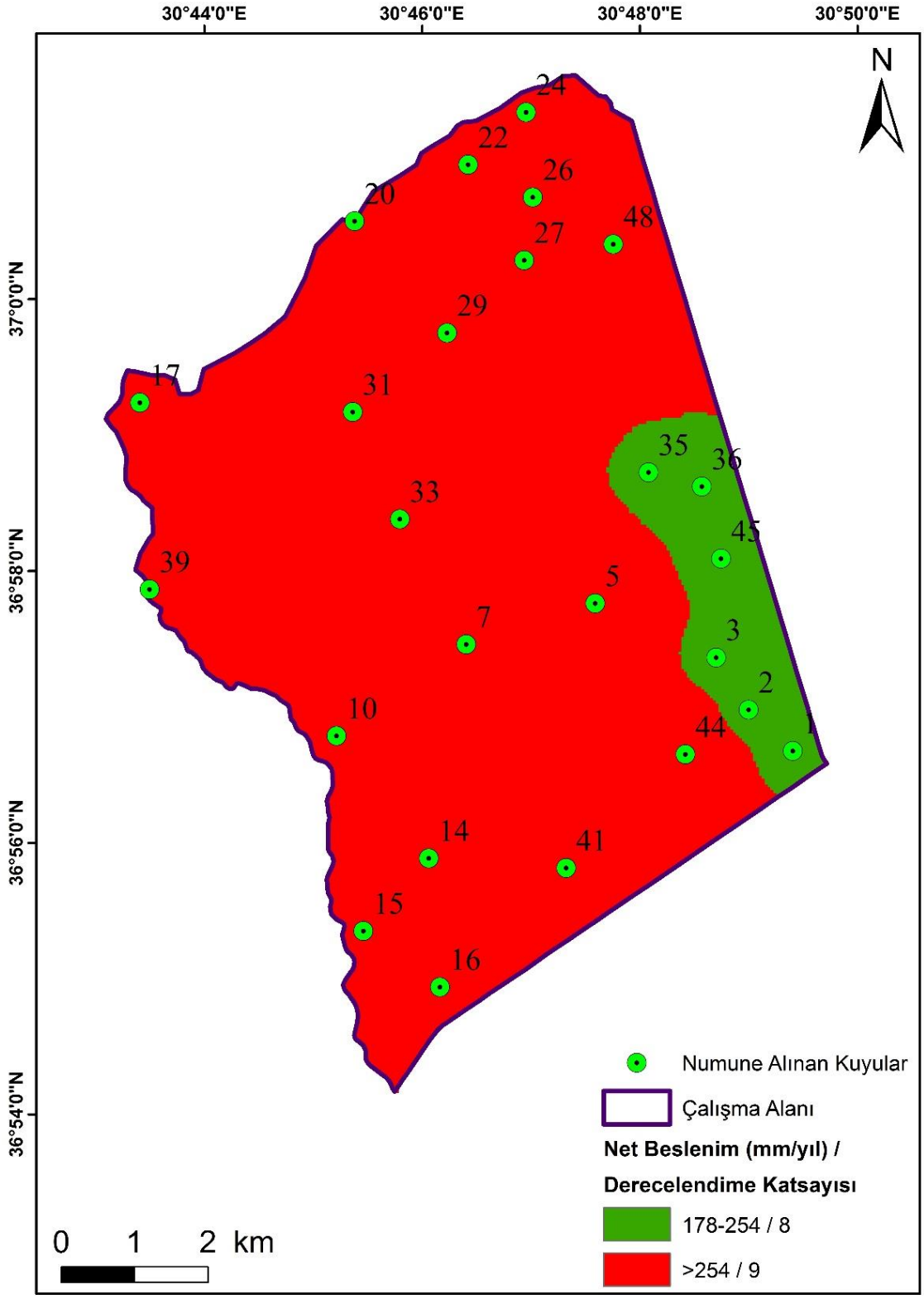
Numune Alınan Nokta	Derinlik (m)		
	2. arazi	**3. arazi**	**4. arazi**
1	19.52	20	20.65
2	23.40	22.09	22.48
3	18.00	12.24	18.4
5	18.09	19.41	20.49
7	42.60	43.12	44.91
10	39.02	40.74	42.23
14	30.90	32.46	33.04
15	30.13	31.61	33.04
16	27.87	30.08	31.27
17	41.36	42.52	44.2
20	36.88	38.21	39.46
22	33.99	35.26	36.47
24	38.19	39.42	40.76
26	21.97	24.08	24.37
27	16.09	17.12	18.43
29	15.31	16.42	19.33
31	31.35	32.73	
33	38.70	40	43
35	17.05	17.66	19.37
36	21.56	21.49	23.17
39	40.34	41.78	43.22
41	34.45	27.15	28.52
44	31.41	33.15	34.35
45	22.90	20.91	27.63
48	13.76	14.8	

4.1.2. Net beslenim (R)

Çalışma sahasına en yakın meteoroloji istasyonundan elde edilen meteorolojik verilere göre, çalışma alanı için 2000-2015 yılları arası yıllık toplam yağış 1240,09 mm olarak hesaplanmıştır. Buna göre çalışma alanındaki karstik bölgede net beslenim miktarı 545,64 mm/yıl, karstik olmayan pliyosen yaşlı Kurşunlu Formasyonunun kumtaşı ve konglomeralarının olduğu bölümde ise 186,01 mm/yıl olarak hesaplanmış ve derecelendirme katsayıları ile birlikte Şekil 4.2'de verilmiştir. Derecelendirme katsayısı karstik bölge için 9, karstik olmayan bölge için 8 olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.1. YAS'a olan derinlik ve derecelendirme katsayılarının mekânsal dağılımı.



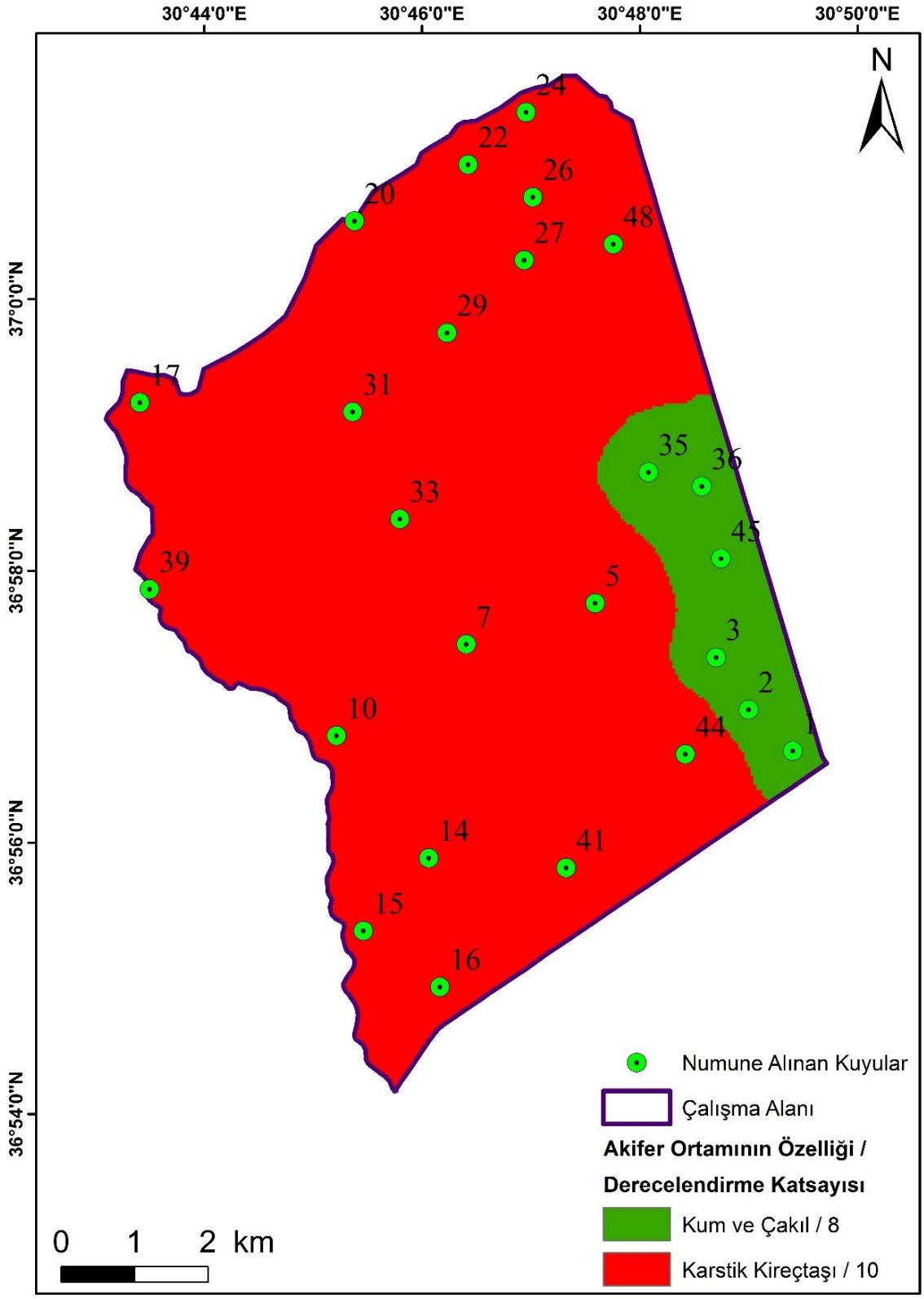
Şekil 4.2. Net beslenim parametresinin mekânsal dağılımı.

4.1.3. Akifer ortamının özelliği (A)

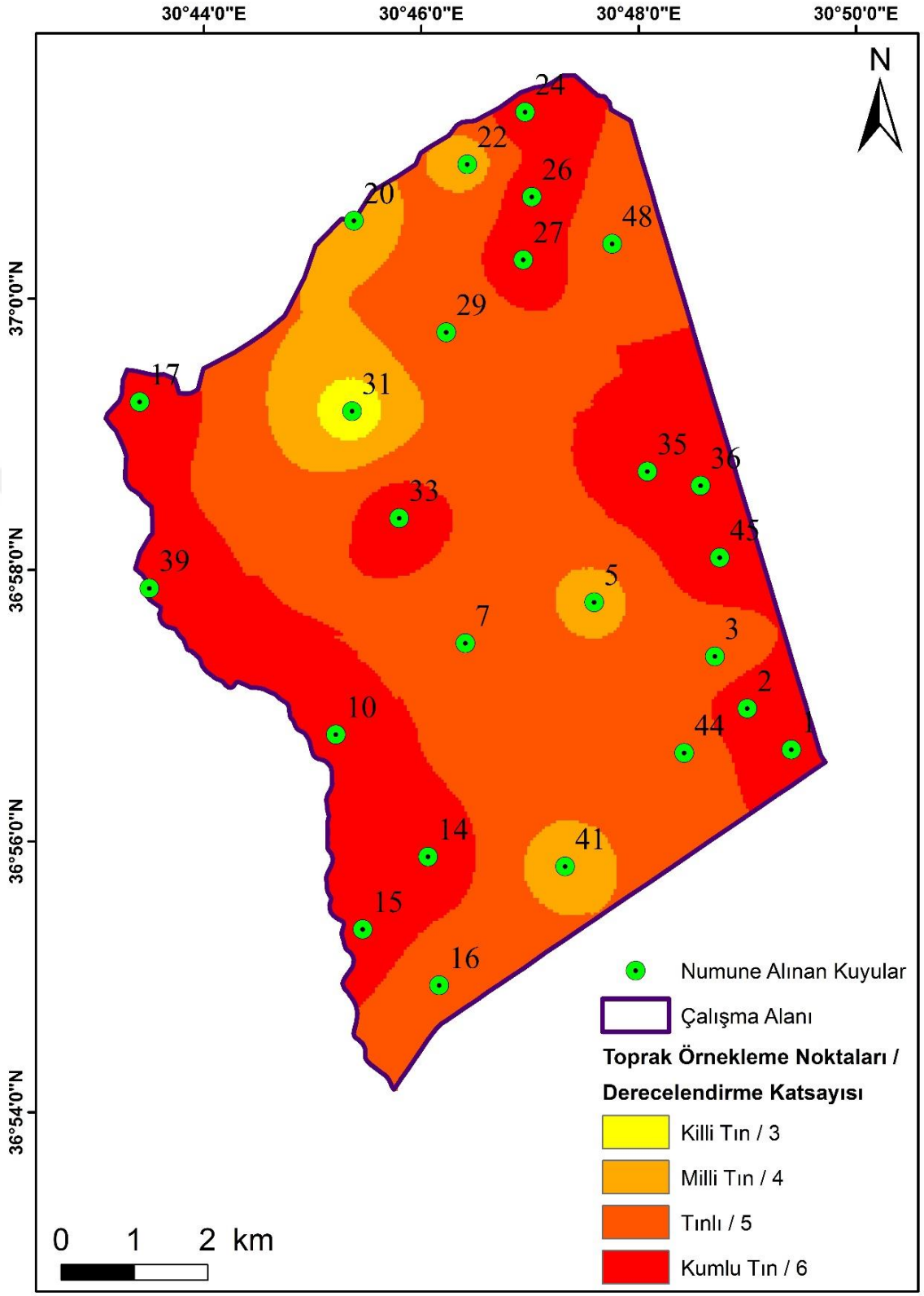
Akifer ortamının özelliklerinin belirlenmesi için genellikle kuyu loglarından faydalanılmaktadır. Çalışma bölgesinde izlenen ve numune alınan kuyular, ruhsatsız kuyular olduğundan kuyu logları bulunmamaktadır. Ancak çalışma alanında bulunan ruhsatlı kuyuların koordinatları ve kuyu logları DSİ 13. Bölge Müdürlüğü Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltı Suları Daire Başkanı ile yapılan görüşmeler sonucunda DSİ'den alınmıştır. DSİ'den temin edilen 315 adet kuyu logu incelenmiş ve numune alınan kuyulara en yakın konumlarda yer alan kuyu logları kullanılarak numune alınan 25 kuyunun akifer ortamı özellikleri belirlenmiştir. Karstik alan üzerinde bulunan kuyuların akifer ortamının derecelendirme katsayısı 10, karstik olmayan alan (pliyosen yaşlı Kurşunlu Formasyonunun kumtaşı ve konglomeraları formasyonu) için 8 olarak belirlenmiştir (Şekil 4.3).

4.1.4. Toprak ortamının özelliği (S)

Çalışma alanında toprak ortamının özelliklerinin belirlenmesi için seçilen 25 adet numune alım noktasının çevresindeki toprak yüzeyinden (0-20 cm) örnekler alınmış ve akredite özel bir laboratuvarda analiz ettirilmiştir. Alınan toprak numunelerinde, toprak bünyesi, pH, tuzluluk, organik madde, toplam azot, nitrat azotu, amonyum azotu, infiltrasyon hızı gibi parametreler analiz ettirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre toprak bünyesi, çalışma alanında 12 adet noktada derecelendirme katsayısı 6 olan kumlu tınlı toprak, 6 adet noktada derecelendirme katsayısı 5 olan tınlı toprak, 4 adet noktada derecelendirme katsayısı 4 olan milli (silti) tınlı toprak, 1 adet noktada derecelendirme katsayısı 3 olan killi tınlı toprak olarak belirlenmiştir. 2 adet noktada ise toprak özellikleri kumlu killi tın olarak belirlenmiş ancak DRASTIC yönteminde bu toprak türü için bir derecelendirme katsayısı tanımlanmadığından bu noktalarda kumlu tınlı toprağın derecelendirme katsayısı olan 6 değeri kullanılmıştır (Şekil 4.4).



Şekil 4.3. Akifer ortamı özelliği parametresinin mekânsal dağılımı.



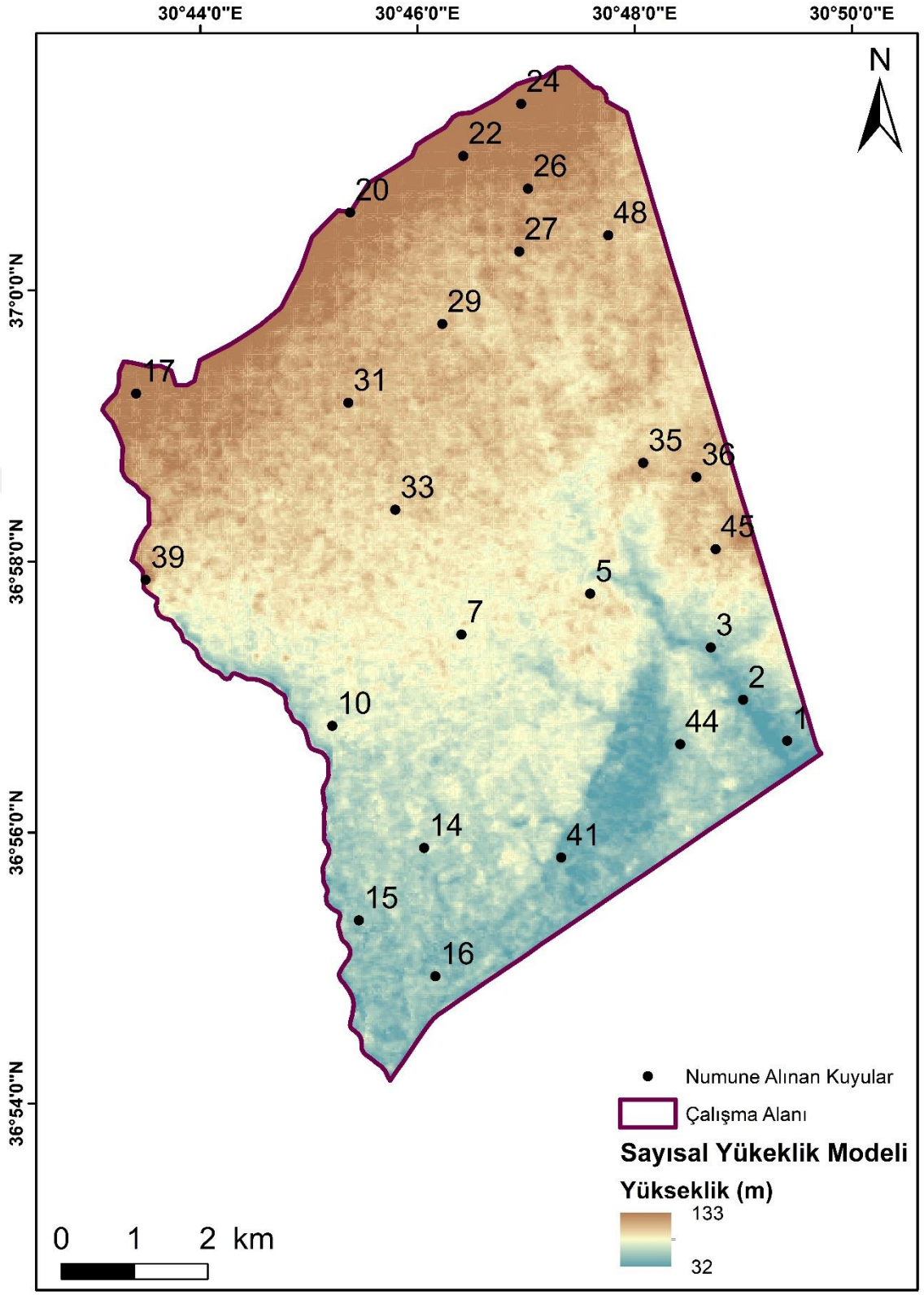
Şekil 4.4. Toprak özelliği parametresinin mekânsal dağılımı.

4.1.5. Topografya (T)

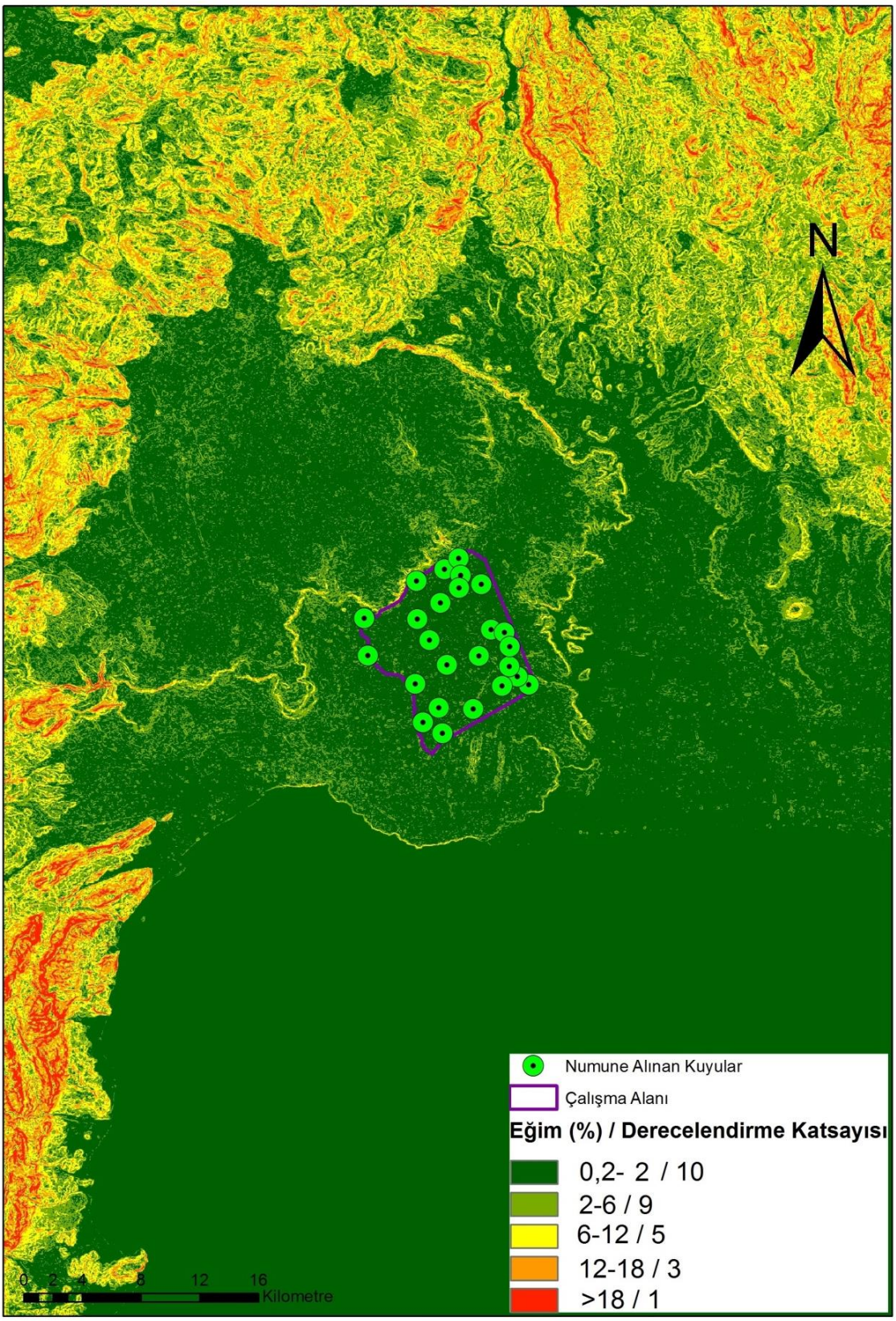
Çalışma alanında yüzey eğiminin hesaplanabilmesi için ASTER uydusundan alınan sayısal yükseklik modeli (DEM) kullanılmıştır (Şekil 4.5). Elde edilen sayısal yükseklik modelinden ArcGIS programı kullanılarak çalışma alanının tümüne ait eğim haritası oluşturulmuştur (Şekil 4.6). Çalışma kapsamında izlenen her kuyunun bulunduğu alanlardaki ortalama eğimin hesaplanabilmesi için kuyuların bulunduğu lokasyonların çevrelerine 600 metre çapında daireler çizilmiş ve bu dairelerin ortalama eğimleri o noktanın eğimi olarak belirlenmiştir (Şekil 4.7). Numune alınan kuyuların hesaplanan eğimleri ve derecelendirme katsayıları Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Hesaplanan ortalama eğimler ve derecelendirme katsayıları.

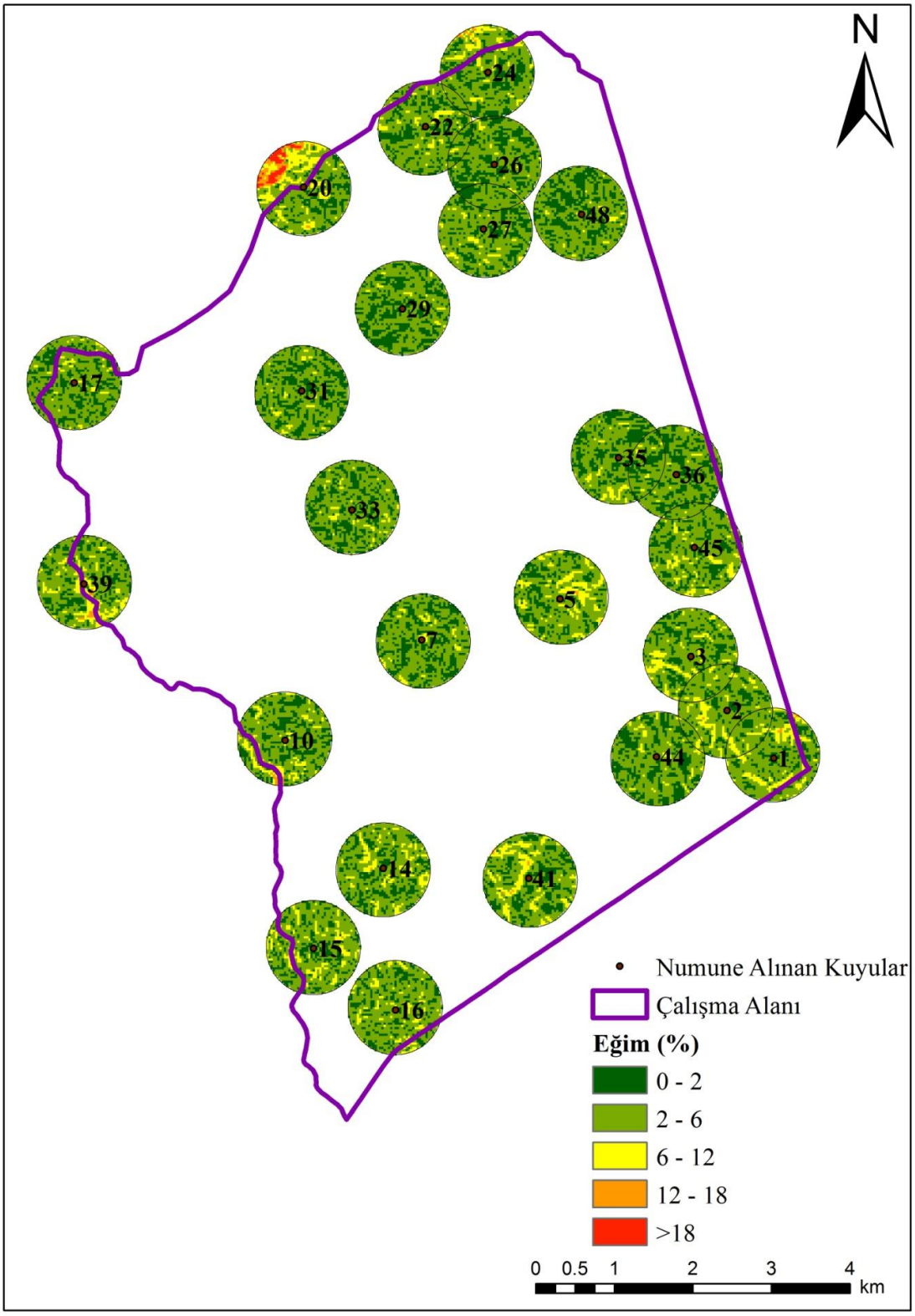
Numune alınan nokta	Hesaplanan ortalama eğim (%)	Derecelendirme katsayısı
1	3,84	9
2	3,69	9
3	3,42	9
5	3,73	9
7	2,79	9
10	3,57	9
14	3,47	9
15	3,66	9
16	3,49	9
17	3,06	9
20	5,92	9
22	3,14	9
24	3,44	9
26	2,68	9
27	2,97	9
29	2,56	9
31	2,69	9
33	2,93	9
35	2,89	9
36	2,69	9
39	3,89	9
41	3,74	9
44	2,94	9
45	3,35	9
48	2,63	9



Şekil 4.5. Çalıma alanının sayısal yükseklik modeli.



Şekil 4.6. Çalışma alanı ve çevresindeki yüzey eğiminin mekânsal dağılımı.



Şekil 4.7. İzleme yapılan ve numune alınan kuyu alanlarındaki eğim.

4.1.6. Vadoz zon özelliği (I)

Çalışma alanında vadoz zonun özelliklerinin belirlenmesi için DSİ 13. Bölge Müdürlüğü Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltı Suları Şube Müdürlüğü'nden ArcGIS ortamında alınan Antalya jeoloji haritasından faydalanılmıştır. Bu bilgilere göre çalışma alanının %85,5'i derecelendirme katsayısı 10 olan karstik kireçtaşı olarak tanımlanan traverten, %14,4'ü ise derecelendirme katsayısı 6 olan tabakalı kireçtaşı, kumtaşı ve şeyl formasyonundadır. Çalışma sahasına ilişkin jeolojik formasyon bilgileri, kuyu loglarındaki bilgilerle de doğrulanmıştır. Çalışma alanında vadoz zonun özelliği parametresinin mekânsal dağılımını gösteren harita Şekil 4.8'de verilmiştir.

4.1.7. Hidrolik iletkenlik (C)

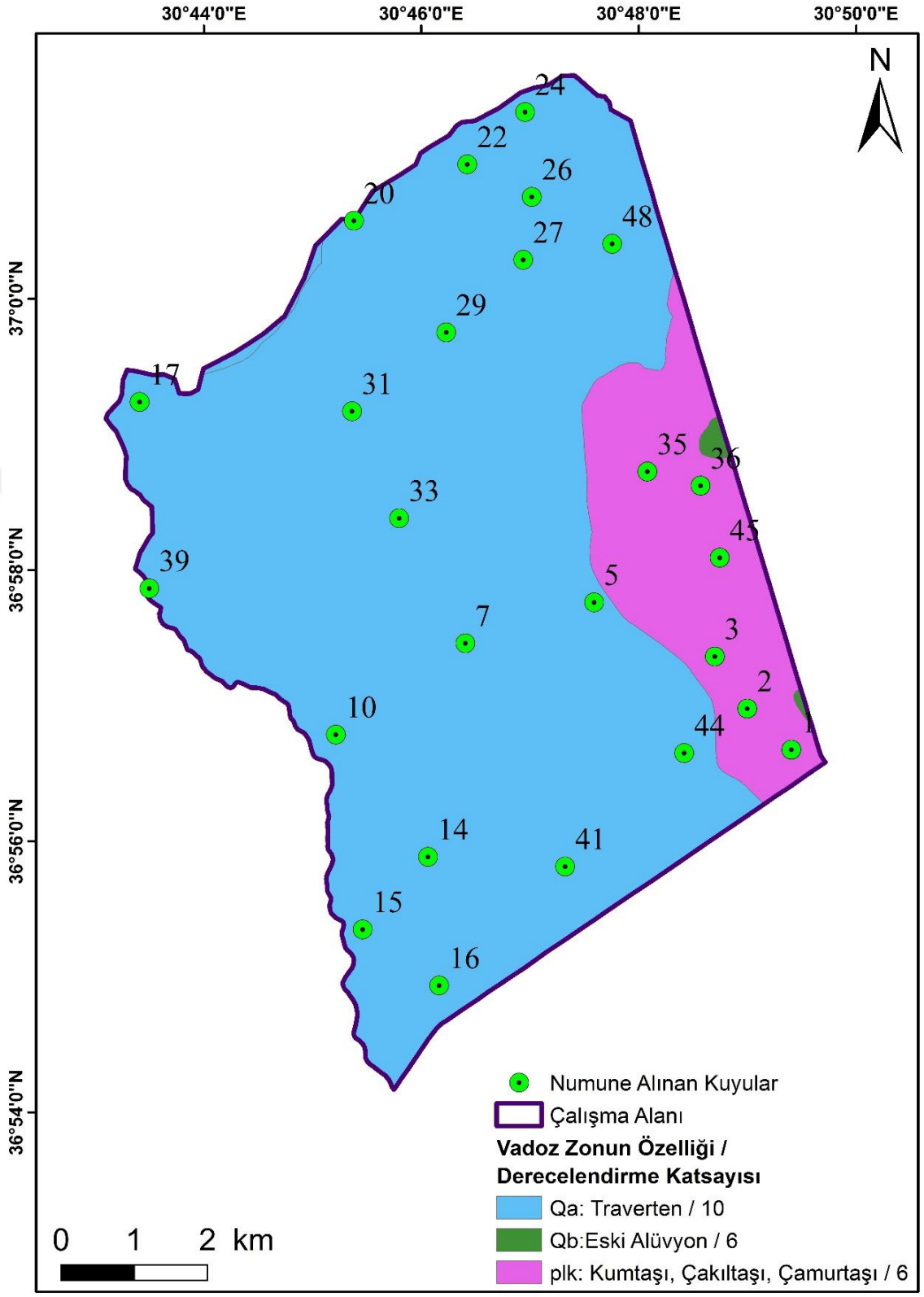
Çalışma alanı için hidrolik iletkenlik değerinin belirlenmesi aşamasında DSİ 13. Bölge Müdürlüğü Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltı Suları Şube Müdürlüğü'nde emekli olan jeoloji mühendisi İhsan TAŞKIN ile 04.02.2016 tarihinde yapılan sözlü görüşmede daha önceden kendilerinin arazide yaptıkları pompa testleri sonucu karstik alandaki hidrolik iletkenlik değerinin 864 mm/gün, pliyosen yaşlı kurşunlu formasyonunun kumtaşı ve konglomeraları formasyonun bulunduğu alanda ise 86,4 mm/gün olarak tespit edildiği ifade edilmiştir. Hidrolik iletkenlik için literatür araştırması yapıldığında DSİ tarafından verilen değerlerin literatürde bulunan değerlerle uyumlu olduğu görülmüştür (Shevni vd., 2006). Her iki değer de 82 mm/gün'den büyük olduğundan çalışma alanında hidrolik iletkenlik için derecelendirme katsayısı 10 olarak alınmıştır (Şekil 4.9).

4.1.8. DRASTIC-Genel İndeksinin hesaplanması

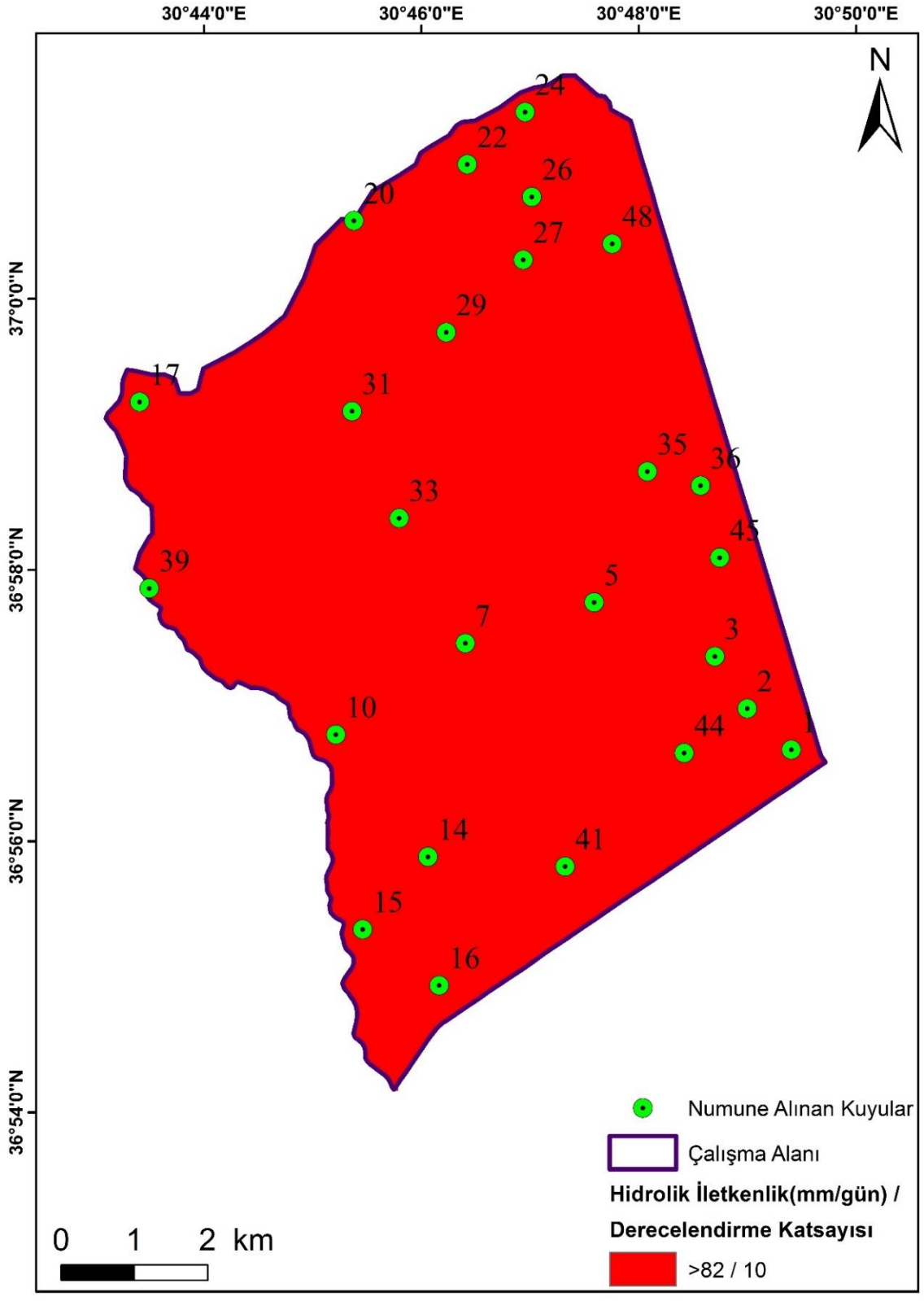
DRASTIC-Genel yöntemindeki tüm parametreler için veriler tanımlandıktan sonra derecelendirme katsayıları belirlenmiştir. Arazide belirlenen her izleme noktası için DRASTIC indeksi EK-2'de sunulduğu gibi hesaplanmış ve ArcGIS ortamına aktarılmıştır. ArcGIS ortamında her nokta için elde edilen verilerin alanı temsil edebilmesi için IDW (Inverse Distance Weighting) interpolasyon yöntemi kullanılarak tüm çalışma alanının hassasiyet haritası oluşturulmuştur (Şekil 4.10).

4.1.9. DRASTIC-Pestisit indeksinin hesaplanması

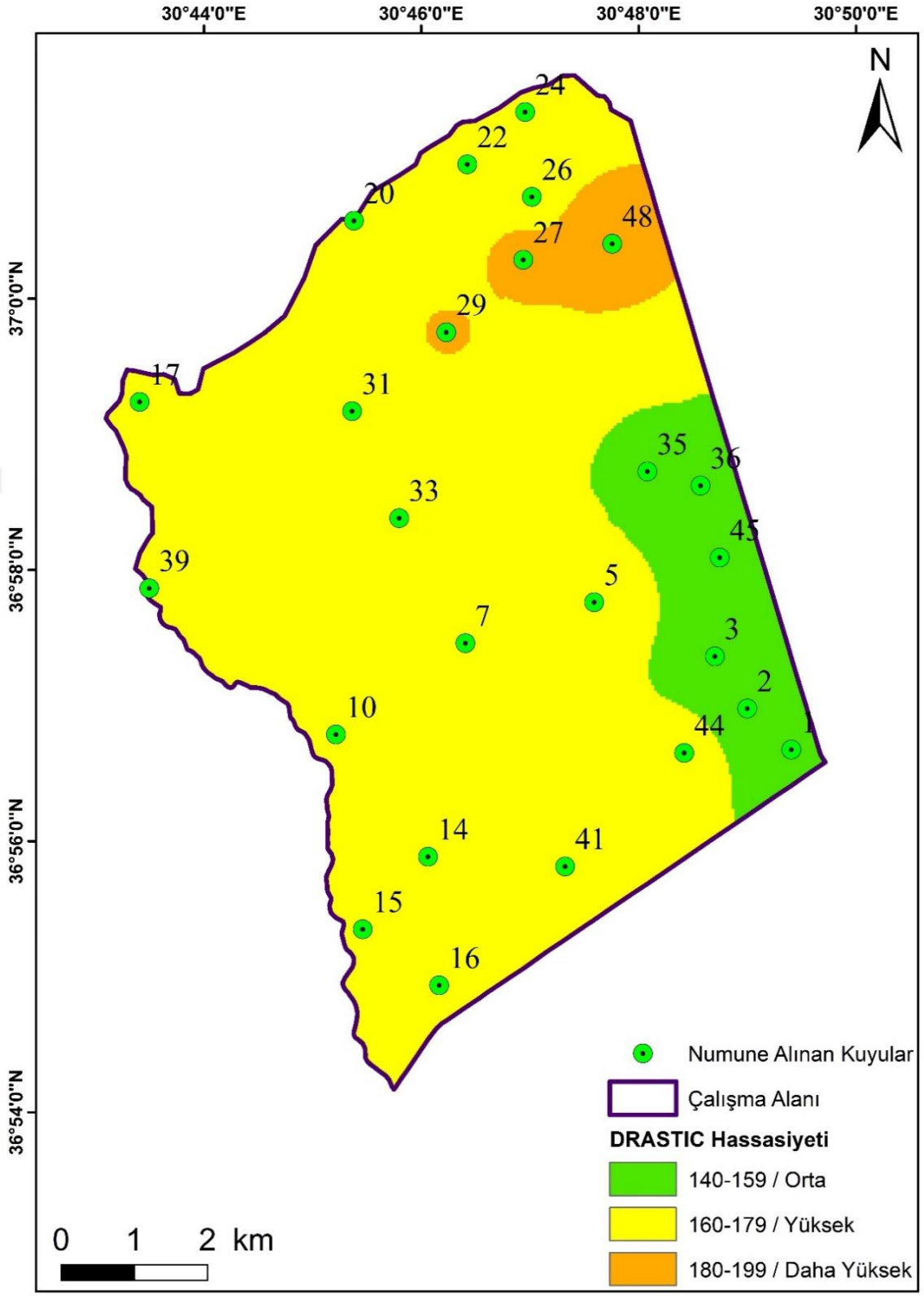
DRASTIC-Genel metodu için kullanılan veriler kullanılarak materyal metotta verilen DRASTIC-Pestisit katsayılarıyla DRASTIC-Pestisit metodu EK-2'deki gibi hesaplanmıştır. Çalışma alanı için belirlenen DRASTIC-Pestisit hassasiyet haritası Şekil 4.12'de verilmiştir.



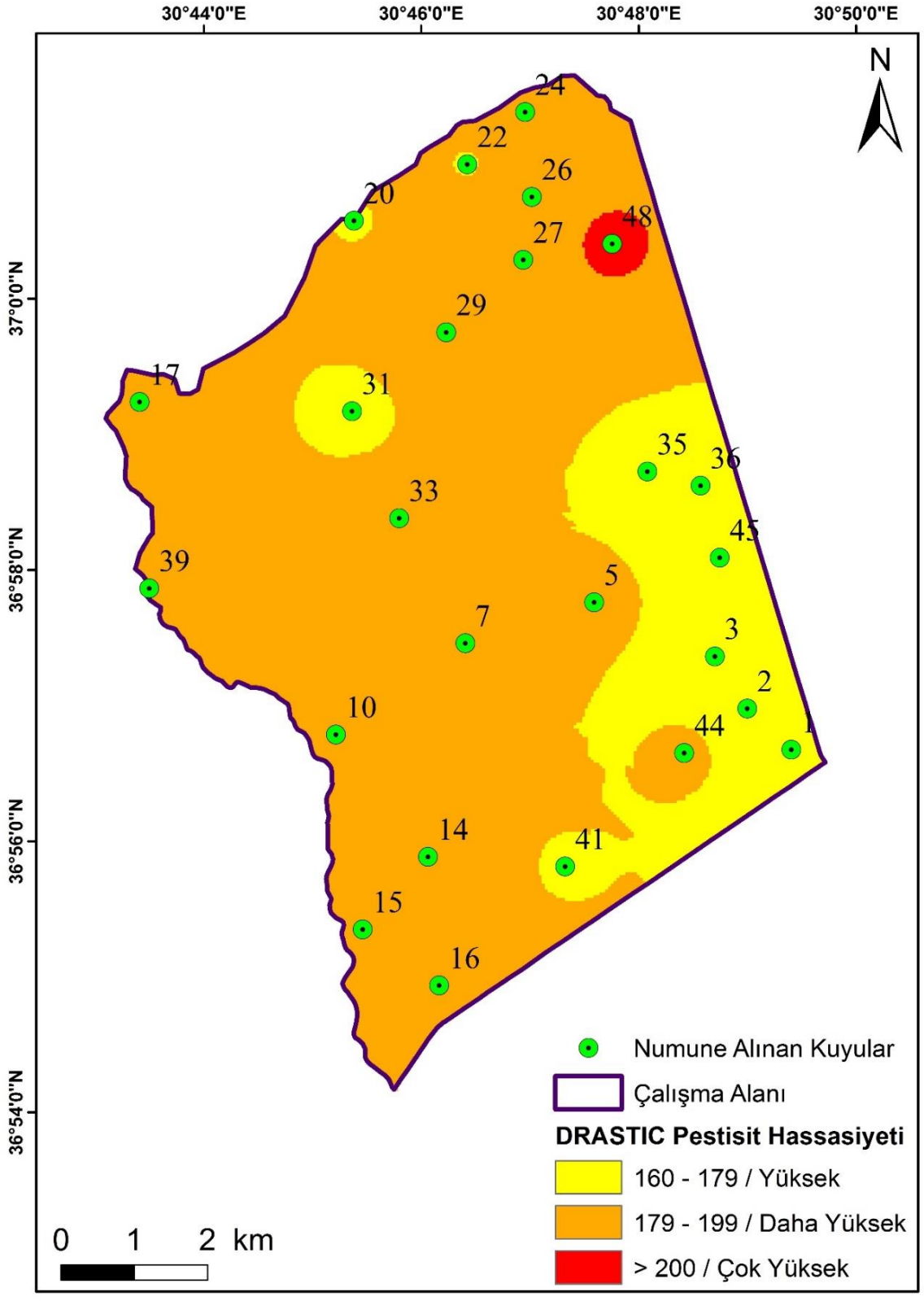
Şekil 4.8. Vadoz zon özelliği parametresinin mekânsal dağılımı.



Şekil 4.9. Hidrolik iletkenlik parametresinin mekânsal dağılımı.



Şekil 4.10. Çalışma sahası için DRASTIC-Genel hassasiyet haritası.



Şekil 4.11. DRASTIC-Pestisit hassasiyet haritası.

4.2. SINTACS Hassasiyeti

SINTACS metodu materyal metot kısmında anlatıldığı gibi uygulanmış ve elde edilen veriler bu kısımda sunulmuştur.

4.2.1. YAS'a olan derinlik (S)

Çalışma alanında YAS'a olan derinlik parametresinin belirlenmesi için ikinci, üçüncü ve dördüncü arazi çalışmalarında gerçekleştirilen derinlik ölçümlerinin ortalaması kullanılmıştır. YAS'a olan derinlik parametresi ve derecelendirme katsayısının mekânsal dağılımı Şekil 4.12'de sunulmaktadır.

4.2.2. Efektif infiltrasyon (I)

Çalışma sahasına en yakın meteoroloji istasyonundan elde edilen meteorolojik verilere göre, çalışma alanı için 2000-2015 yılları arası yıllık toplam yağış 1240,09 mm olarak hesaplanmıştır. Buna göre çalışma alanındaki karstik bölgede net beslenim miktarı 545,64 mm/yıl, karstik olmayan pliyosen yaşlı Kurşunlu Formasyonunun kumtaşı ve konglomeralarının olduğu bölümde ise 186,01 mm/yıl olarak hesaplanmış ve derecelendirme katsayıları ile birlikte Şekil 4.13'te verilmiştir. Derecelendirme katsayısı karstik bölge için 4,5, karstik olmayan bölge için 7,5 olarak belirlenmiştir.

4.2.3. Doymamış bölgenin özelliği (N)

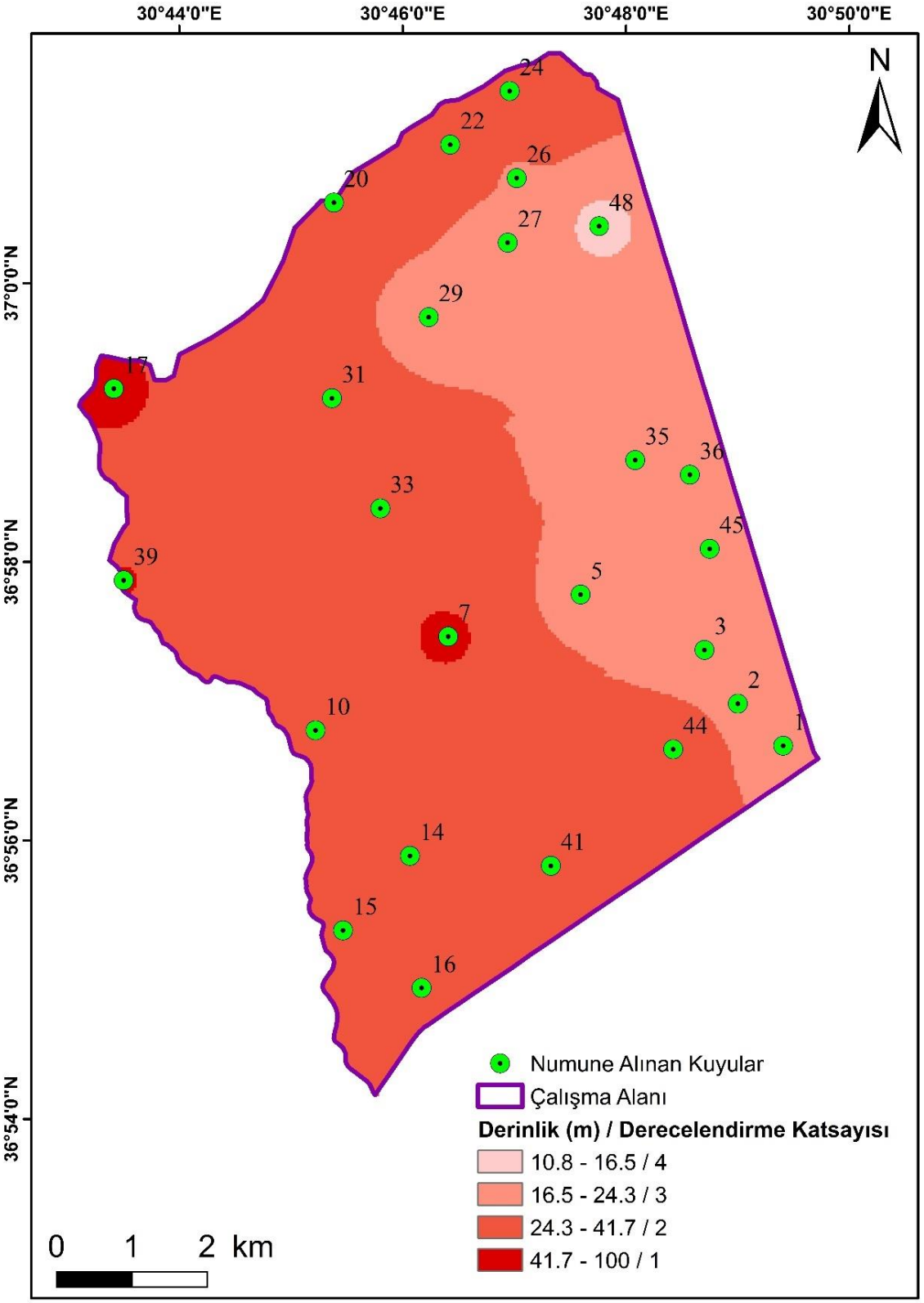
Çalışma alanında doymamış bölgenin özelliği parametresi, DRASTIC metodunda tanımlanan vadoz zonun etkisi parametresi ile aynı şekilde tanımlanmış olup SINTACS metodu için elde edilen sonuçların mekânsal dağılımı Şekil 4.14'te gösterilmiştir.

4.2.4. Toprak özelliği (T)

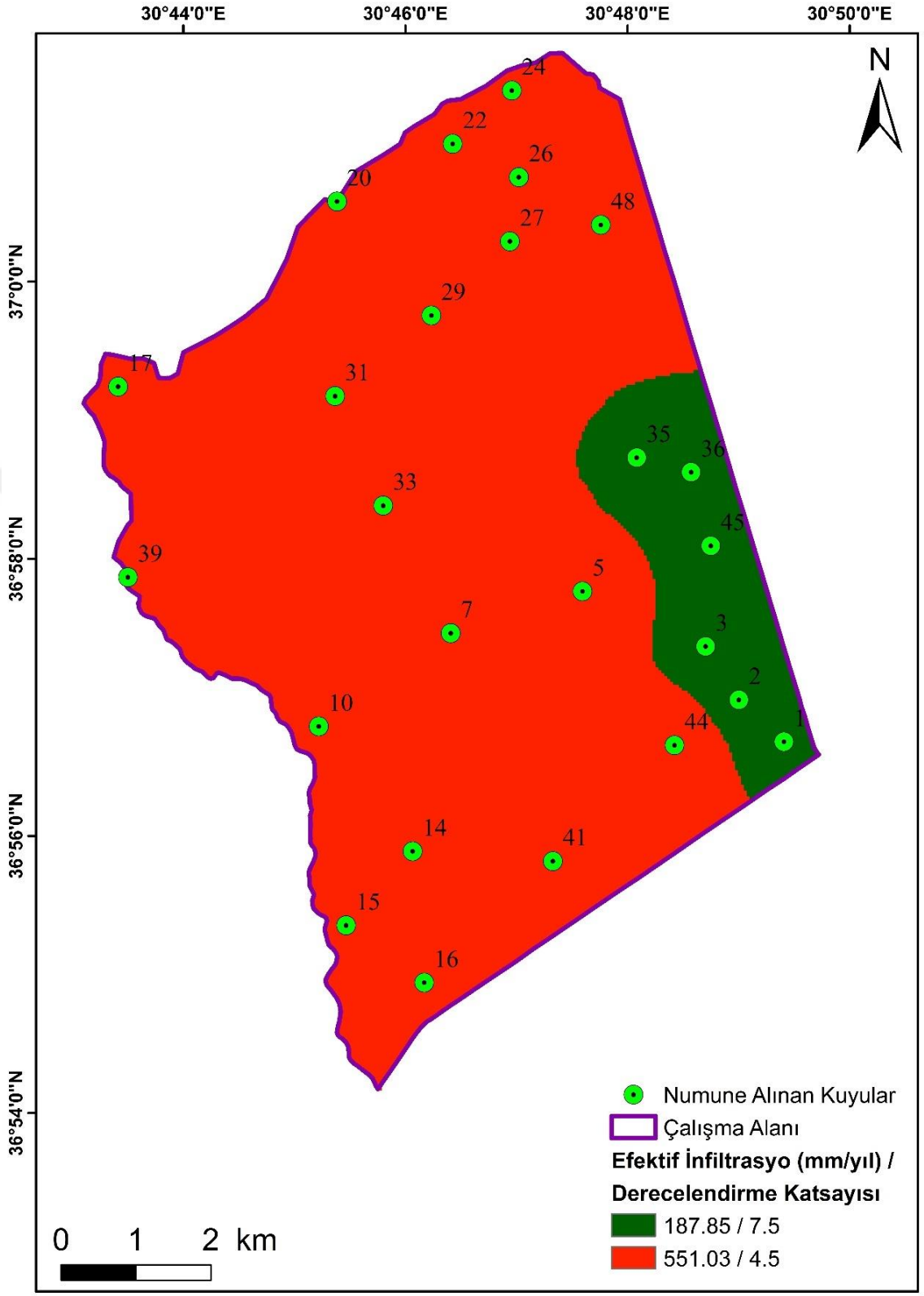
Çalışma alanında toprak ortamının özelliklerinin belirlenmesi için toprak analizi sonuçlarından faydalanılmıştır. Analiz sonuçlarına göre toprak bünyesi çalışma alanında 12 adet noktada derecelendirme katsayısı 5,8 olan kumlu tınlı toprak, 6 adet noktada derecelendirme katsayısı 4,5 olan tınlı toprak, 4 adet noktada derecelendirme katsayısı 3,8 olan milli (siltli) tınlı toprak, 2 adet noktada derecelendirme katsayısı 4,9 olan kumlu killi tınlı toprak, diğer noktada ise derecelendirme katsayısı 2,5 olan killi tınlı toprak olarak belirlenmiştir (Şekil 4.15).

4.2.5. Akifer özelliği (A)

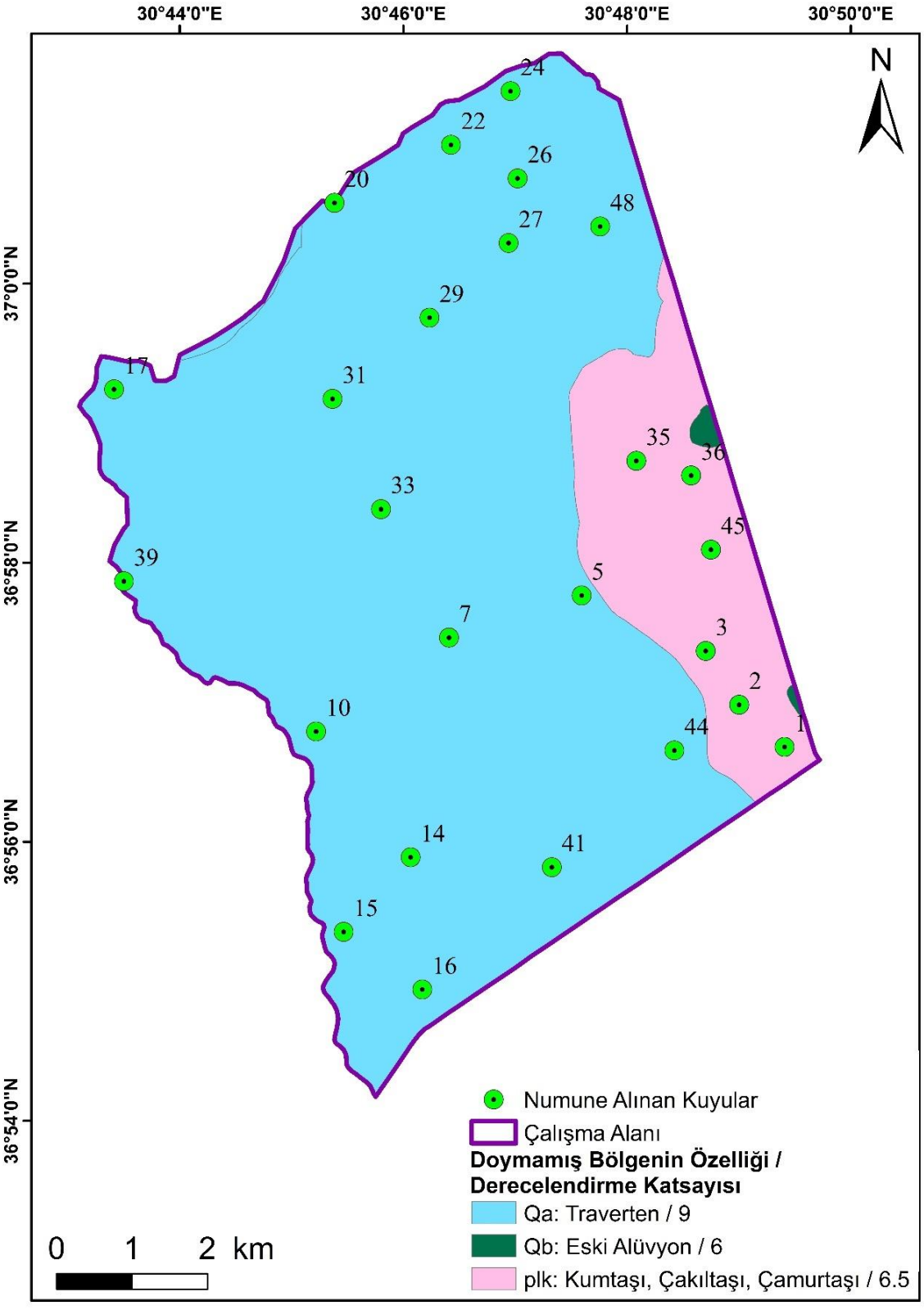
Akifer ortamı özelliklerinin belirlenmesi için genellikle kuyu loglarından faydalanılmaktadır. Çalışma bölgesinde izlenen ve numune alınan kuyular, ruhsatsız kuyular olduğundan kuyu logları bulunmamaktadır. Çalışma alanında bulunan ruhsatlı kuyuların koordinatları ve kuyu logları DSİ 13. Bölge Müdürlüğü Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltı Suları Şube Müdürü ile yapılan görüşmeler sonucunda DSİ'den alınmıştır.



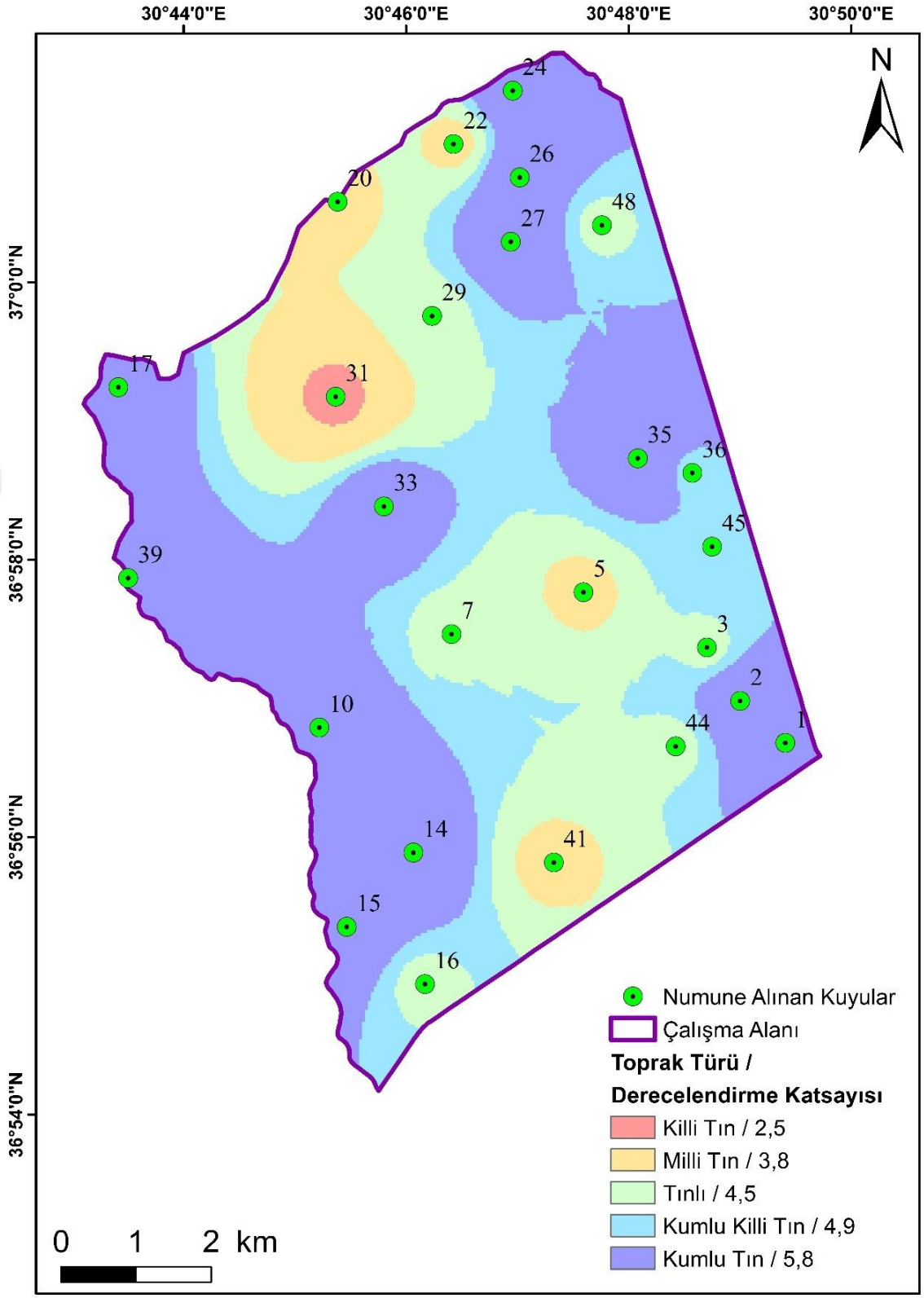
Şekil 4.12. YAS'a olan derinlik ve derecelendirme katsayılarının mekânsal dağılımı.



Şekil 4.13. Efektif infiltrasyon parametresinin mekânsal dağılımı.



Şekil 4.14. Doymamış bölgenin özelliği parametresi için mekânsal dağılım.



Şekil 4.15. Toprak ortamının özelliği parametresi için mekânsal dağılım.

DSİ'den temin edilen 315 adet kuyu logu incelenmiş ve numune alınan kuyulara en yakın konumlarda yer alan kuyu logları kullanılarak numune alınan 25 kuyunun akifer ortamı özellikleri belirlenmiştir. Karstik alan üzerinde bulunan kuyuların akifer ortamının derecelendirme katsayısı 9,5 olan karstik kireçtaşı, pliyosen yaşlı Kurşunlu Formasyonunun kumtaşı ve konglomeraları formasyonunda bulunan kuyuların akifer ortamının ise derecelendirme katsayısı 6,5 olan kumtaşı konglomeraları olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.16).

4.2.6. Hidrolik iletkenlik (C)

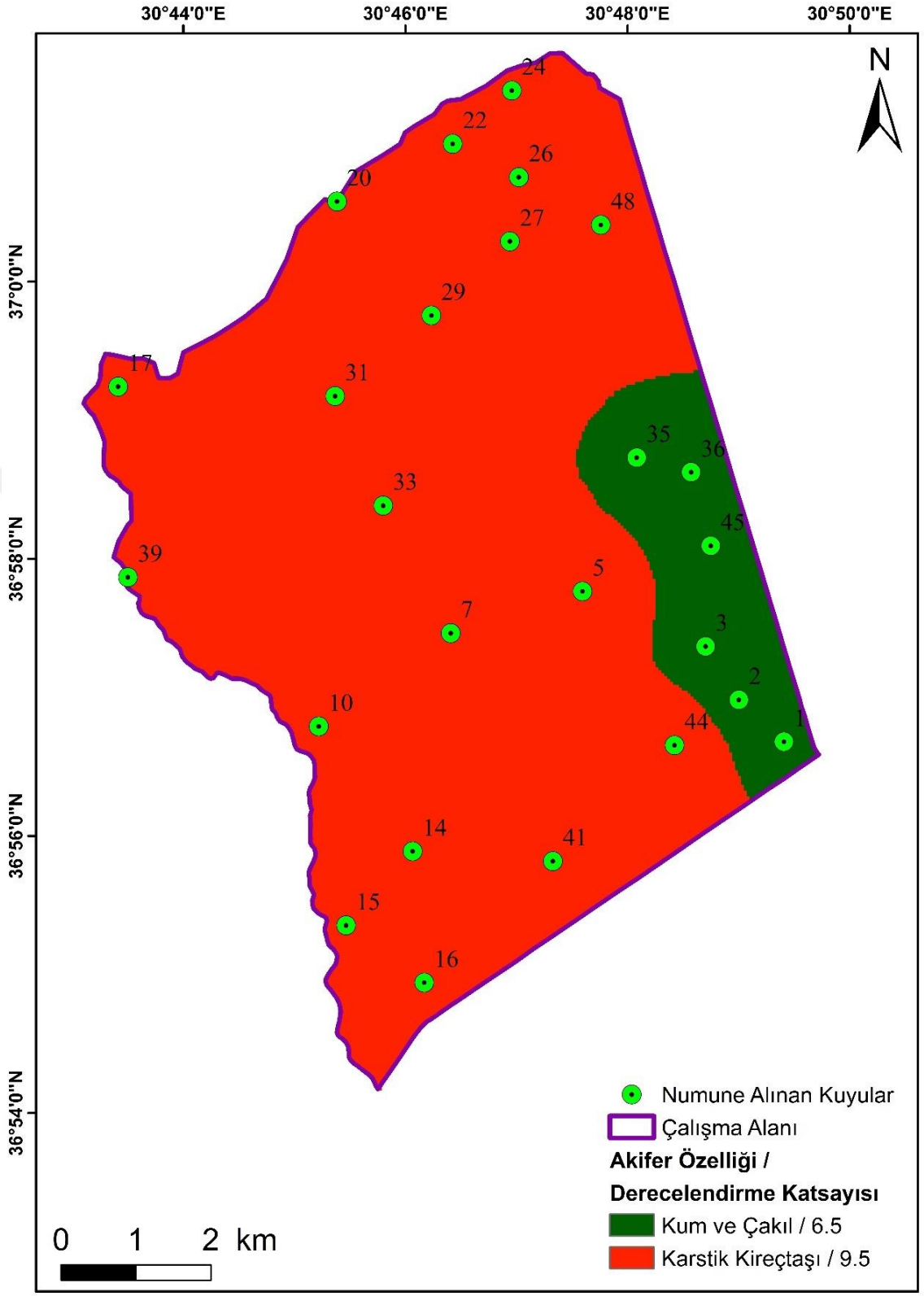
Çalışma alanındaki hidrolik iletkenlik değerlerini tanımlamak için DRASTIC yöntemi için elde edilen hidrolik iletkenlik değerleri kullanılmış ve SINTACS metodu için elde edilen hidrolik iletkenlik parametresinin mekânsal dağılımı Şekil 4.17'de sunulmuştur.

4.2.7. Yüzey eğimi (Su)

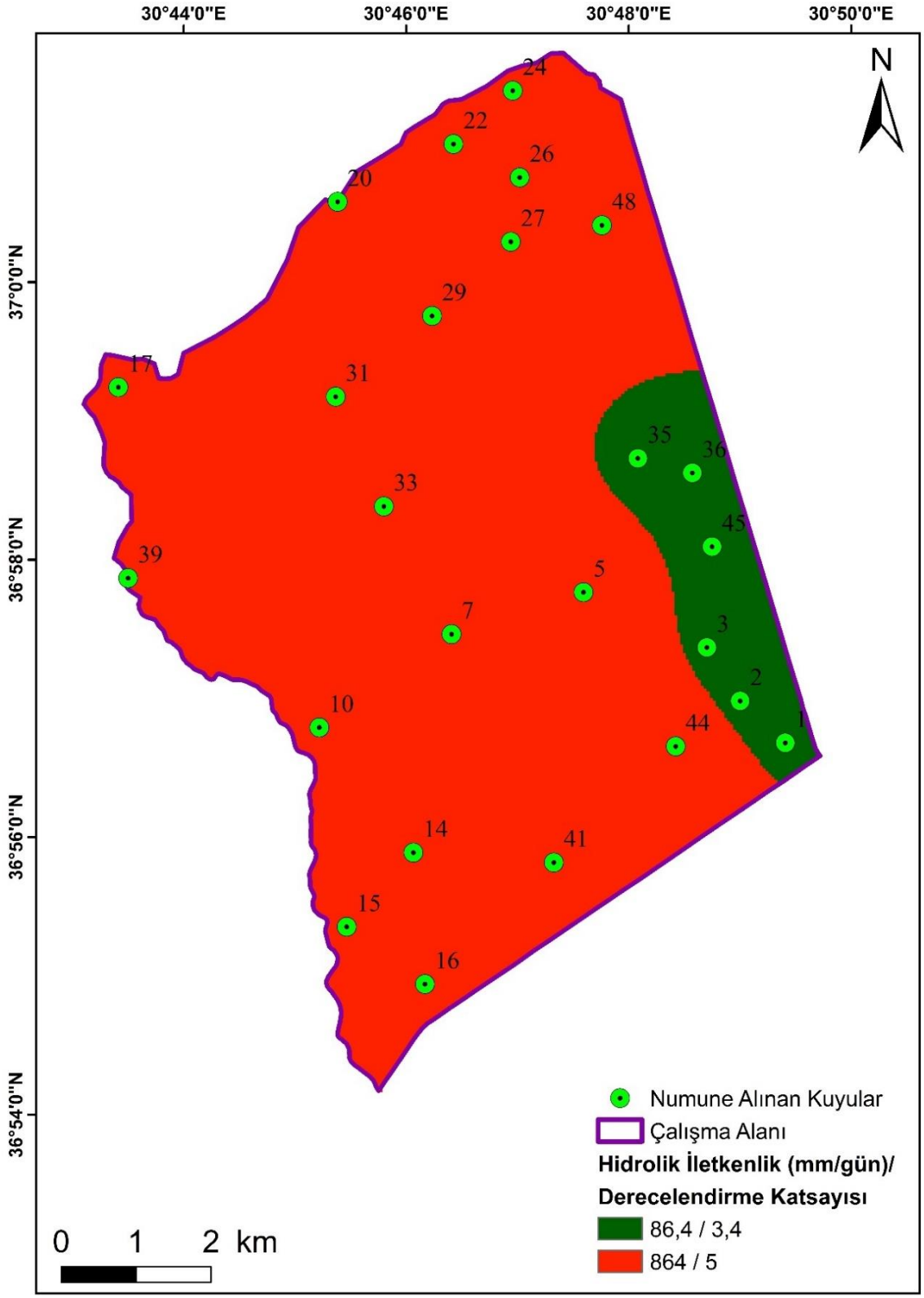
SINTAC metodunda kullanılan yüzey eğimleri, DRASTIC metodunda elde edilen değerler ile aynıdır. Bu değerler ve SINTACS metodu için elde edilen derecelendirme katsayıları Çizelge 4.3'te gösterilmektedir.

Çizelge 4.3. Hesaplanan ortalama eğimler ve derecelendirme katsayıları.

Numune alınan nokta	Hesaplanan ortalama eğim (%)	Derecelendirme katsayısı
1	3,84	8,6
2	3,69	8,7
3	3,42	8,9
5	3,73	8,7
7	2,79	9,45
10	3,57	8,9
14	3,47	8,9
15	3,66	8,8
16	3,49	8,9
17	3,06	8,7
20	5,92	7,5
22	3,14	9,0
24	3,44	8,9
26	2,68	9,4
27	2,97	9,0
29	2,56	9,3
31	2,69	9,4
33	2,93	9,0
35	2,89	9,0
36	2,69	9,4
39	3,89	8,6
41	3,74	8,7
44	2,94	9,0
45	3,35	8,7
48	2,63	9,4



Şekil 4.16. Akifer özelliği parametresinin mekânsal dağılımı.



Şekil 4.17. Hidrolik iletkenlik parametresinin mekânsal dağılımı.

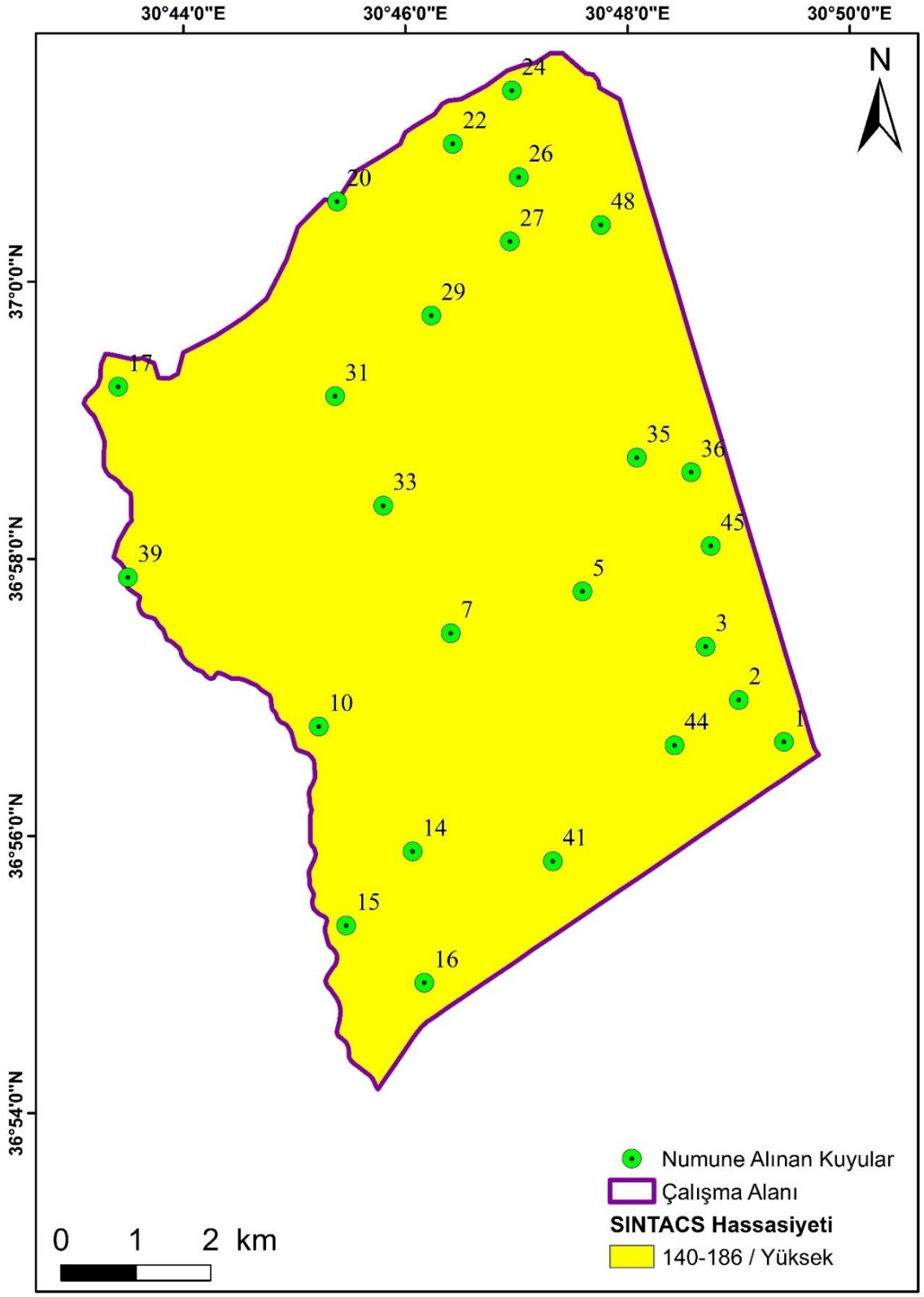
4.2.8. SINTACS indeksinin hesaplanması

SINTACS yöntemindeki tüm parametreler için veriler elde edildikten sonra derecelendirme katsayıları belirlenmiştir. Çalışma alanındaki her izleme noktası için SINTACS indeksi hesaplanmış ve ArcGIS ortamına aktarılmıştır. ArcGIS ortamında her nokta için elde edilen verilerin alanı temsil edebilmesi için IDW interpolasyon yöntemi kullanılmış ve tüm çalışma alanının hassasiyet haritası belirlenmiştir. SINTACS indeksi hesaplandıktan sonra Şekil 4.18'de verilen hassasiyet sınıflarına bölünmüş ve standart renkler kullanılarak renklendirilmiştir.

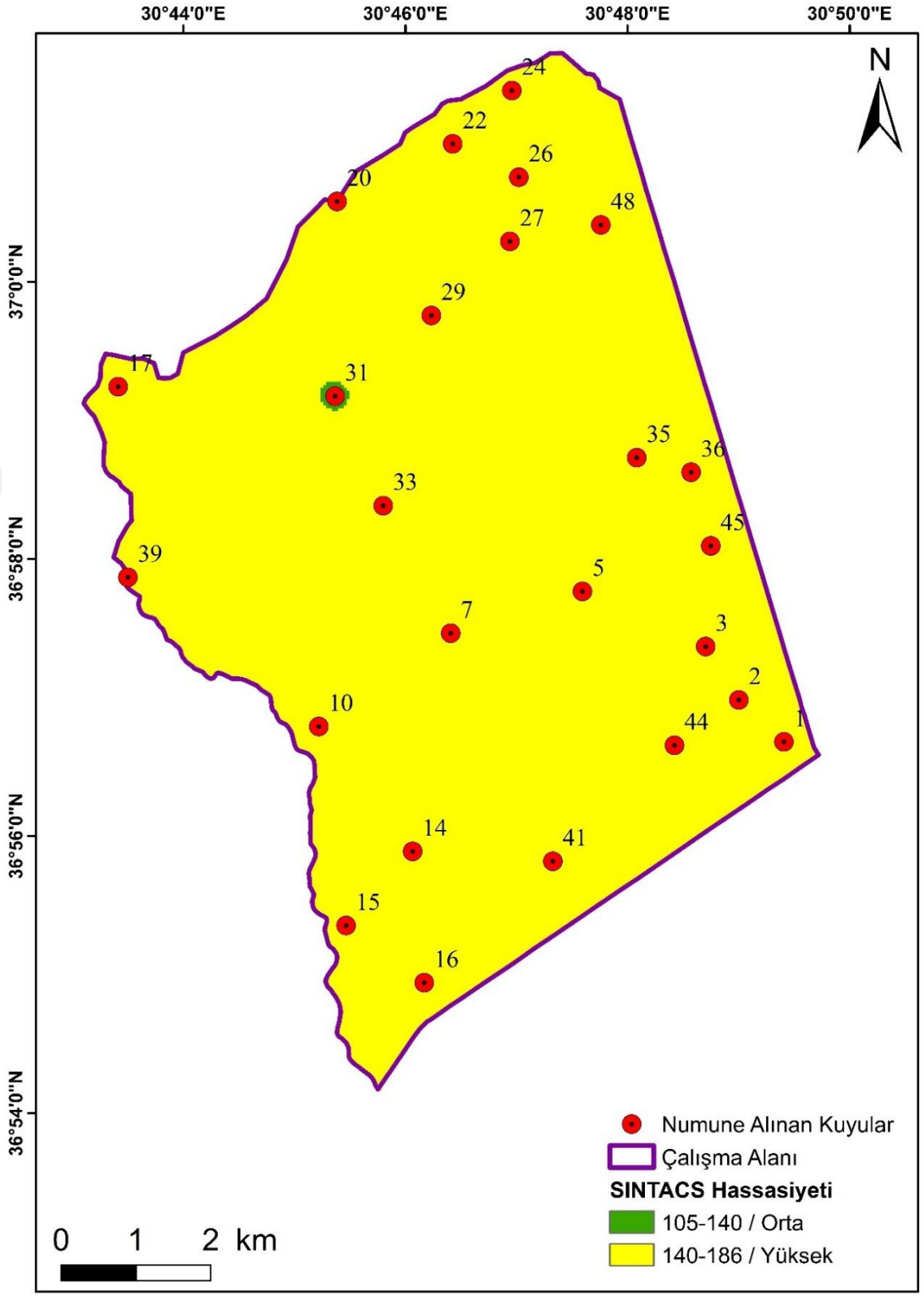
SINTACS Hassasiyet İndeksi	Hassasiyet Derecesi
26–80	Çok Düşük
80–105	Düşük
105–140	Orta
140–186	Yüksek
186–210	Çok Yüksek
210–260	Aşırı Yüksek

Şekil 4.18. SINTACS hassasiyet sınıfları ve standart renkleri.

SINTACS yönteminde birden çok ağırlık katsayısı kullanılmaktadır. Çalışma alanında SINTACS yönteminin hesaplanması sırasında iki adet senaryo oluşturulmuştur. Senaryo 1'de tüm çalışma alanı için "karstik alanlar" grubu için tanımlanan ağırlık katsayıları kullanılmıştır. Senaryo-1'e ilişkin hesaplar EK-2'de sunulmuş ve elde edilen hassasiyet haritası Şekil 4.19'da gösterilmiştir. Senaryo-2'de ise tüm çalışma alanında "aşırı kirleticilerin bulunduğu alanlar" için tanımlanan ağırlık katsayıları kullanılarak indeks hesapları yapılmıştır. SINTACS indeksi hesapları EK-2'de, hassasiyet haritası ise Şekil 4.20'de verilmiştir.



Şekil 4.19. SINTACS metodu ile Senaryo-1 için elde edilen hassasiyet haritası.



Şekil 4.20. SINTACS metodu ile Senaryo-2 için elde edilen hassasiyet haritası.

4.3. COP Hassasiyeti

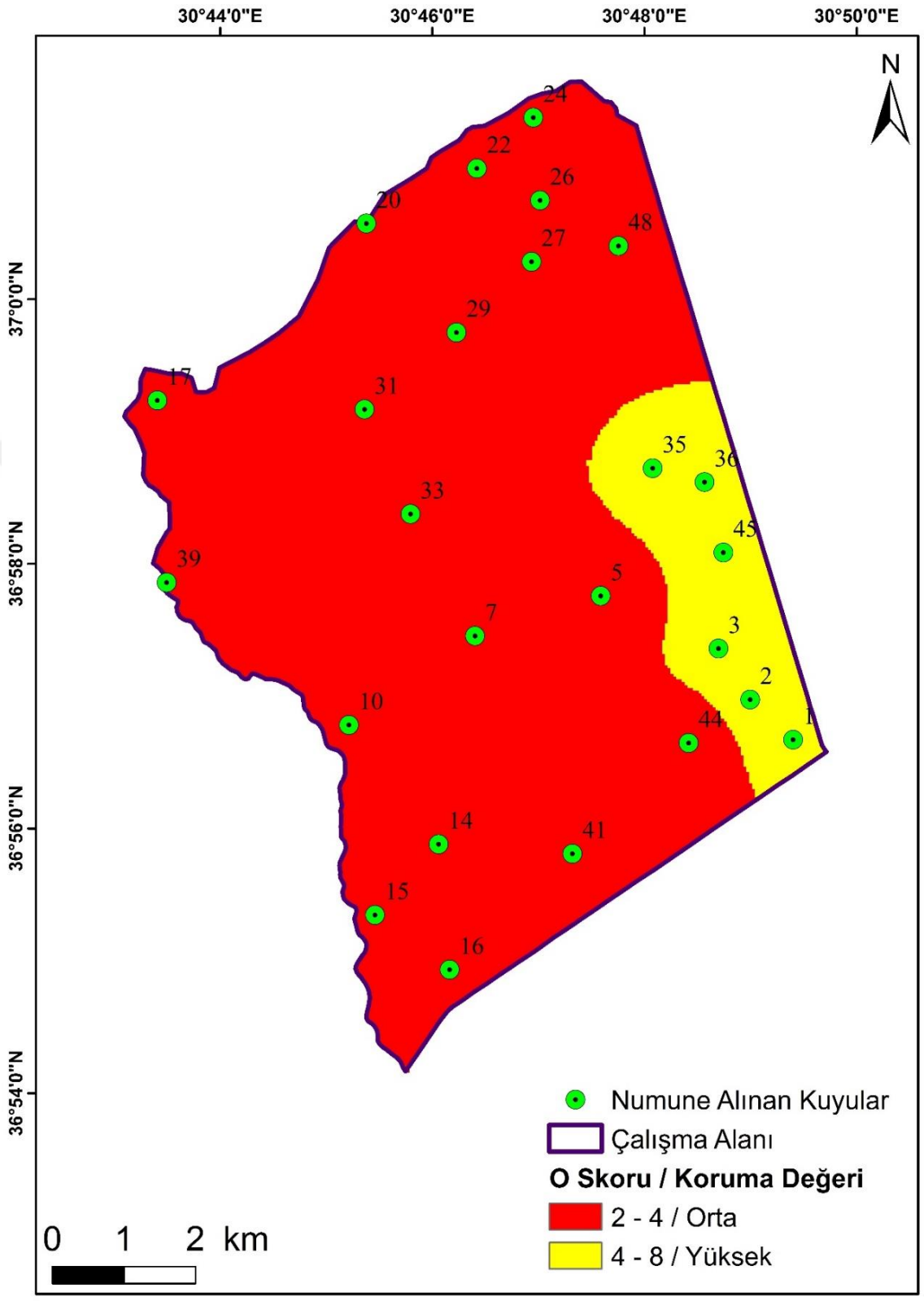
COP metodu çalışma alanı için materyal metot kısmında anlatıldığı gibi uygulanmış ve elde edilen bulgular aşağıda sunulmuştur.

4.3.1. O faktörü (Örtüleyen tabakalar)

Çalışma alanında COP metodunun uygulanabilmesi için ilk olarak O faktörünün belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için Mayıs 2016 dönemine ilişkin toprak analizi sonuçları COP metodunda tanımlı olan toprak bünyesi sınıfları ile karşılaştırılmış olup çalışma alanı için iki çeşit toprak türü (killi tın ve tınlı toprak) tanımlanmıştır. Bölgede gerçekleştirilen Mayıs 2016 dönemine ait toprak analizleri sonuçlarına göre, bölgedeki killi tın toprak türü için kil içeriği %30'dan büyük olduğu için toprak bünyesi Çizelge 3.14'ten killi olarak seçilmiştir. Çalışma bölgesinde karstik oluşuma bağlı olarak toprak kalınlığı 0,5 m'den az olduğu için, OS değeri Çizelge 3.15'ten "3" değeri olarak belirlenmiştir. Çalışma alanındaki ikinci toprak türü ise tınlı topraktır. Tınlı toprak türünün kalınlığı da 0,5 m'den az olduğu için Çizelge 3.15'ten Os değeri "1" olarak belirlenmiştir.

O_L alt faktörü için çalışma alanında bulunan litolojik birimler dikkate alınarak Çizelge 3.16'dan ly parametresi için karşılık gelen değerler belirlenmiştir. Traverten (Qa) üzerinde bulunan izleme noktaları için "1", eski alüvyon (Qb) ve çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı (plk) üzerinde bulunan izleme noktaları için ise "40" değerleri alınmıştır. Jeolojik birimlerin kalınlıkları ise Qa, Qb ve plk için sırası ile 60-180 m, 20 m ve 150 m olarak belirlenmiştir (Şenel 1997).

Daha sonra her bir tabaka sırası ile kalınlıkları ile çarpılarak Çizelge 3.17'den tabaka indeksleri belirlenmiştir. Traverten üzerinde bulunan izleme noktalarının tabaka indeksi "1", plk için ise "4" olarak belirlenmiştir. Qb jeolojik formasyonu üzerinde yer alan izleme noktası bulunmadığı için hesaplamaya dâhil edilmemiştir. "cn" parametresi içinse çalışma alanını temsil eden serbest akifer türü için "1" değeri seçilerek Eşitlik 3.4'te gösterildiği gibi tabaka indeksi ile çarpılarak OL alt faktörü belirlenmiştir. OL ve OS faktörleri ayrı ayrı belirlendikten sonra O faktörünün belirlenmesi için Eşitlik 3.5 kullanılmış ve çalışma alanındaki her nokta için O faktörü EK-2'de gösterildiği gibi hesaplanmış ve O faktör haritası oluşturulmuştur (Şekil 4.21).



Şekil 4.21. Örtüleyen tabakaları temsil eden O haritası.

4.3.2. C faktörü (Akım yoğunluğu)

Çalışma alanı için C faktörü belirlenirken düden ve batan nehirlerin beslenme alanında bulunmaması sebebiyle 2. Senaryo takip edilmiştir. "sf" parametresi Çizelge 3.23'ten Traverten (Qa) üzerinde bulunan izleme noktalarını temsil eden "gelişmiş karst" seçilmiş ve traverten yüksek geçirimliliğe sahip olduğu için "0,5" değeri alınmıştır. Alanda bulunan diğer jeolojik birimler olan Belkıs Konglomerası ve Kurşunlu formasyonu için ise "sf" parametresi Çizelge 3.23'ten "1" olarak belirlenmiştir.

Çalışma alanının eğimi %8'den düşük ve bitki örtüsü ihmal edilecek kadar azdır. Bu nedenle "sv" parametresi için Çizelge 3.24'den tüm alanı temsilen "0,75" değeri alınmıştır. Daha sonra Eşitlik 3.7 yardımıyla C faktörünün değeri belirlenmiş (EK-2) ve C haritası oluşturulmuştur (Şekil 4.22).

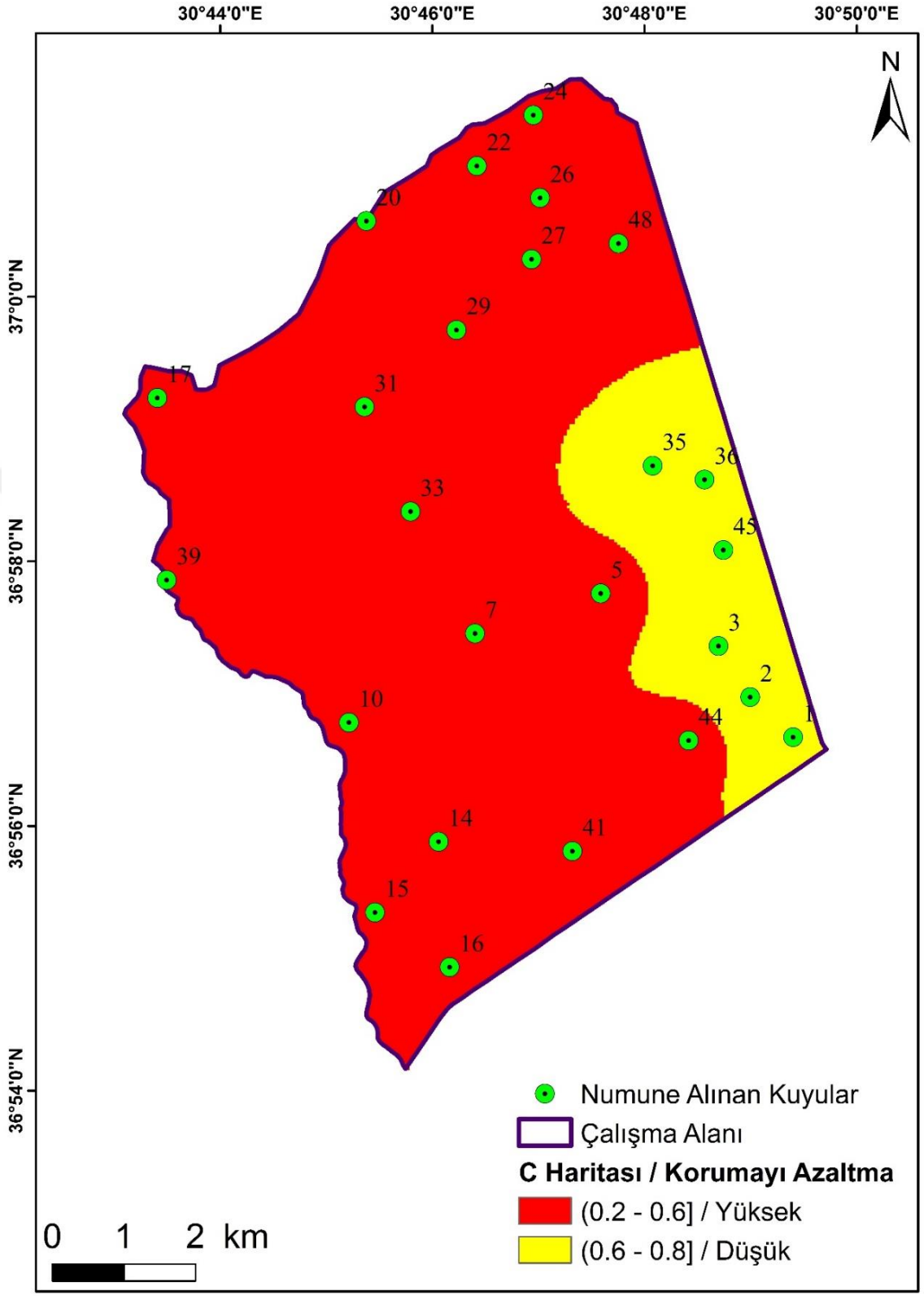
4.3.1. P faktörü (Yağış)

P faktörünün belirlenmesi için çalışma alanına en yakın konumda olan Antalya Havalimanı Meteoroloji İstasyonundan 2000-2015 yılları arasındaki yağış verileri elde edilmiş ve ortalama yağış miktarı 1240,09 mm/yıl olarak belirlenmiştir.

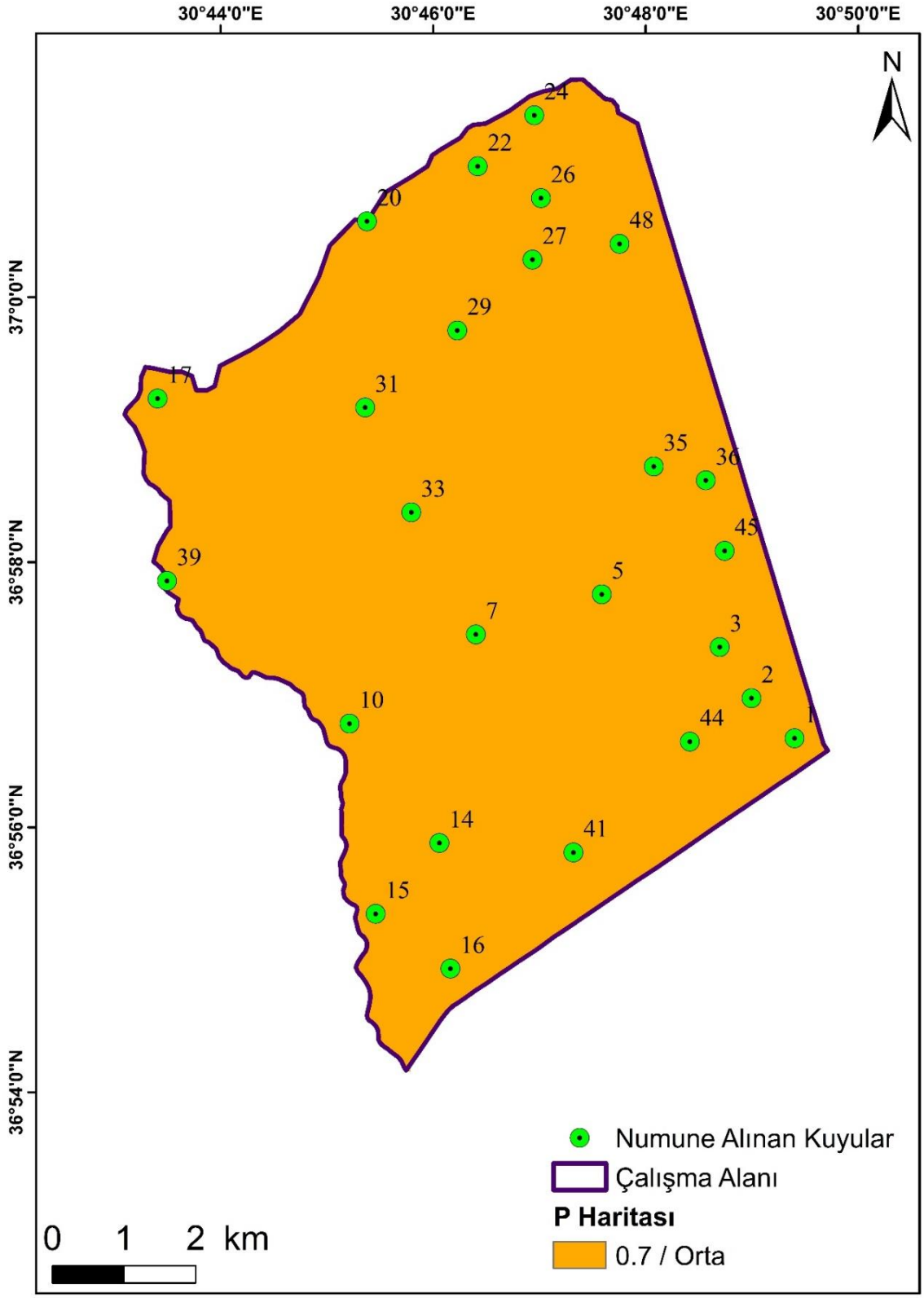
P_Q parametresinin belirlenmesi için Çizelge 3.26'dan ortalama yağış miktarına karşılık gelen "0,3" değeri alınmıştır. 2000-2015 yılları arasında yağmurlu gün sayısı Antalya Meteoroloji İl Müdürlüğü'nden alınan verilerden 85,7 olarak hesaplanmıştır. Daha sonra yıllık yağış miktarı, yağmurlu gün sayısına bölünerek yağış yoğunluğu 14,47 mm/gün olarak hesaplanmıştır. P_I parametresinin değeri ise Çizelge 3.27'de yağış yoğunluğuna karşılık gelen değer olan "0,4" olarak belirlenmiştir.

Çalışma alanında yer alan izleme noktaları için P faktörünün değeri Eşitlik 3.9'da gösterildiği gibi PQ ve PI alt faktörlerinin toplanmasıyla elde edilmiş (EK-2) ve P haritası oluşturulmuştur (Şekil 4.23).

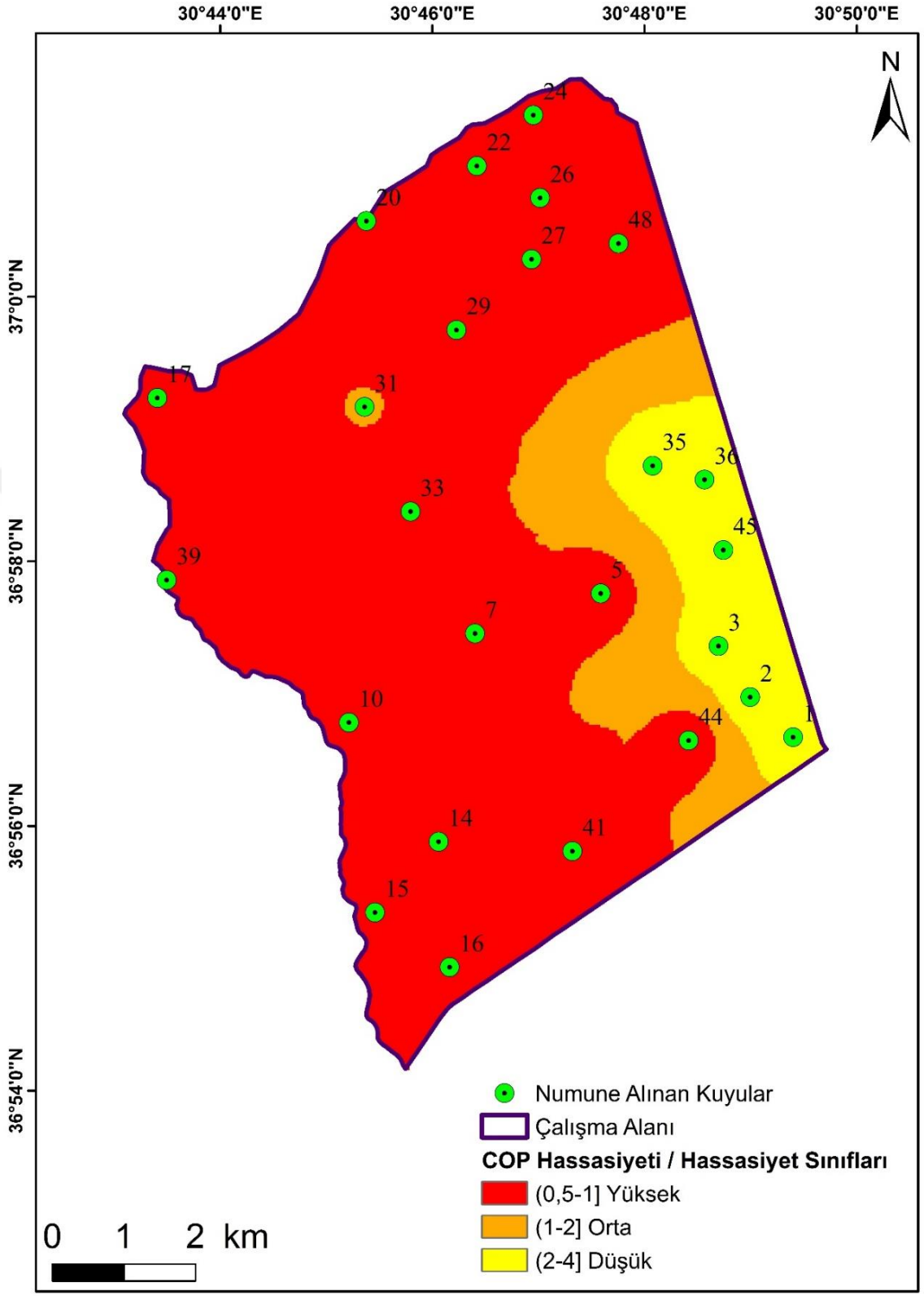
C, O ve P faktörlerinin her birinin değerleri belirlendikten sonra Eşitlik 3.10 ile çalışma alanında yer alan izleme noktalarının COP hassasiyet indeksi hesaplanmış (EK-2) ve COP haritası oluşturulmuştur (Şekil 4.24).



Şekil 4.22. Akım yoğunluğu faktörü için C haritası.



Şekil 4.23. Yağış parametresini temsil eden P haritası.



Şekil 4.24. COP hassasiyet haritası.

4.4. PI Hassasiyeti

4.4.1. P faktörü (Koruyucu örtü)

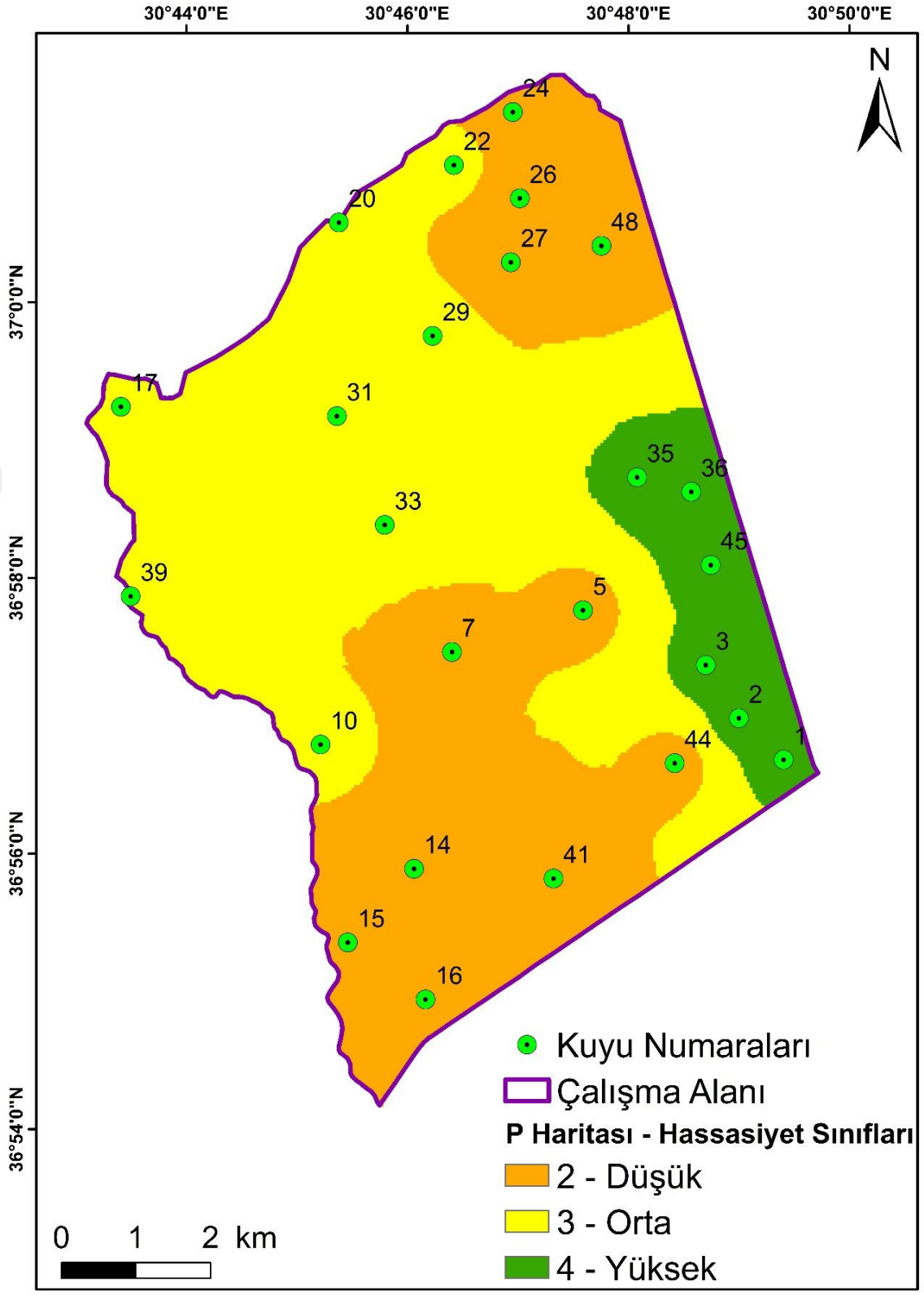
P faktörünün belirlenebilmesi için koruyucu örtü toplam koruma işlevinin değeri olan P_{TS} skoru Eşitlik 3.12'de gösterildiği şekilde hesaplanmalıdır. Bunun için çalışma alanı ile ilgili bazı verilere ihtiyaç vardır. Bunlardan birisi olan üst toprak değeri 50 mm eFC ye karşılık gelen "10" olarak alınmıştır. PI metodu alt toprak (S) parametresini yüzeyin 1 m altındaki toprak tabakası olarak tanımlamaktadır (

Çizelge **3.31**). Çalışma alanında alt toprak olarak nitelendirilecek bir tabaka olmadığı için hesaplara dâhil edilmemiştir.

Çalışma alanı için YAS beslenim miktarı, DSİ 13. Bölge Müdürlüğü Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltı Suları Şube Müdürlüğü tarafından hazırlanan Antalya Master Plan Raporu'nda karstik alanlar için yağışın %44'ü, kumtaşı ve konglomeraların olduğu kısımda ise %15'i olarak verilmiştir (AMPR 2015). Beslenim parametresinin belirlenmesine yönelik değerler Çizelge 3.32'da sunulmuştur. R parametresi karstik alanlarda 0,75 kalan kısımlarda ise 1,75 olarak belirlenmiştir. Litoloji (L) parametresinin belirlenmesine yönelik değerler Çizelge 3.33'te verilmiştir.

Litoloji parametresi için çalışma alanındaki jeolojik birimler olan traverten, konglomera ve kum taşı formasyonlarını temsil eden "5" değeri seçilmiştir. Bu metot içerisinde yer alan çatlaklık (F) parametresinin belirlenmesine yönelik değerler Çizelge 3.34'te sunulmuştur.

F parametresi açısından traverten alanı "yoğun çatlaklı ve aşırı karstlaşmış" olduğundan "0,3", kumtaşı ve konglomera içeren diğer birimler ise "çok az çatlaklı" oldukları için "4" değeri seçilmiştir. F ve P parametreleri tanımlandıktan sonra çarpılarak B değeri elde edilmiştir. Çalışma alanında bulunan traverten kalınlıkları DSİ'nin Antalya Traverten Platosu raporundaki traverten kalınlık haritasından elde edilmiştir (DSİ 1985). Diğer jeolojik formasyonlar olan Qb ve plk için ortalama kalınlık değerleri Şenel (1997) tarafından sırasıyla 20 m ve 150 m olarak tanımlanmıştır. Kalınlıklar belirlendikten sonra Eşitlik 3.12'de yerine konularak çalışma alanındaki izleme noktalarının her biri için PTS değeri hesaplanmıştır (Çizelge 8.6). Çalışma alanında bulunan izleme noktaları için hesaplanan PTS skoruna karşılık gelen P faktörü değerleri belirlendikten sonra P haritası oluşturulmuştur (Şekil 4.25).



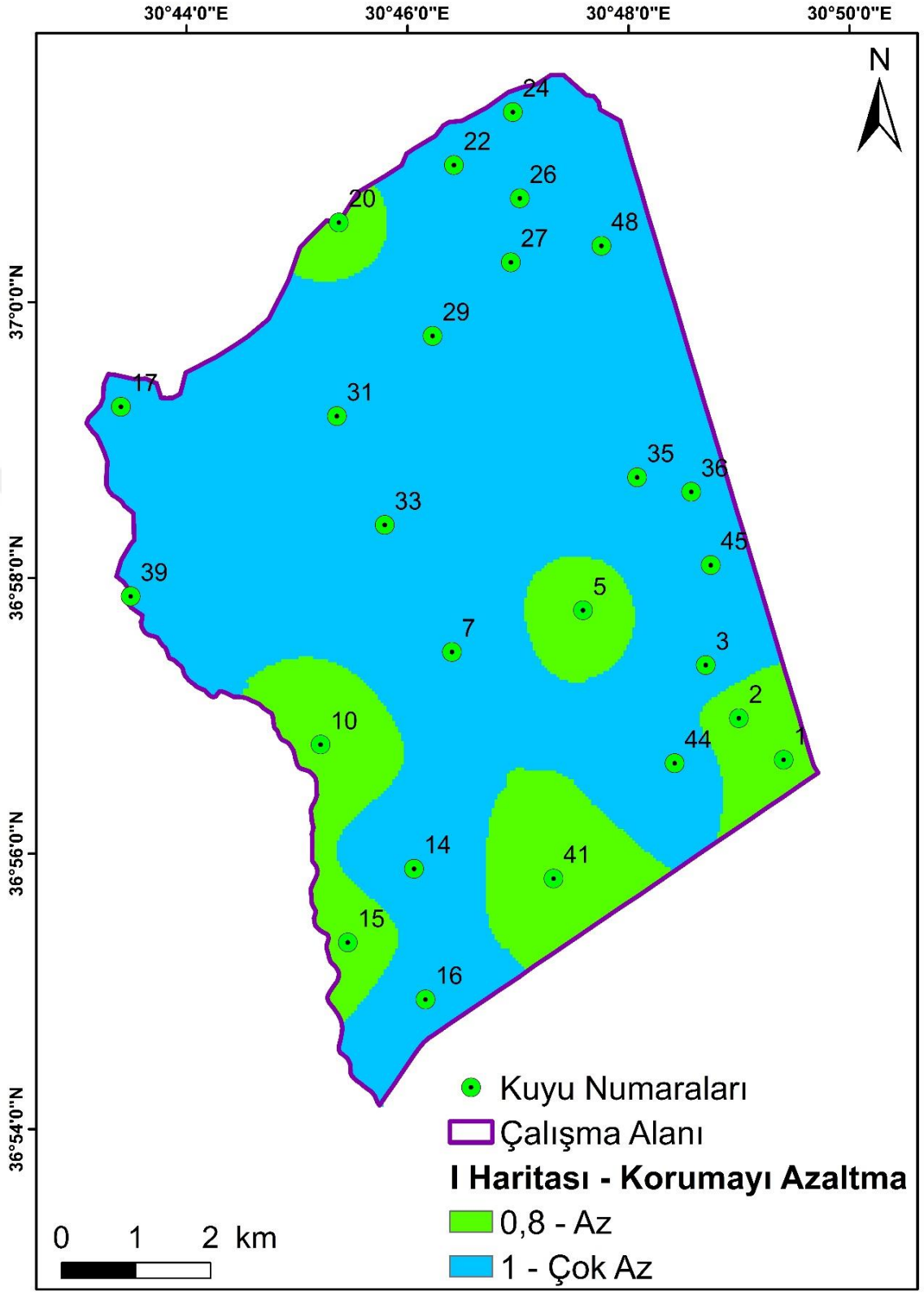
Şekil 4.25. Koruyucu örtüyü temsil eden P faktörü haritası.

4.4.2. I faktörü (İnfiltrasyon koşulları)

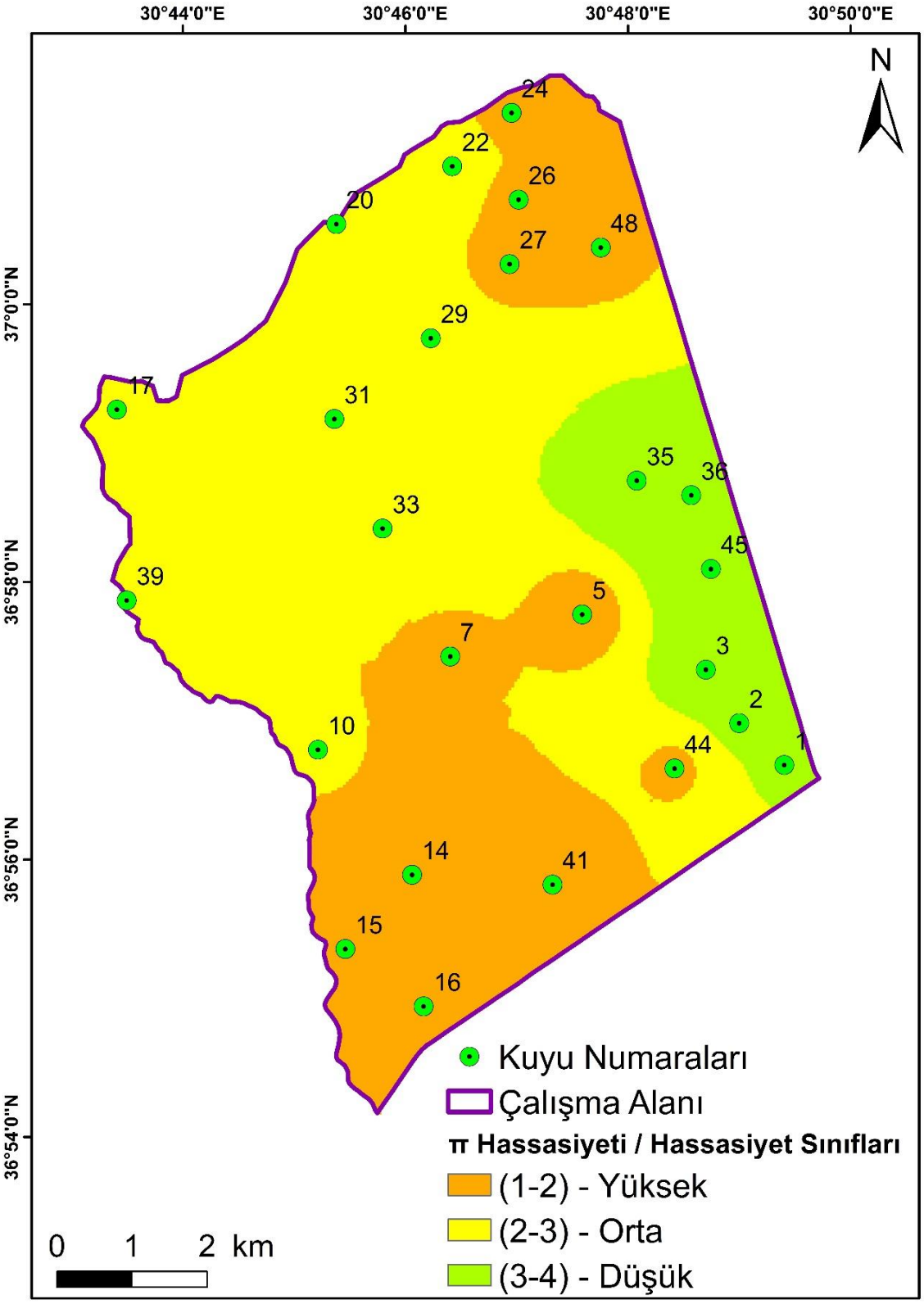
Çalışma alanında infiltrasyon koşulları parametresi tanımlanırken ilk adım olarak Çizelge 3.36'ten toprak katmanı özellikleri belirlenmiştir. Çalışma alanında düşük geçirimli tabakaya olan uzaklık, toprak kalınlığı, 30 cm'den küçük olarak kabul edilmiştir.

Çalışma alanı için hidrolik iletkenlik değerinin belirlenmesi aşamasında DSİ 13. Bölge Müdürlüğü Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltı Suları Şube Müdürlüğü'nden emekli jeoloji mühendisi İhsan TAŞKIN ile 04.02.2016 tarihinde yapılan sözlü görüşmede daha önceden kendilerinin arazide yaptıkları pompa testleri sonucu karstik alandaki hidrolik iletkenlik değerinin 864 mm/gün (10^{-5} m/s), pliyosen yaşlı Kurşunlu Formasyonunun kumtaşı ve konglomeraları formasyonun bulunduğu alanda ise 86,4 mm/gün (10^{-6} m/s) olarak tespit edildiği ifade edilmiştir. Hidrolik iletkenlik ve düşük geçirimli tabakaya olan uzaklık değerleri kullanılarak çalışma alanındaki toprak katmanı özelliği karstik bölgede D Tipi, pliyosen yaşlı kurşunlu formasyonunun kumtaşı ve konglomeraları formasyonun bulunduğu bölgede ise E Tipi olarak belirlenmiştir.

Toprak özellikleri belirlendikten sonraki adım I' faktörünün belirlenmesidir. Çalışma alanında orman bulunmadığından I' faktörü belirlenirken tarla/çayır/otlak arazi sınıfı kullanılmıştır. Çalışma alanında bulunan izleme noktalarının eğimi Şekil 4.7'de verilmişti. Belirlenen ortalama eğimler ve toprak özellikleri kullanılarak her kuyunun bulunduğu noktanın I' faktörü bulunmuştur. İzleme noktası yerleşim alanı içinde kalıyor ise I' faktörü 0,8 olarak alınmıştır. Çalışma alanında yeraltı nehirleri ve düdenler bulunmadığından Çizelge 3.38'den diğer alanlar olarak seçilmiş ve belirlenen I' faktörleri kullanılarak her nokta için I değerleri belirlenmiş ve I haritası oluşturulmuştur (Şekil 4.26). Her kuyu noktası için infiltrasyon koşulları parametresinin hesaplanışı EK-2'de verilmiştir. PI yöntemi için P ve I parametreleri ayrı ayrı belirlenip P ve I haritaları oluşturulduktan sonra üst üste bindirme yöntemi ile çalışma alanının PI hassasiyet haritası oluşturulmuştur (Şekil 4.27).



Şekil 4.26. İnfiltrasyon koşullarını temsil eden I faktörü haritası.



Şekil 4.27. PI hassasiyet haritası.

4.5. EPIK Hassasiyeti

4.5.1. Epikarst parametresi (E)

Çalışma alanında bulunan karstik alan çok iyi gelişmiş karstik alanlar sınıfına girdiği için çalışma alanında karstik alanda bulunan yerlere E1 değeri atanmış ve derecelendirme katsayısı olarak 1 seçilmiştir. Karstik olmayan pliyosen yaşlı kurşunlu formasyonunun kumtaşı ve konglomeraları formasyonun bulunduğu alanda ise E3 değeri atanmış ve derecelendirme katsayısı olarak 4 seçilmiştir. Epikarst gelişimini gösteren "E" parametresi haritası Şekil 4.28'de verilmiştir.

4.5.2. Koruyucu örtü parametresi (P)

Çalışma alanında toprak örtüsü kalınlığı karstik yapıya bağlı olarak 0-20 cm aralığında kabul edilmiş ve derecelendirme katsayısı 1 olarak seçilmiştir. Koruyucu örtü parametresi (P) haritası Şekil 4.29'da verilmiştir.

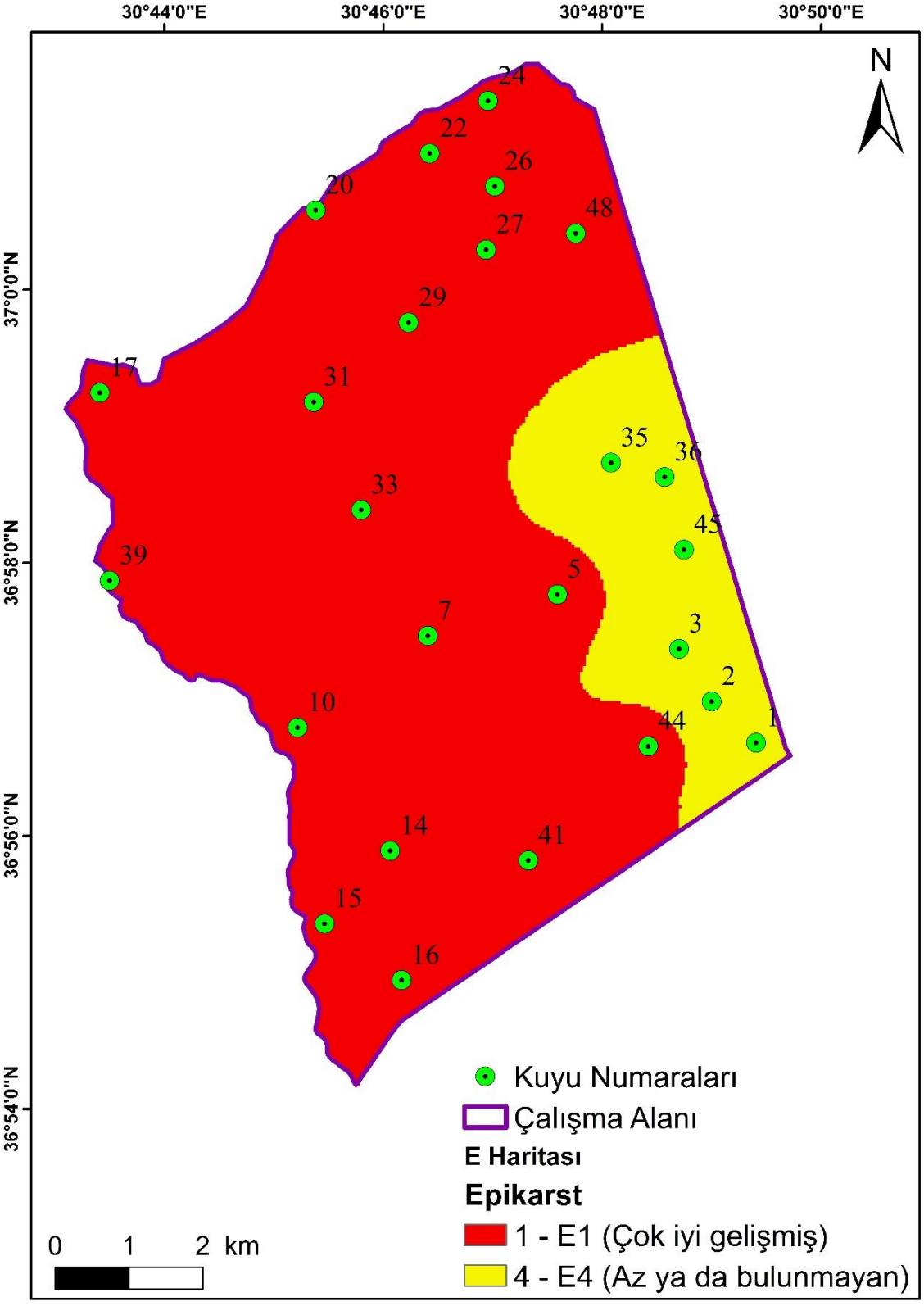
4.5.3. İnfiltrasyon şartları parametresi (I)

Çalışma alanında eğim %10'dan küçük ve alan jeolojisi I_3'te verilen tanımlamaya uyduğundan çalışma alanının tamamı için I_3 sınıfı seçilmiş ve derecelendirme katsayısı 3 alınarak I haritası oluşturulmuştur (Şekil 4.30).

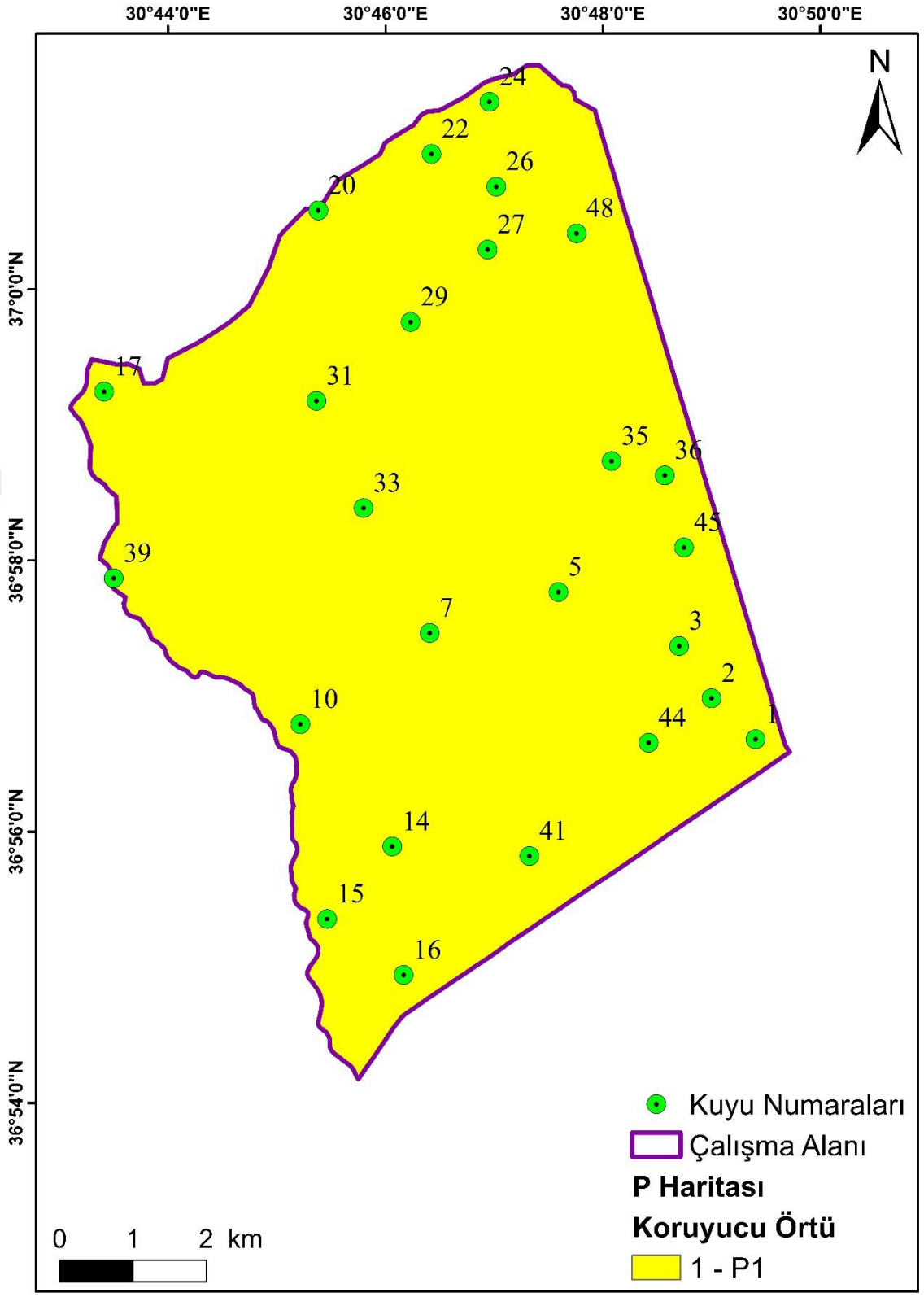
4.5.6. Karst ağının gelişimi parametresi (K)

Karst ağı gelişimi parametresinin belirlenmesi için çalışma alanına ait jeoloji haritası kullanılmıştır. Çalışma alanında bulunan traverten yapıya sahip bölge mağaralarca zengin olduğundan iyi gelişmiş karst ağını temsil eden K_1 parametresi, karstik olmayan pliyosen yaşlı Kurşunlu Formasyonu alanı için K_3 sınıfı seçilmiştir. Buna göre karstik alanda derecelendirme katsayısı 1, karstik olmayan alanda ise 3 kullanılarak K haritası oluşturulmuştur (Şekil 4.31).

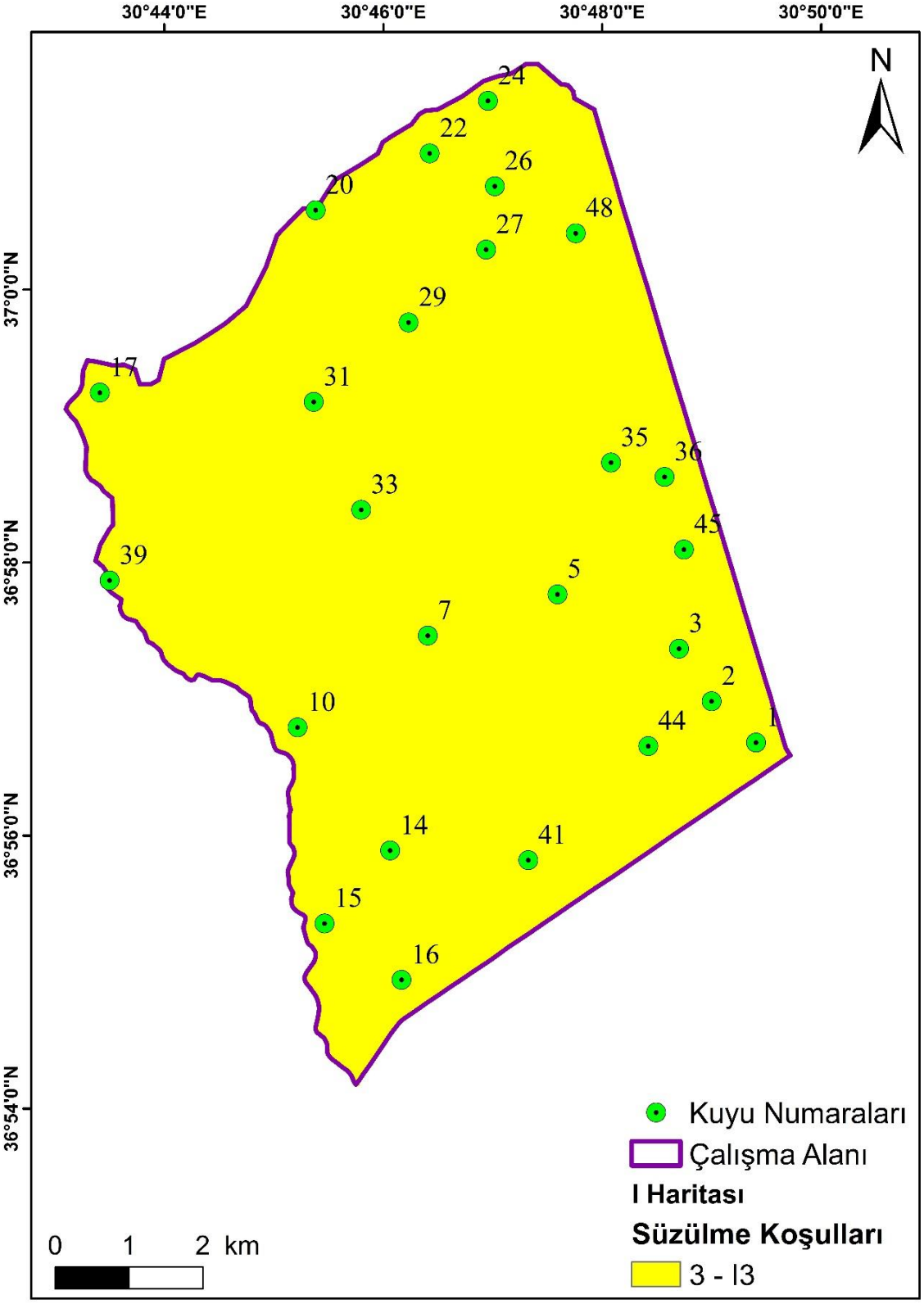
EPIK yönteminde hassasiyet haritası oluşturulmadan önce her parametrenin derecelendirme katsayısı belirlenmiş ve hassasiyet skorları hesaplanarak EK-2'de sunulmuştur. EPIK yöntemi ile oluşturulan hassasiyet haritası Şekil 4.32'de verilmiştir.



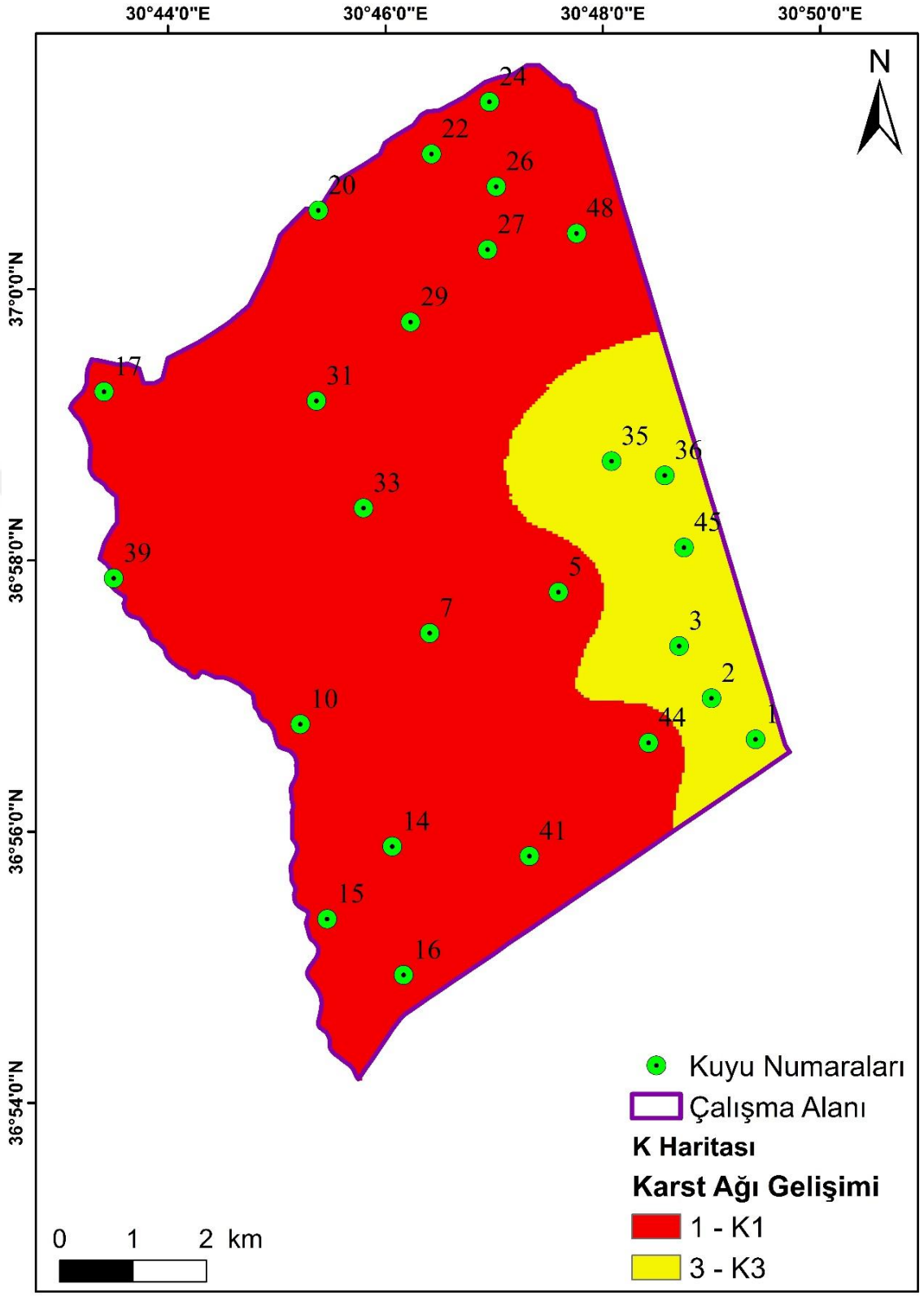
Şekil 4.28. Epikarst gelişimini gösteren E parametresi haritası.



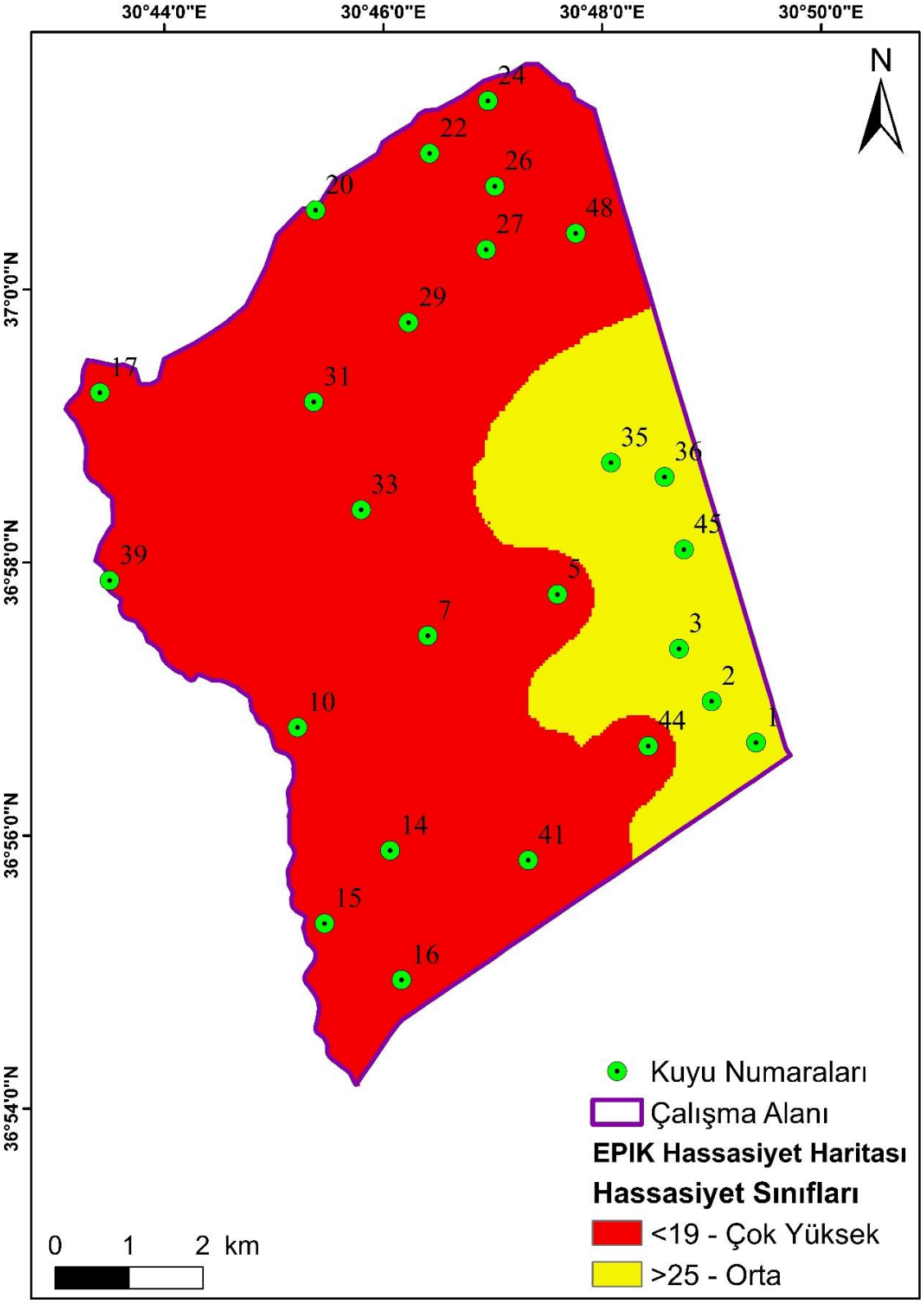
Şekil 4.29. Koruyucu örtüyü temsil eden P parametresi haritası.



Şekil 4.30. İnfiltrasyon şartlarını temsil eden I faktörü haritası.



Şekil 4.31. Karst ağının gelişimini temsil eden K faktörü haritası.



Şekil 4.32. EPIK hassasiyet haritası.

4.6. YAS Kirlilik Hassasiyeti Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Altınova bölgesi için sunulan YAS kirlilik hassasiyeti haritaları hazırlanırken, öncelikle hassasiyeti belirleyen tüm faktörler için mekânsal dağılım haritaları elde edilmiş ve daha sonra bu haritalar CBS ortamında çakıştırılarak her yöntem için YAS kirlilik hassasiyeti haritası elde edilmiştir. Kirlilik hassasiyeti haritalaması için her yöntem içinde farklı sınıflandırma aralıkları ve renklendirmeler söz konusudur. Tez çalışması kapsamında YAS kirlilik hassasiyeti için DRASTIC, SINTACS, PI, EPIK ve COP yöntemleri kullanılmış olup özellikle DRASTIC metodu için literatürde görülen modifiye edilmiş metotların kullanılması tercih edilmemiştir.

Altınova bölgesi için sunulan tüm YAS kirlilik hassasiyeti haritaları incelendiğinde, SINTACS metodu dışındaki tüm yöntemler ile çalışma bölgesindeki karstik kireçtaşı formasyonuna sahip olan bölge için YAS kirlilik hassasiyeti yüksek/daha yüksek/çok yüksek tanımlamaları ile yüksek kirlilik hassasiyetine sahip olarak belirlenmiştir. Çalışma sahasının doğu ve güney doğu kısmında yer alan karstik olmayan bölgede (pliyosen yaşlı Kurşunlu Formasyonunun kumtaşı ve konglomeralarının olduğu bölüm) YAS kirlilik hassasiyeti orta/düşük tanımlamaları ile daha düşük kirlilik hassasiyetine sahip olarak belirlenmiştir. Bu uygulamalarda sadece SINTACS yöntemi için jeolojik formasyona bağlı bir değişim gözlenmemiş olup, tüm çalışma bölgesi için yüksek YAS kirlilik hassasiyeti tanımlanmıştır. COP, PI ve EPIK hassasiyet analizi metotları, özellikle karstik alanlar için geliştirilmiş olduğundan, bu 3 metodun uygulanması ile elde edilen hassasiyet haritaları çalışma bölgesi için hidrojeolojik özellikleri daha iyi yansıtmaktadır.

4.7. Kirletici Unsur Analizi

Altınova pilot çalışma sahası için kirletici unsur değerlendirmesi için çalışma bölgesi içindeki tüm faaliyetler Çizelge 3.46'da sunulan kategori grupları ile birlikte değerlendirilerek, çalışma bölgesindeki mevcut tüm kirleticiler için kirletici unsur ağırlık faktörü (H), sıralama faktörü (Qn) ve azaltma faktörü (Rf) tanımlanmış olup Çizelge 4.4'te parametre değerleri sunulmaktadır. Kirletici unsurlara yönelik verilerin oluşturulmasında saha gözlemlerine ek olarak Antalya-Kepez Belediyesi İmar ve Şehircilik Müdürlüğünden Altınova bölgesi için temin edilen mevcut arazi kullanımı haritası ve Antalya Sanayi ve Ticaret Odası'ndan temin edilen tüm sanayi/ticari kuruluş listeleri ve lokasyonları bilgilerinden faydalanılmıştır.

Altınova pilot çalışma sahasındaki kirletici unsurlar için farklı kategorilere göre kirleticilerin bulundukları lokasyonları gösteren haritalar hazırlanmıştır. Bu kapsamda Altınova bölgesinde yer alan ahır, akaryakıt istasyonu, endüstriyel alan, foseptik, hammadde ve kimyasal depolanması, kanalizasyon hattı, kanalizasyon olmayan kentsel alan, mezarlık, sera, yeraltı akaryakıt tankları ve yollar için tek tek lokasyonlarını gösteren kirletici haritaları oluşturulmuş ve Şekiller 4.33-4.43'te sunulmaktadır. Tüm kirleticilerin birlikte ve sınıflandırma yapılmamış kirletici unsur haritası (unclassified hazard map)

Şekil 4.44'de verilmektedir. Şekil 4.44'te sunulan tüm kirleticiler için Çizelge 3.47'ye göre sınıflandırma yapılarak hazırlanan sınıflandırılmış kirletici unsur haritası (classified hazard map) Şekil 4.45'te verilmektedir. Şekil 4.45'te sunulan sınıflandırılmış kirletici unsur haritasında;

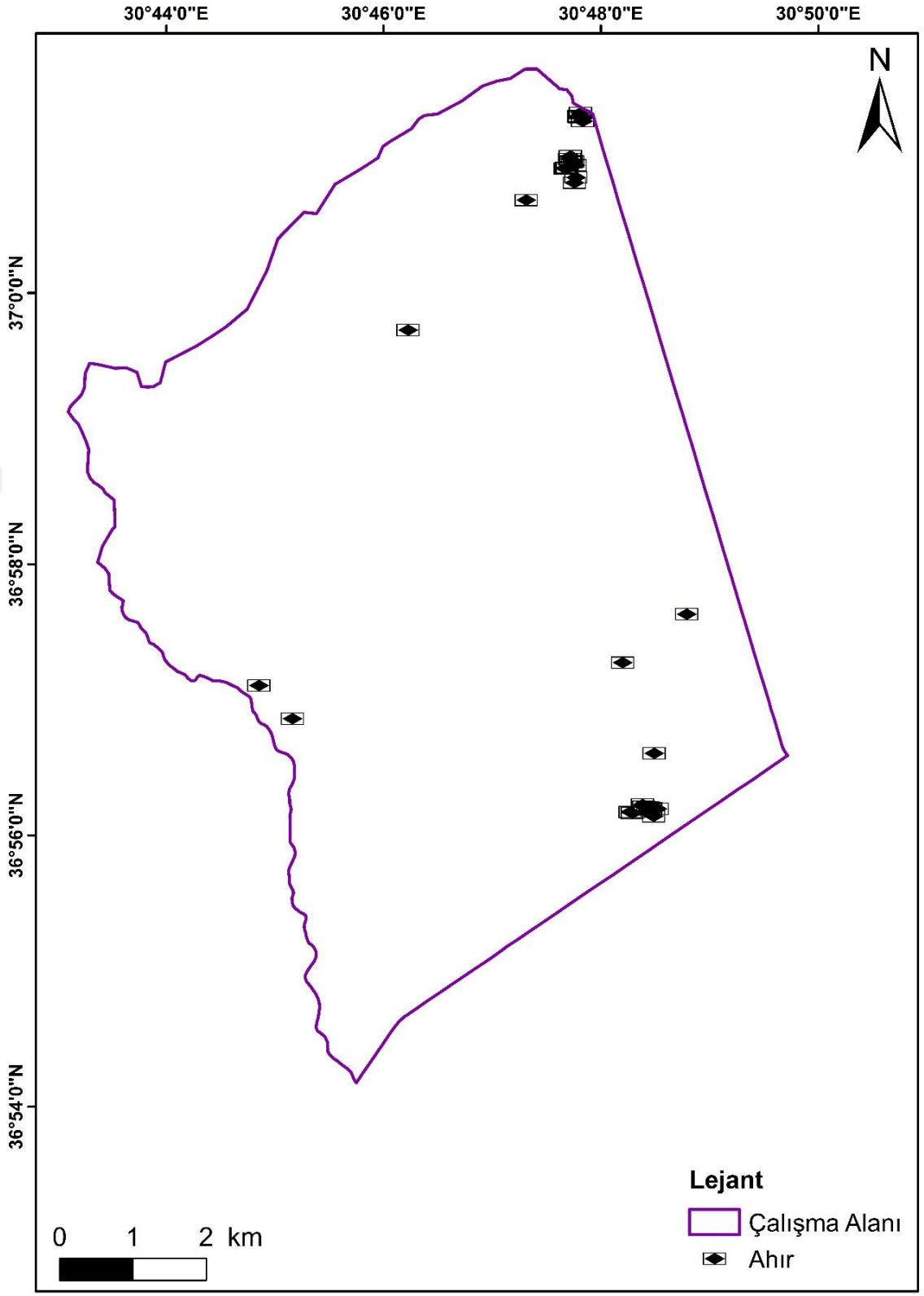
- *Az kirlilik seviyesindeki kirletici unsurlar*: yollar, mezarlıklar, foseptikler, sera alanları, otopark, kanalizasyon hattı ve endüstriyel alanlar

- *Orta kirlilik seviyesindeki kirletici unsurlar*: akaryakıt istasyonları, ahırlar, yeraltı akaryakıt tankları, hammadde ve kimyasal depolar ile kanalizasyon olmayan kentsel alanlar olarak tanımlanmıştır.

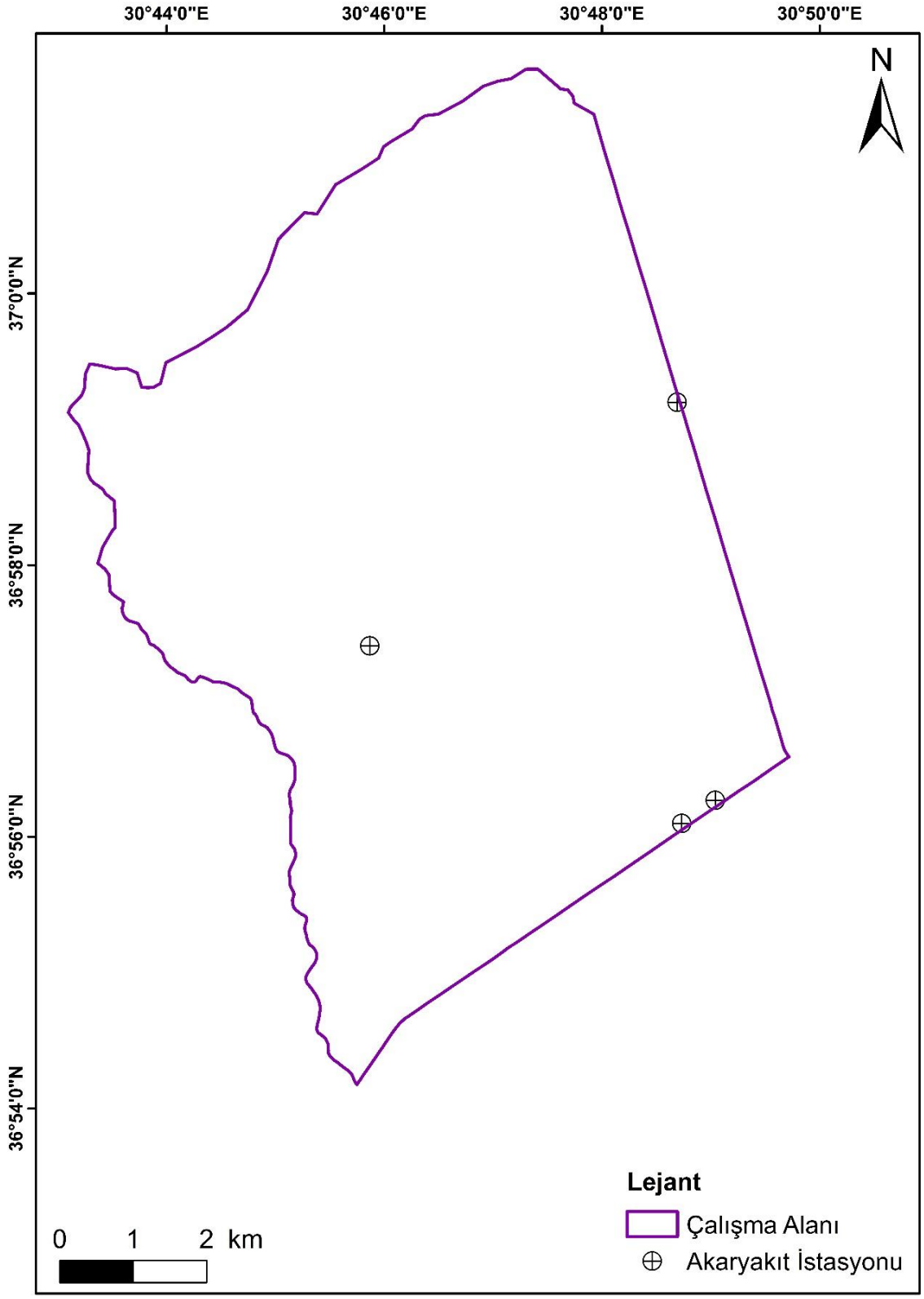
- *Yok veya çok az kirlilik seviyesindeki kirletici unsurlar*: Şekil 15'te beyaz renkli olarak görülen alanlar için yok/çok az kirlilik seviyesi tanımlanmıştır.

Çizelge 4.4. Altınova uygulama sahası için belirlenen kirleticilerin kirletici unsur değerlendirmesinde kullanılan faktör değerleri.

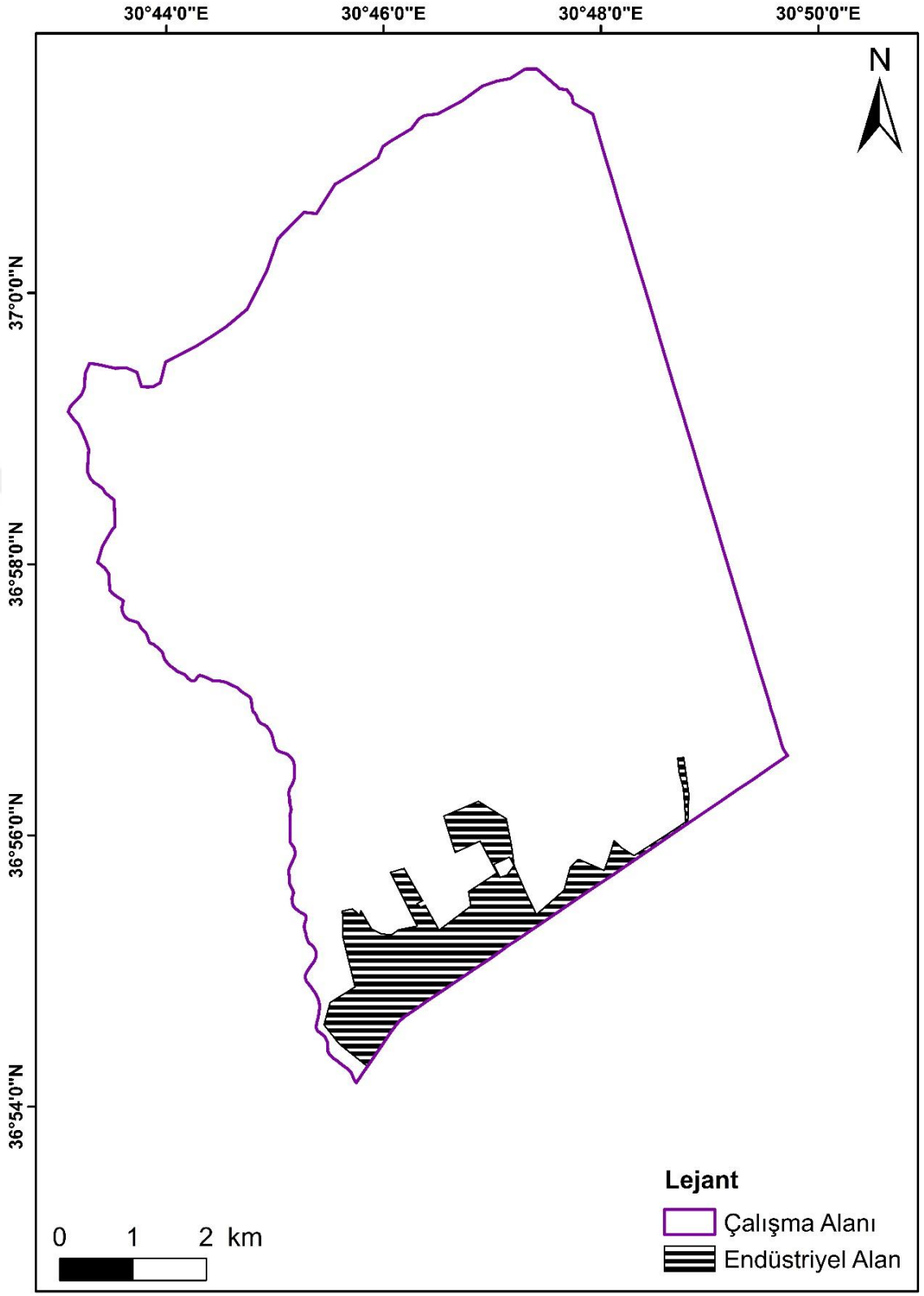
Kirleticiler	**Ağırlık faktörü (H)**	**Qn**	**Rf**	**Kirletici indeksi (HI)**	**Kirletici indeks sınıfı**
Kanalizasyon sistemi olmayan kentsel alan (1.1.2)	70	1	1	70	3
Endüstriyel alan (2.4)	40	1	1	40	2
Seralar (3.2.4)	30	1	1	30	2
Hammadde ve kimyasalların depolanması (2.6.1)	60	1	1	60	3
Yollar (1.4.1)	40	1	1	40	2
		1,2		48	2
Kanalizasyon hattı (1.1.1)	35	1	1	35	2
Foseptik (1.1.4)	45	1	1	45	2
Ahır (gübre yığını) (3.1.4)	45	1,2	1	54	3
Akaryakıt istasyonu (1.3.6)	60	1,2	1	72	3
		0,8		48	3
Yeraltı akaryakıt tankları (1.3.2)	55	1	1	55	3
Mezarlık (1.6.1)	25	1,2	1	30	2
Otopark (1.4.4)	35	0,85	1	29,75	2



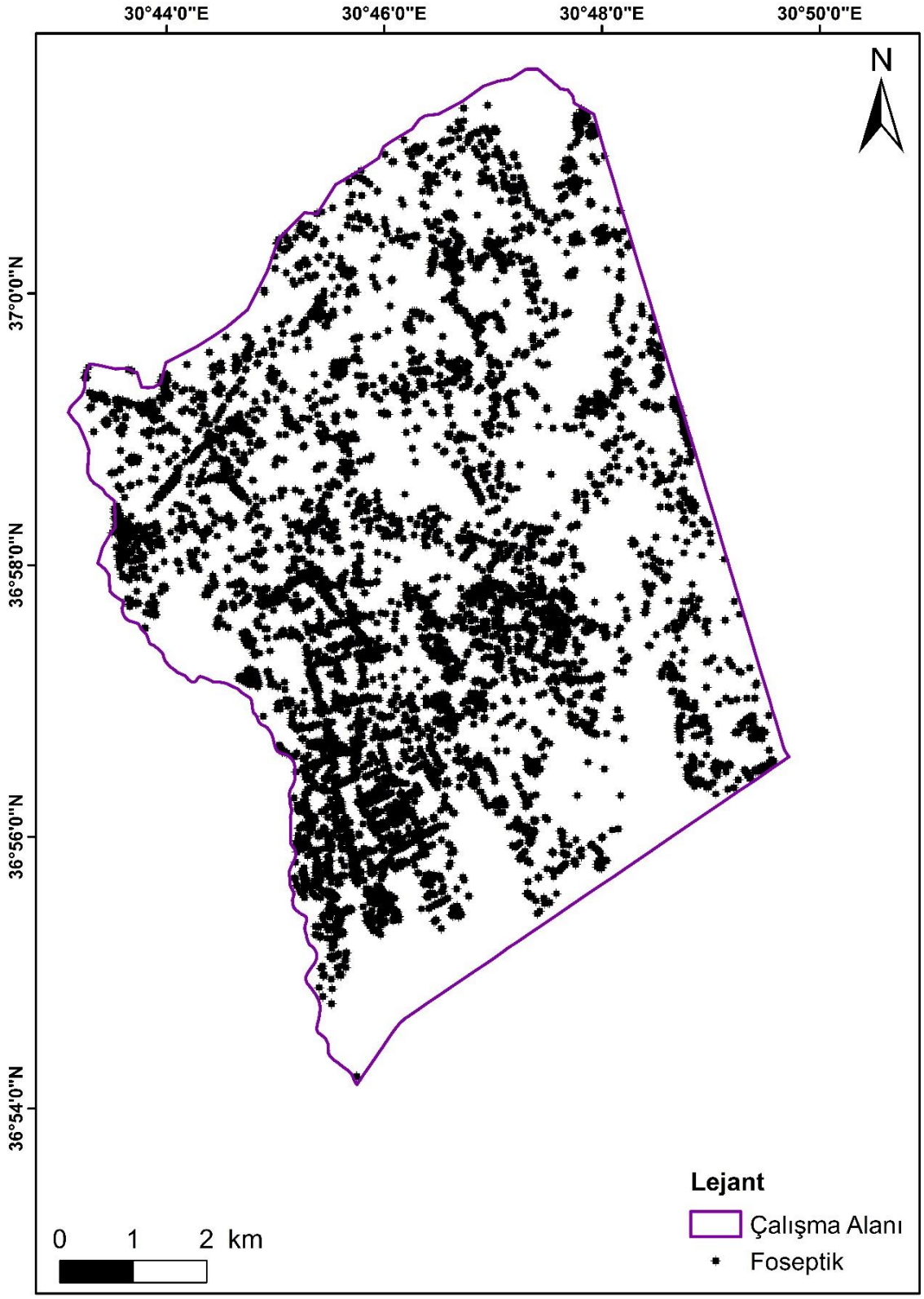
Şekil 4.33. Altınova çalışma bölgesinde yer alan ahırların lokasyonları.



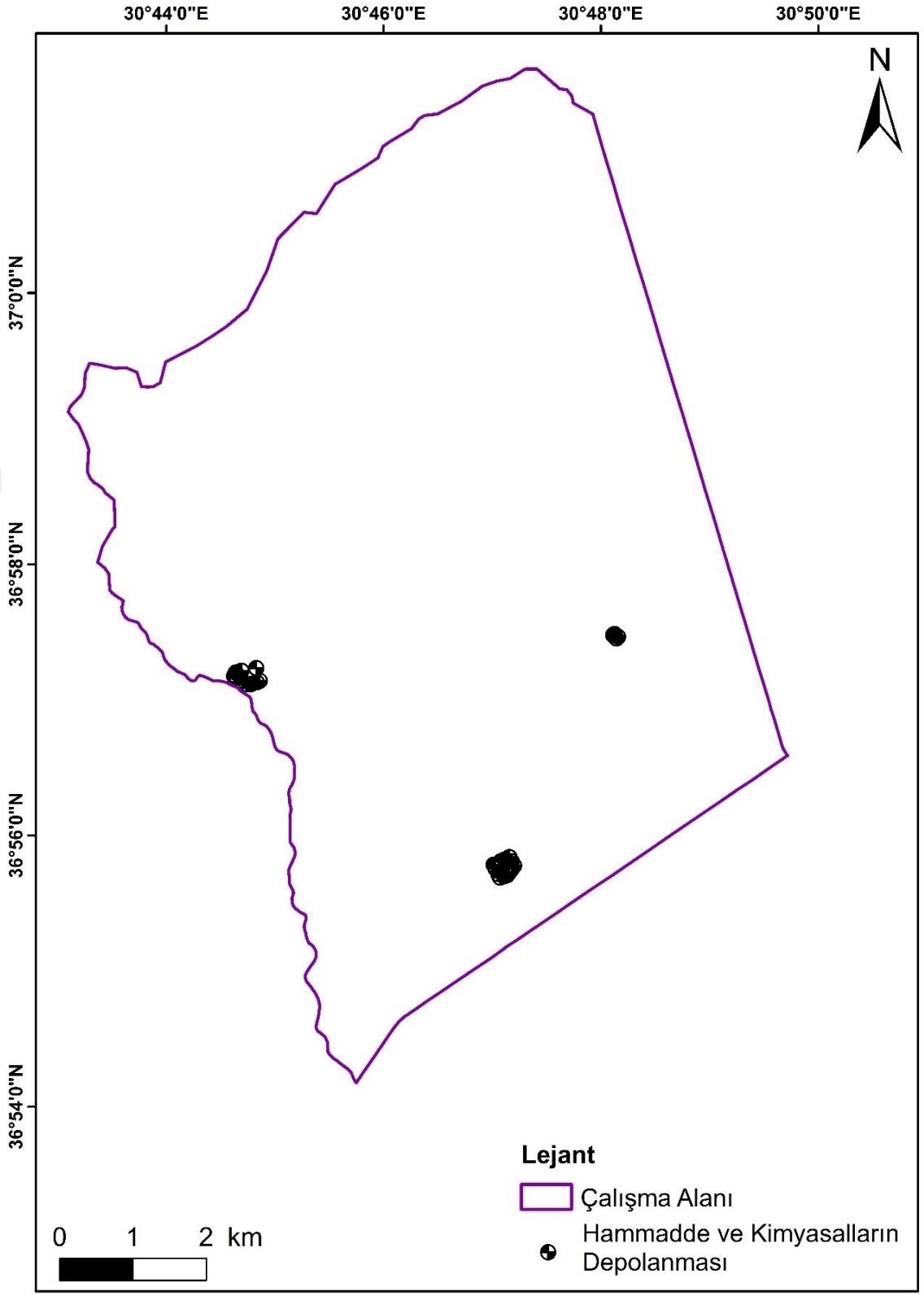
Şekil 4.34. Altınova çalışma bölgesinde yer alan akaryakıt istasyonlarının lokasyonları.



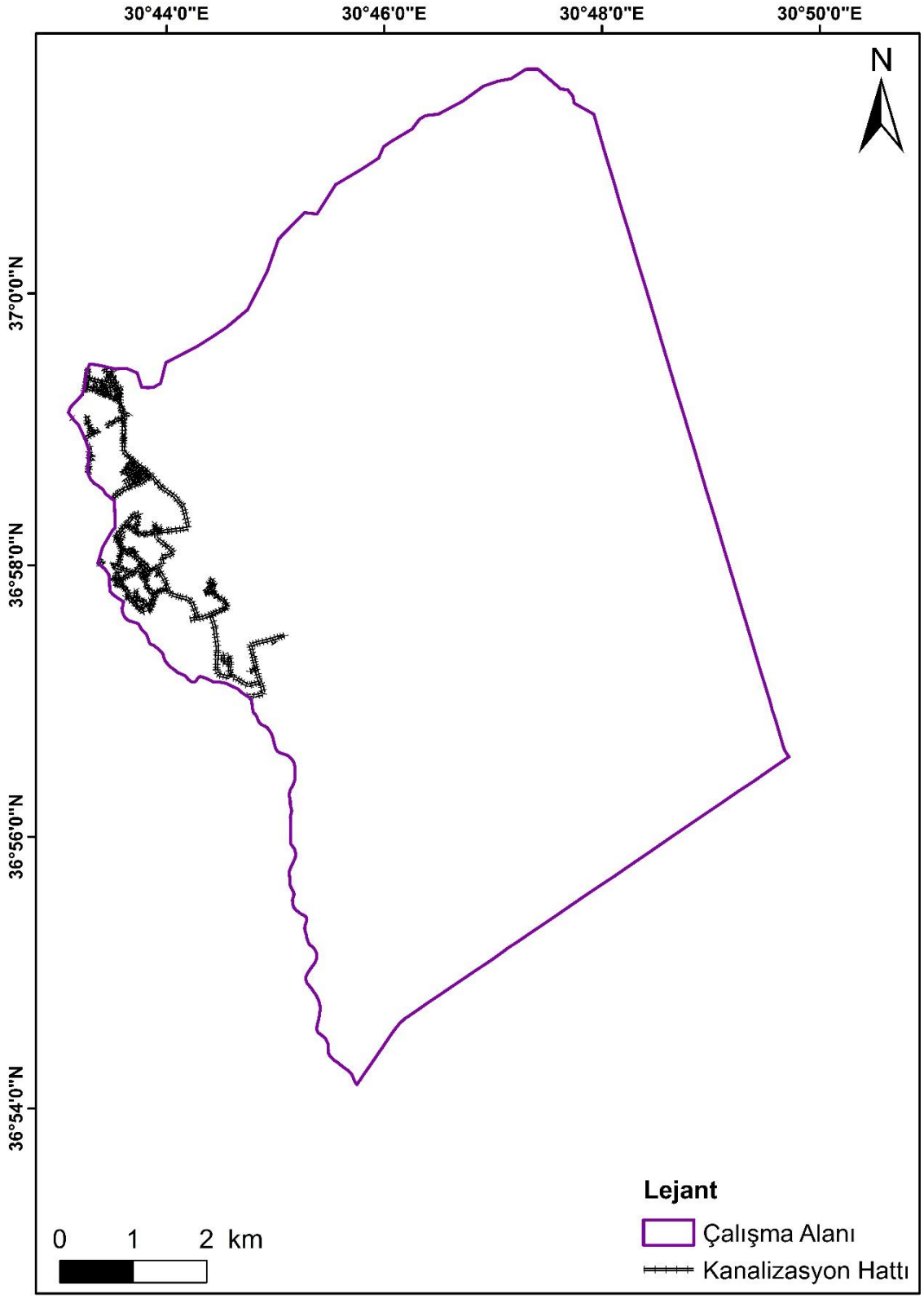
Şekil 4.35. Altınova çalışma bölgesinde yer alan endüstriyel alanların lokasyonları.



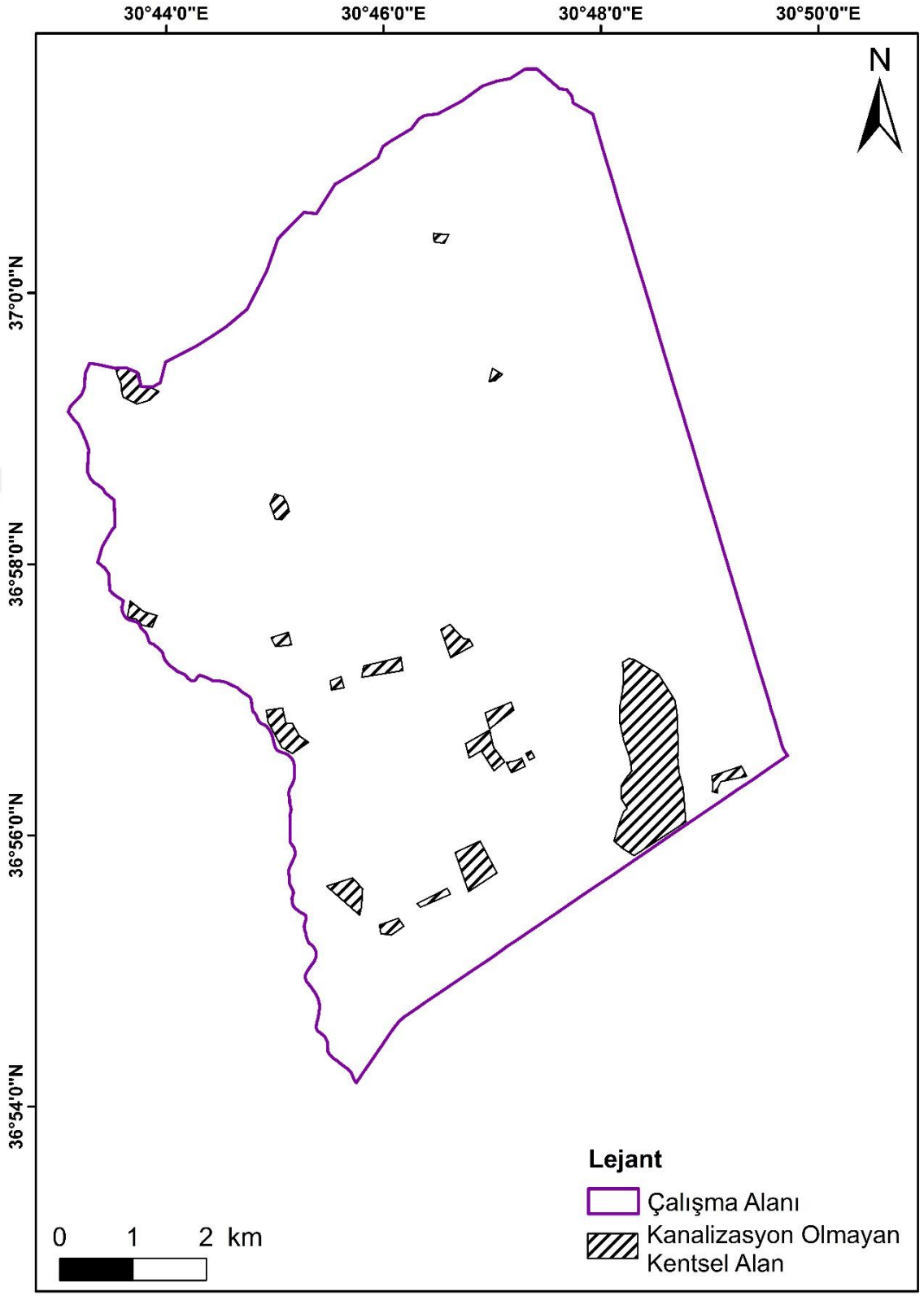
Şekil 4.36. Altınova çalışma bölgesinde yer alan foseptiklerin lokasyonları.



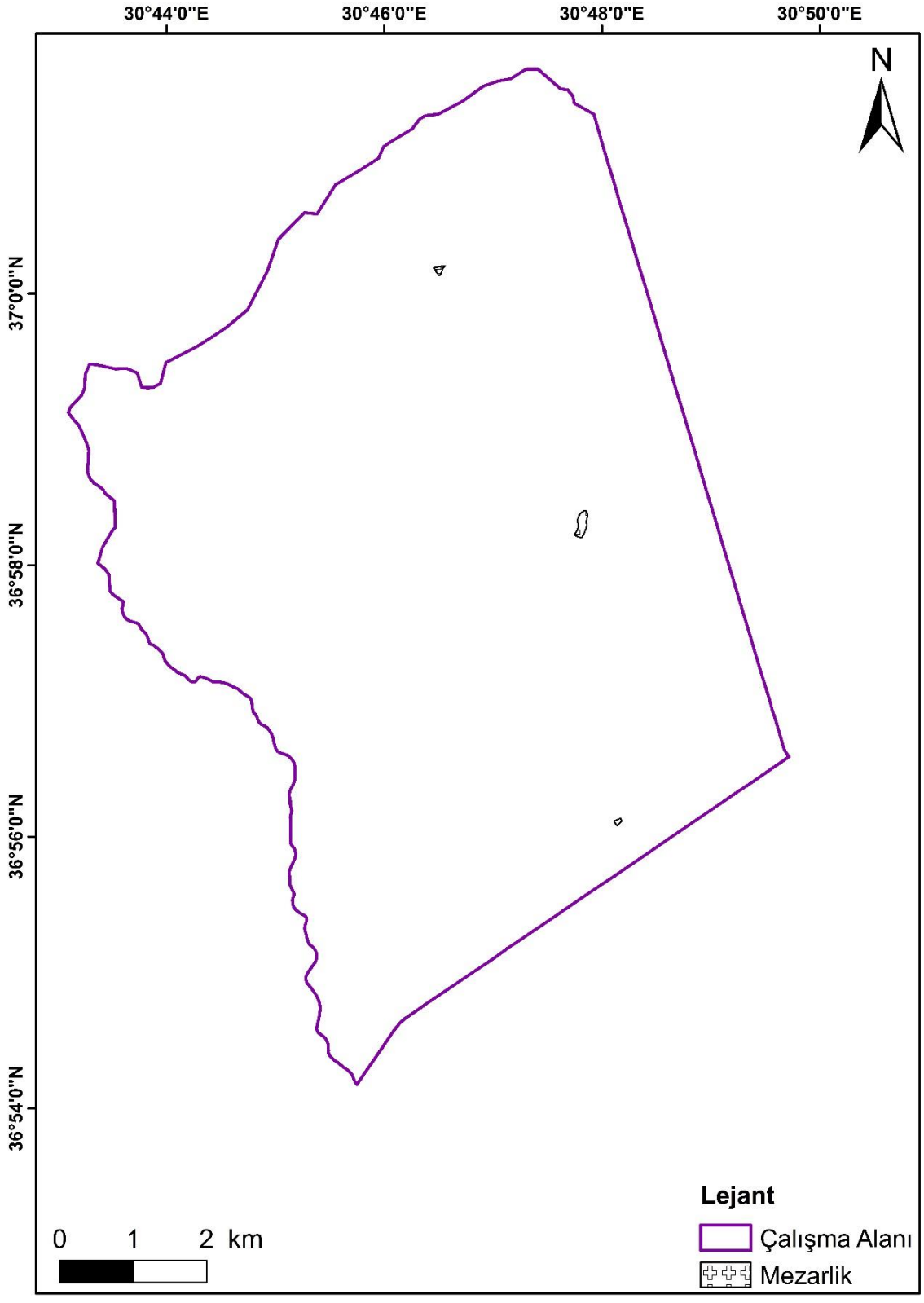
Şekil 4.37. Altınova çalışma bölgesinde yer alan hammadde ve kimyasal depoların lokasyonları.



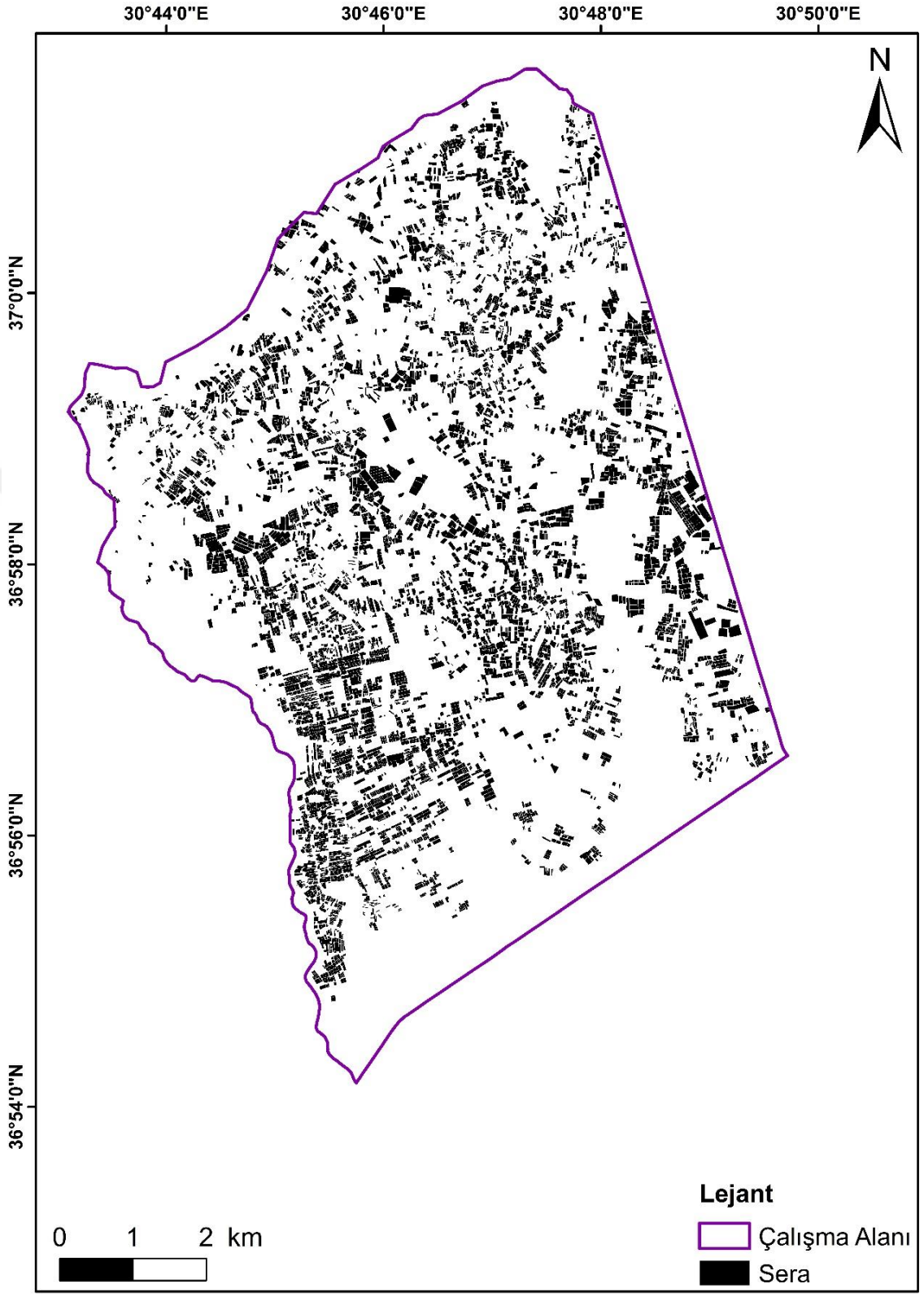
Şekil 4.38. Altınova çalışma bölgesinde yer alan kanalizasyon hattının bulunduğu lokasyonlar.



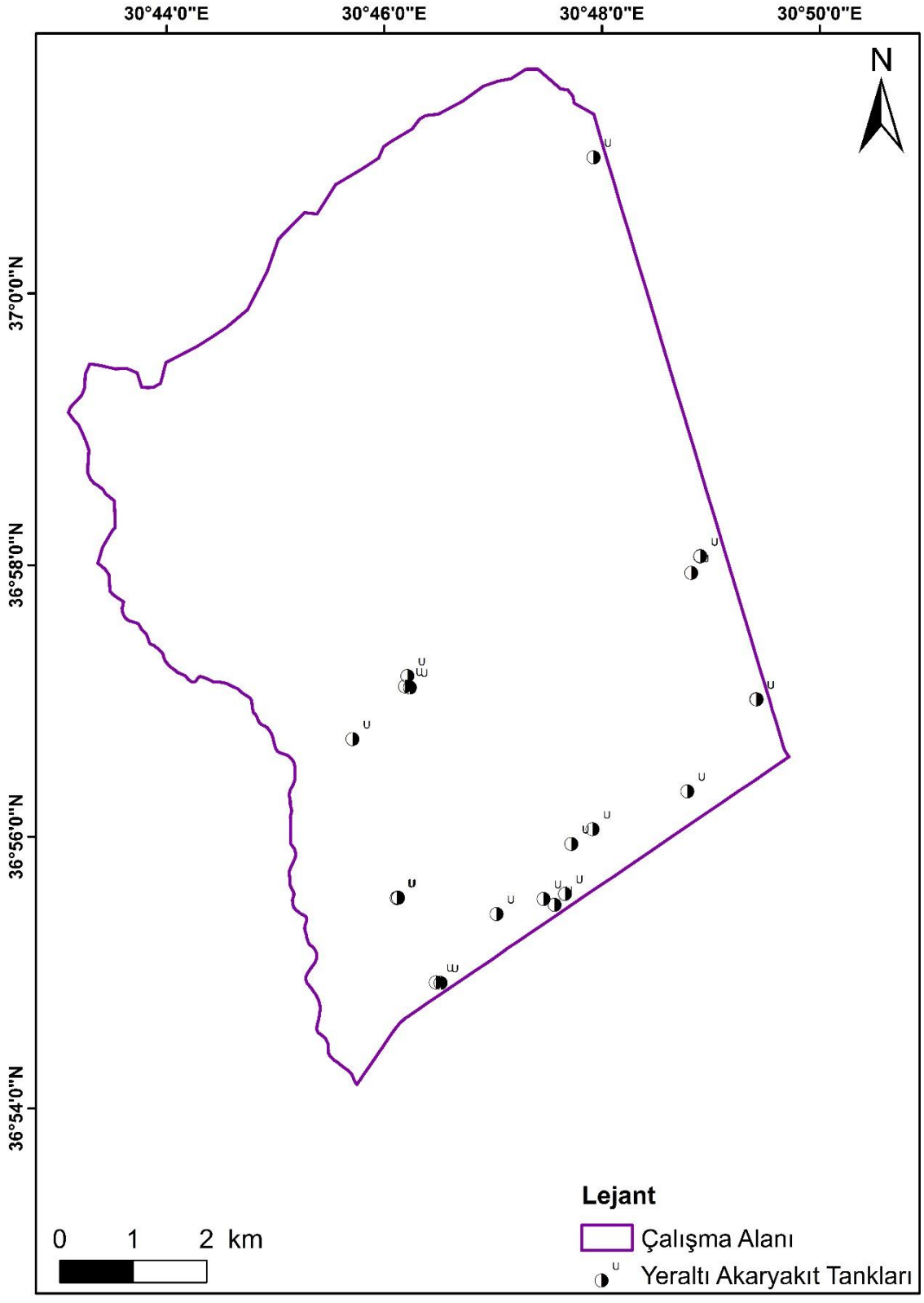
Şekil 4.39. Altınova çalışma bölgesinde yer alan kanalizasyon olmayan kentsel alanların lokasyonları.



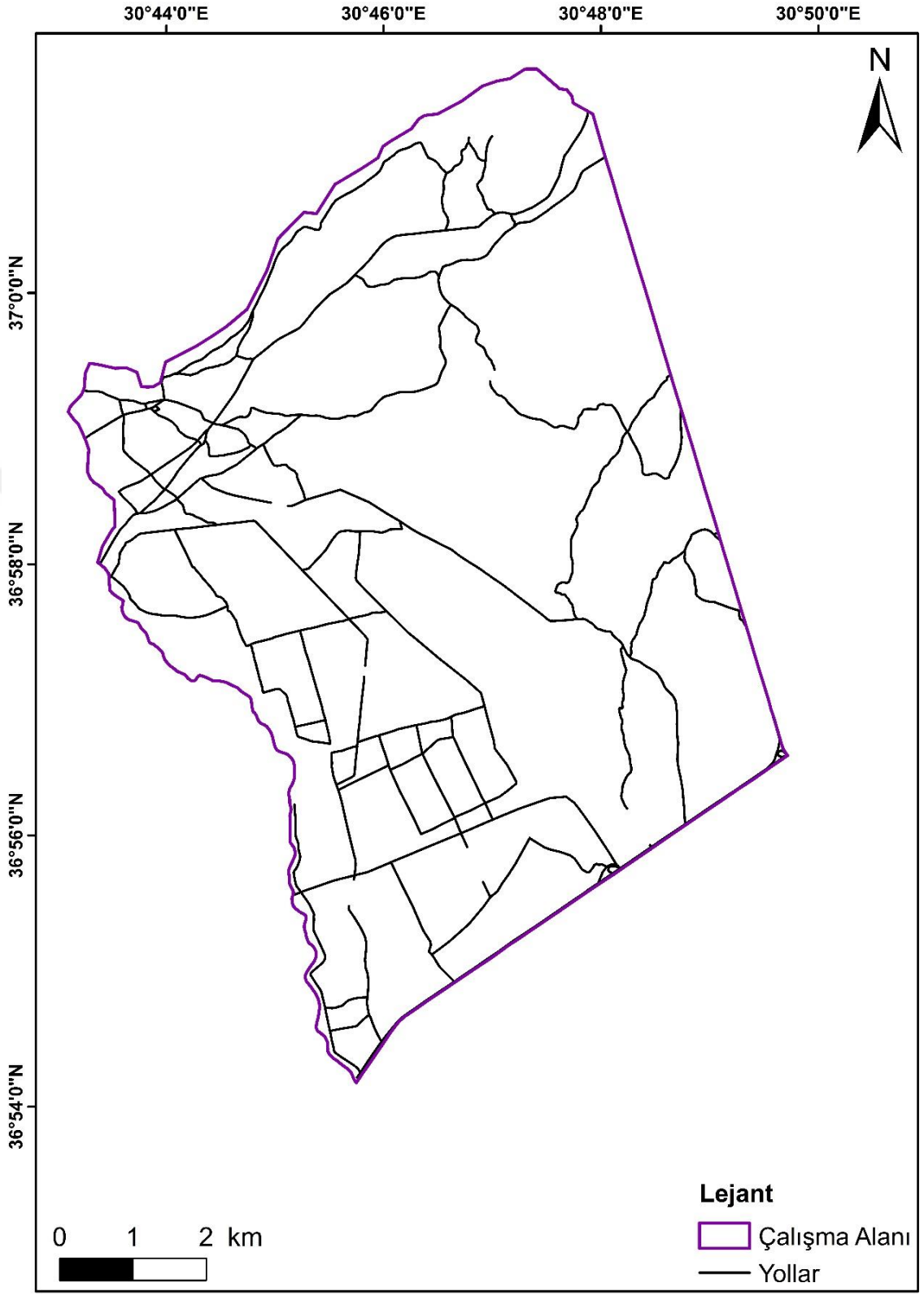
Şekil 4.40. Altınova çalışma bölgesinde yer alan mezarlıkların lokasyonları.



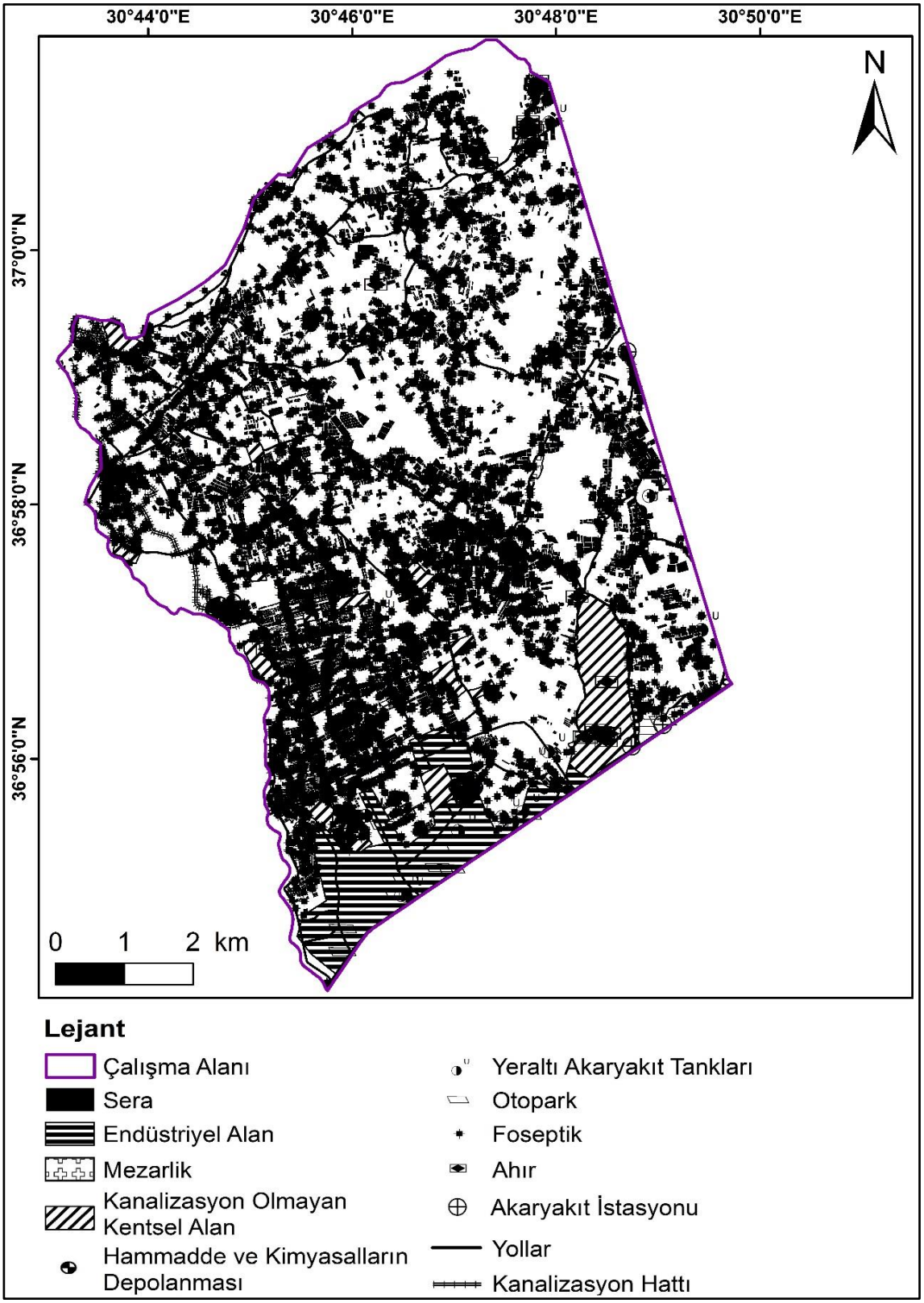
Şekil 4.41. Altınova çalışma bölgesinde yer alan seraların lokasyonları.



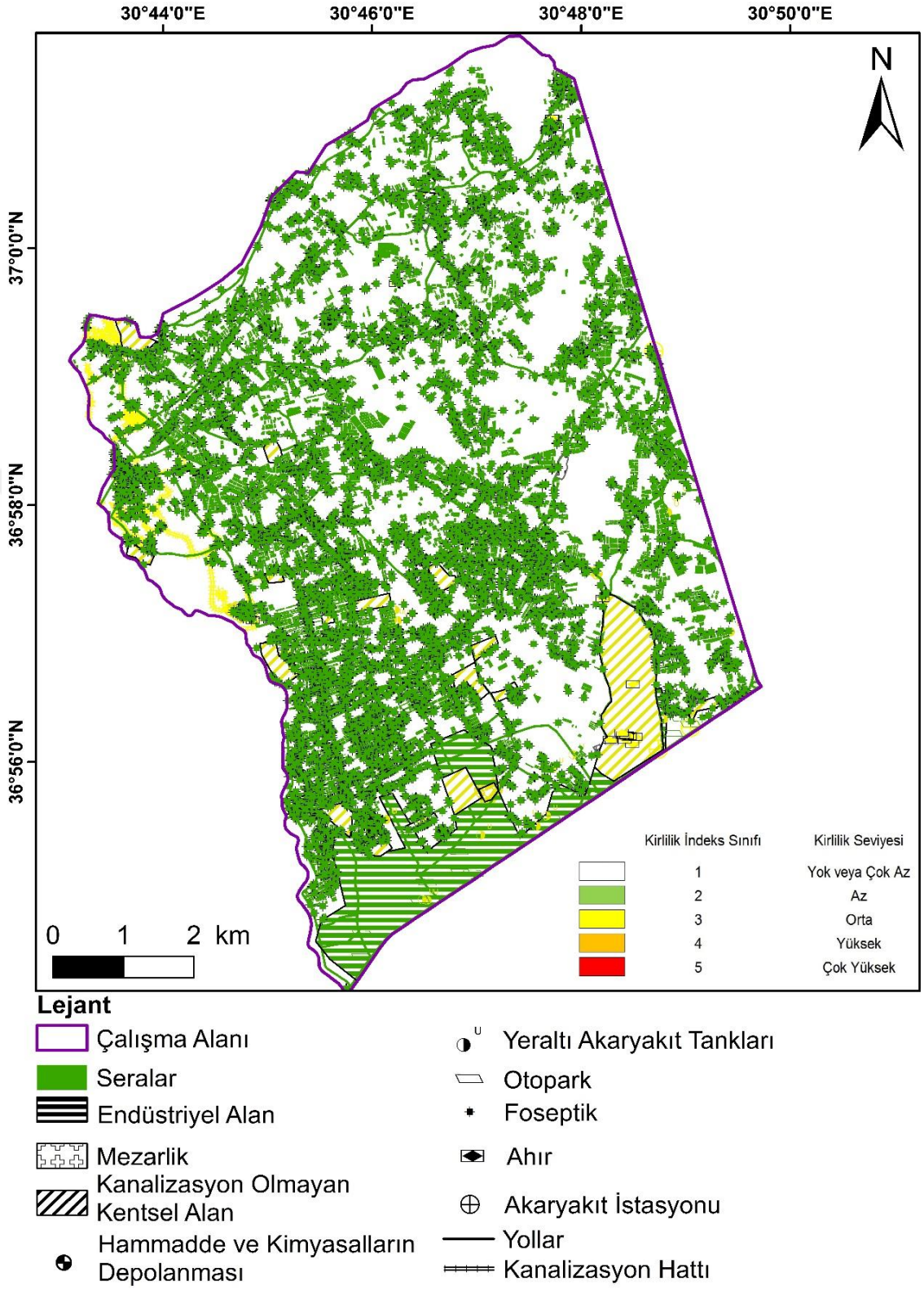
Şekil 4.42. Altınova çalışma bölgesinde yer alan yeraltı akaryakıt tanklarının lokasyonları.



Şekil 4.43. Altınova çalışma bölgesinde yer alan yolların lokasyonları.



Şekil 4.44. Altınova çalışma bölgesi için sınıflandırılmamış kirletici unsur haritası.



Şekil 4.45. Altınova çalışma bölgesi için sınıflandırılmış kirletici unsur haritası.

4.7.1. Tarımsal alanlardaki kirlilik etkisine yönelik senaryolar

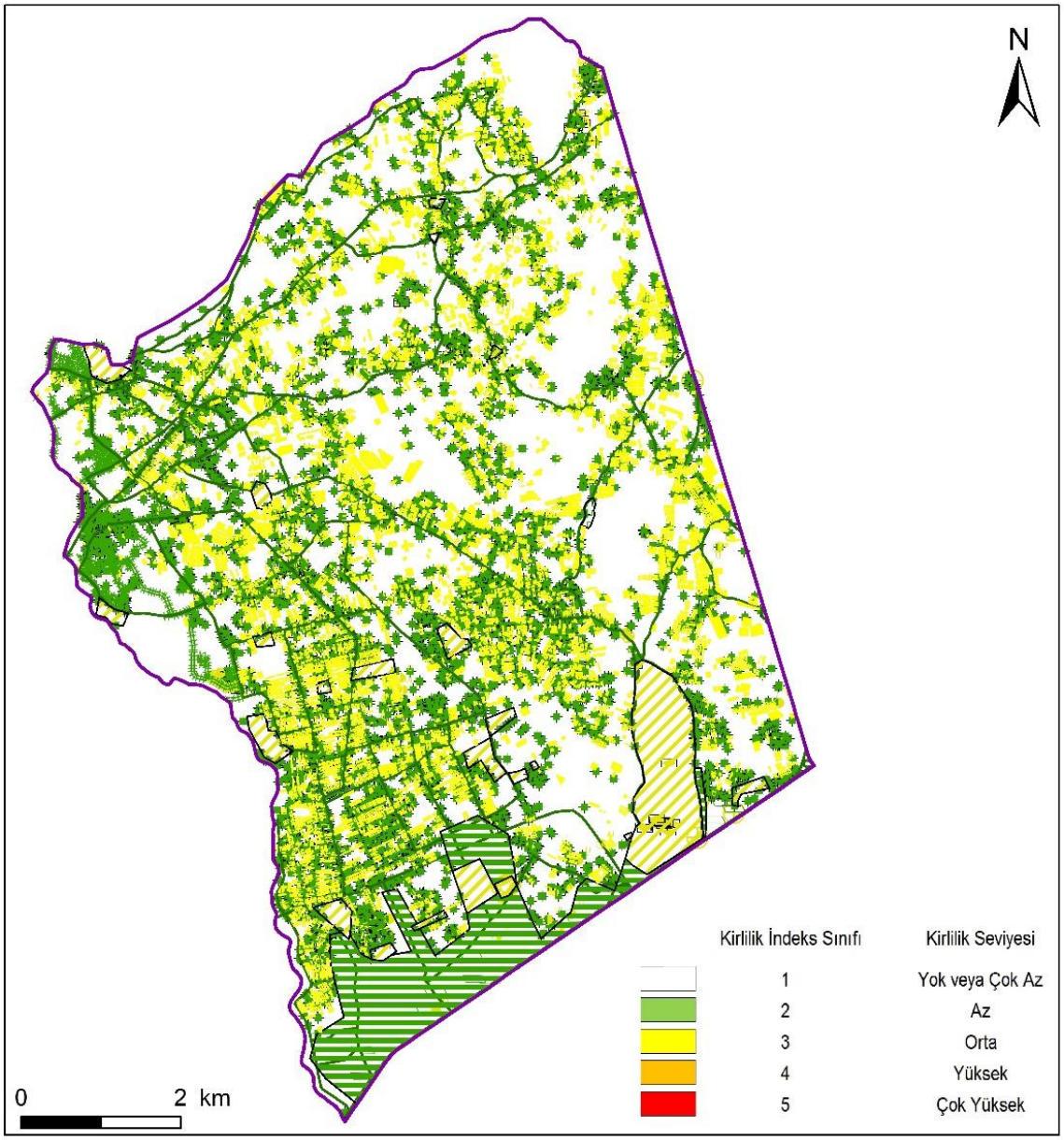
Bu bölümde Altınova bölgesindeki yoğun tarımsal faaliyetlerin etki düzeyleri için iki farklı senaryo koşulu için de kirletici unsur değerlendirmesi yapılmaktadır. Yukarıdaki bölümlerde sunulan kirletici unsur haritalarının hazırlanması için Avrupa Birliği (AB) Su Çerçeve Direktifi ile uyumlu olarak "karstik akiferlerin korunması için hassasiyet ve risk haritalaması" üzerine çalışan COST Action 620 grubu yaklaşımı kullanılmıştır (COST 620 Final Raporu 2003). Bu yaklaşıma göre sera alanları için kirletici unsur Kirletici İndeksi (HI) = 30 (Senaryo-0) olarak tanımlanmıştır. Bilindiği üzere ülkemizde tarımsal faaliyetlerin kontrolünde AB üyesi ülkelerde geliştirilen ve uygulanan gübre kullanımı sınırlandırması vb. uygulamalar henüz uygulamaya konulmamıştır. Buna bağlı olarak özellikle ülkemizdeki sera alanlarında kullanılan gübre miktarları için henüz herhangi bir sınırlandırma yapılmadığı için kontrol mekanizması AB üyesi ülkelerden farklıdır ve bu durumu irdelemek için iki farklı senaryo koşulu için de inceleme yapılmasına karar verilmiştir. İncelenen senaryo koşulları Çizelge 4.5'te sunulmaktadır. Seralardan kaynaklanabilecek olan kirleticinin rölatif miktarını tanımlayan Qn faktörü Senaryo-1 için %50 oranında, Senaryo-2 için %100 oranında artırılmıştır. Buna bağlı olarak seralar için farklı Kirletici İndeksi (HI) değerleri hesaplanmıştır.

Çizelge 4.5. Altınova uygulama sahasında yer alan seralar için farklı kirletici unsur tanımlamalarını içeren senaryolar.

Kirletici	Ağırlık faktörü (H)	Qn	Rf	Kirletici indeksi (HI)	Kirletici indeks sınıfı
Seralar (Senaryo-0)	30	1	1	30	2
COST Action 620 çalışması					
Seralar (Senaryo-1) Qn faktörü %50 düzeyinde artırılmıştır	30	1,5	1	45	2
Seralar (Senaryo-2) Qn faktörü %100 düzeyinde artırılmıştır	30	2	1	60	3

Çizelge 4.5'te tanımlanan senaryolarda sera alanları için iki farklı Kirletici İndeksi (HI) değeri elde edilmiştir. Sera alanları için Senaryo-1 koşuluna göre Kirletici İndeksi (HI) = 45, Senaryo-2 koşulu için Kirletici İndeksi (HI)= 60 değeri baz alınarak kirletici unsur haritaları oluşturulmuştur. COST Action 620 çalışması ve Senaryo-1 için Qn faktörü farklı olmasına rağmen kirletici indeks sınıfı = 2 ve kirlilik seviyesi = az olarak elde edilmiştir. Bu durumda Şekil 4.45'te sunulan kirletici unsur haritası Senaryo-1 için

de geçerlidir. Senaryo-2 için elde edilen kirletici unsur haritası ise Şekil 4.46'da sunulmaktadır.



Şekil 4.46. Altınova çalışma bölgesi için seralardan kaynaklı kirlilik etkisinin 2 kat artırılması durumunda elde edilen sınıflandırılmış kirletici unsur haritası (Senaryo-2).

4.8. Risk Analizi

Çalışma alanı için hassasiyet ve risk haritaları elde edildikten sonra DRASTIC, SINTACS, PI ve COP hassasiyet haritaları ile kirletici haritaları çakıştırılarak her metot için risk haritaları oluşturulmuştur.

4.8.1. PI metodu ile risk haritasının elde edilmesi

PI hassasiyet yöntemi ile çalışma alanı için oluşturulan PI hassasiyet haritası ve alanda belirlenen kirletici haritaları Eşitlik 3.15'teki formül kullanılarak ArcGIS programında üst üste bindirilmiş ve çalışma alanı için YAS risk haritası oluşturulmuştur (Şekil 4.47).

4.8.2. COP metodu ile risk haritasının elde edilmesi

COP hassasiyet yöntemi ile çalışma alanı için oluşturulan COP hassasiyet haritası ve alanda belirlenen kirletici haritaları Eşitlik 3.16'daki formül kullanılarak ArcGIS programında üst üste bindirilmiş ve çalışma alanı için YAS risk haritası oluşturulmuştur (Şekil 4.48).

4.8.3. DRASTIC metodu ile risk haritasının elde edilmesi

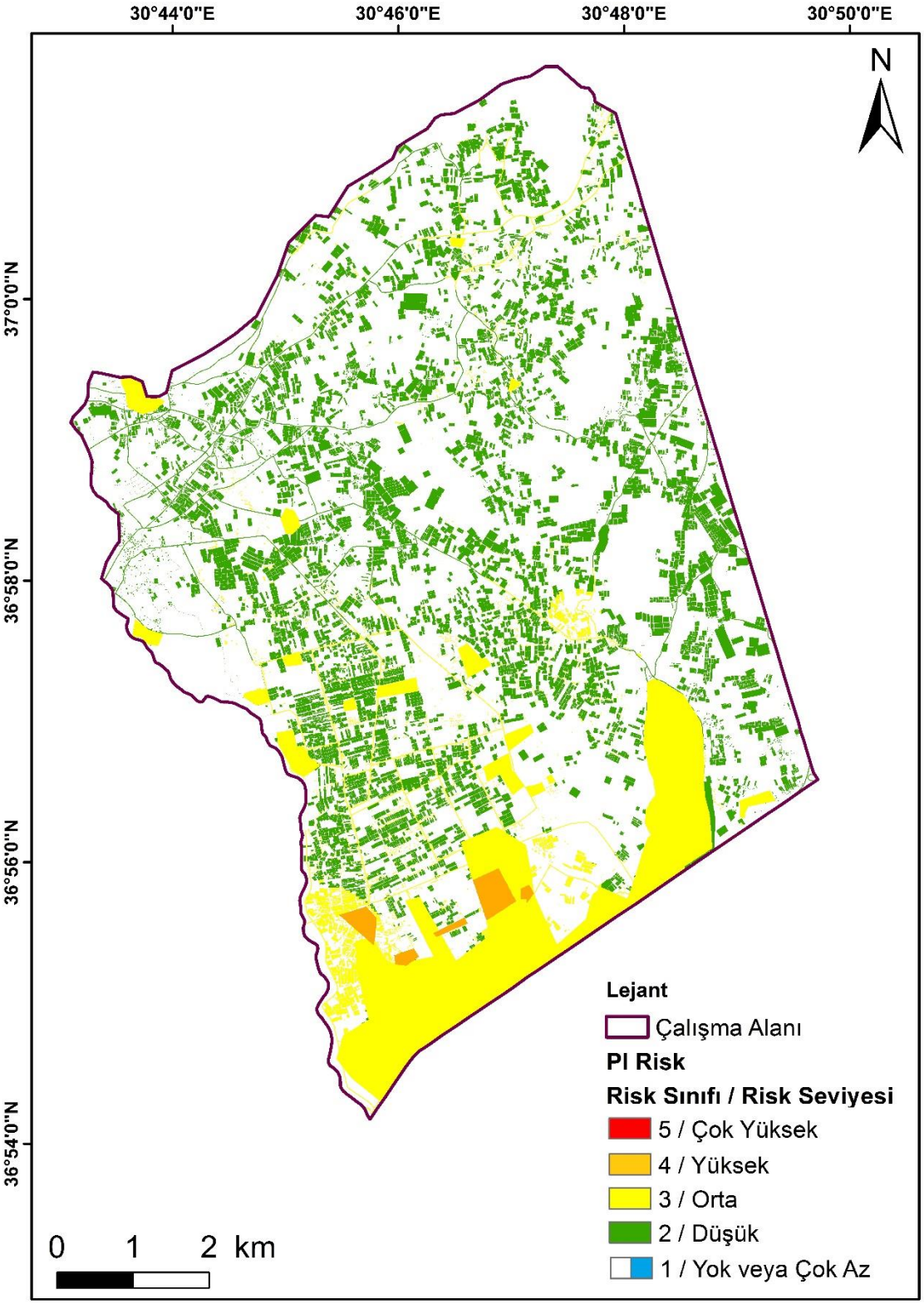
DRASTIC hassasiyet yöntemi ile çalışma alanı için oluşturulan DRASTIC hassasiyet haritası ve alanda belirlenen kirletici haritaları Eşitlik 3.17'deki formül kullanılarak ArcGIS programında üst üste bindirilmiş ve çalışma alanı için YAS risk haritası oluşturulmuştur (Şekil 4.49).

4.8.4. DRASTIC-Pestisit metodu ile risk haritasının elde edilmesi

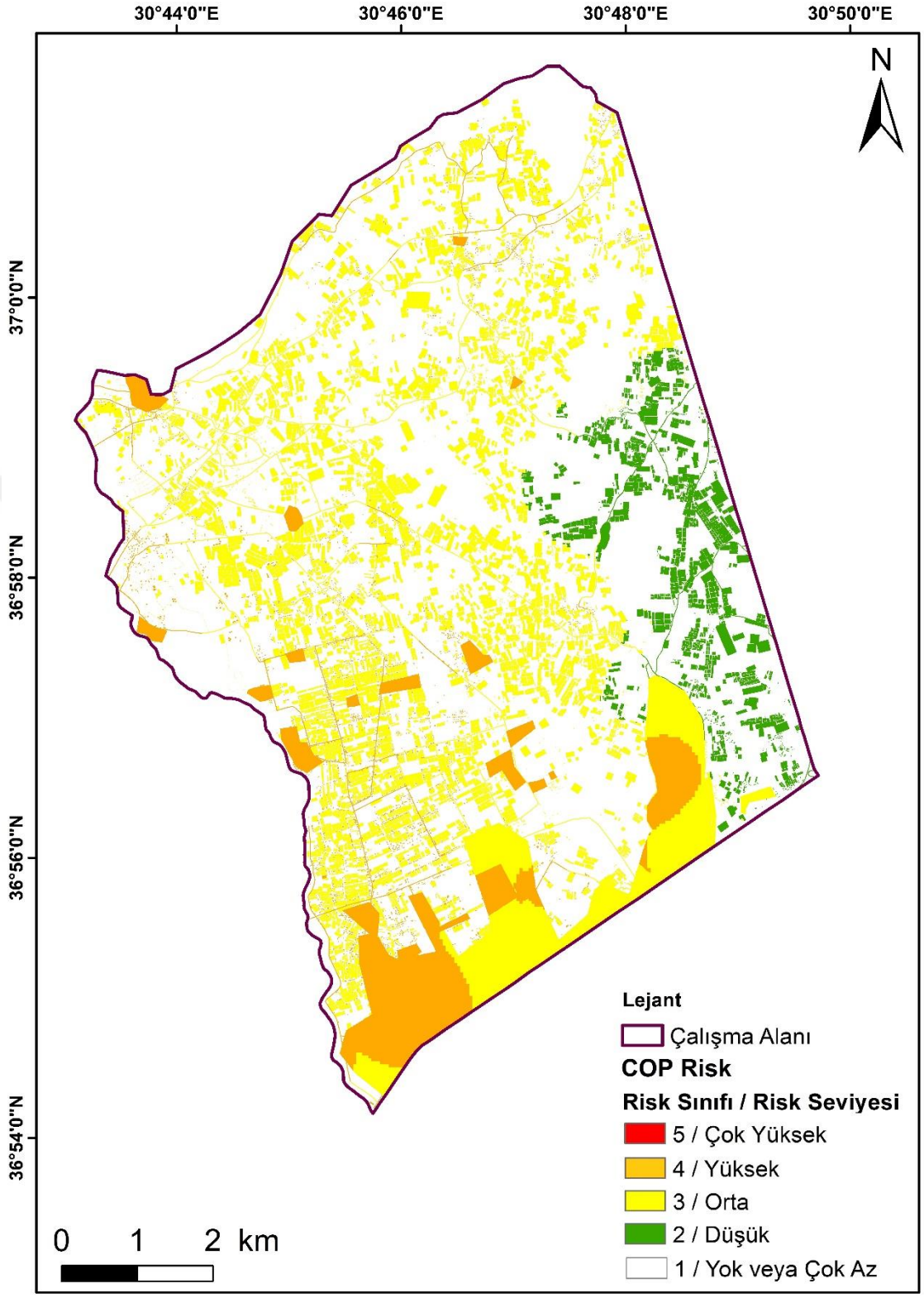
DRASTIC-Pestisit hassasiyet yöntemi ile çalışma alanı için oluşturulan DRASTIC-Pestisit hassasiyet haritası ve alanda belirlenen kirletici haritaları Eşitlik 3.18'deki formül kullanılarak ArcGIS üst üste bindirilmiş ve çalışma alanı için YAS risk haritası oluşturulmuştur (Şekil 4.50).

4.8.5. SINTACS metodu ile risk haritasının elde edilmesi

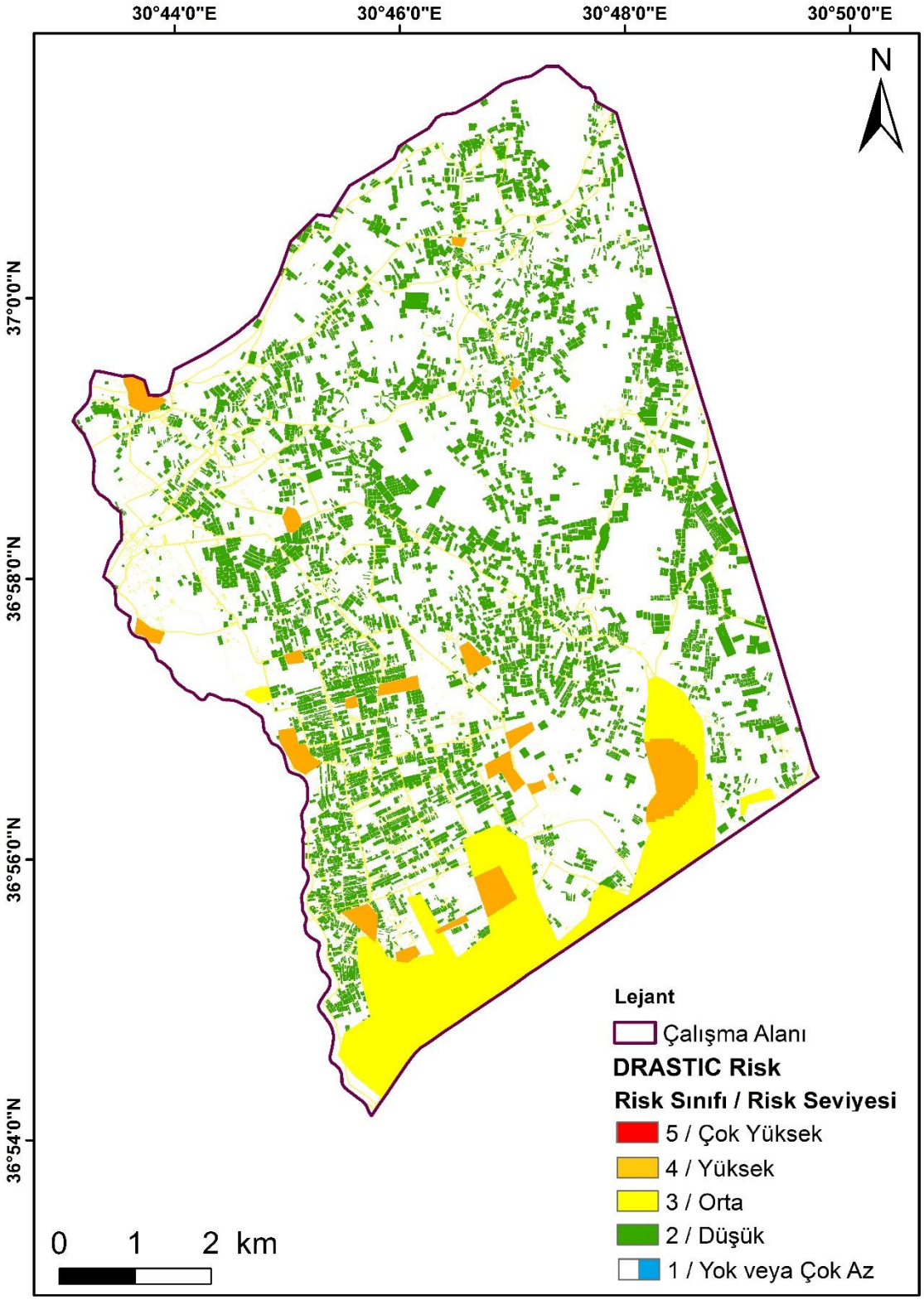
SINTACS hassasiyet yöntemi ile çalışma alanı için oluşturulan iki adet senaryo ve SINTACS hassasiyet haritaları ile alanda belirlenen kirletici haritası Eşitlik 3.19'daki formül kullanılarak ArcGIS programında üst üste bindirilmiş ve çalışma alanı için YAS risk haritaları oluşturulmuştur (Şekil 4.51 ve Şekil 4.52).



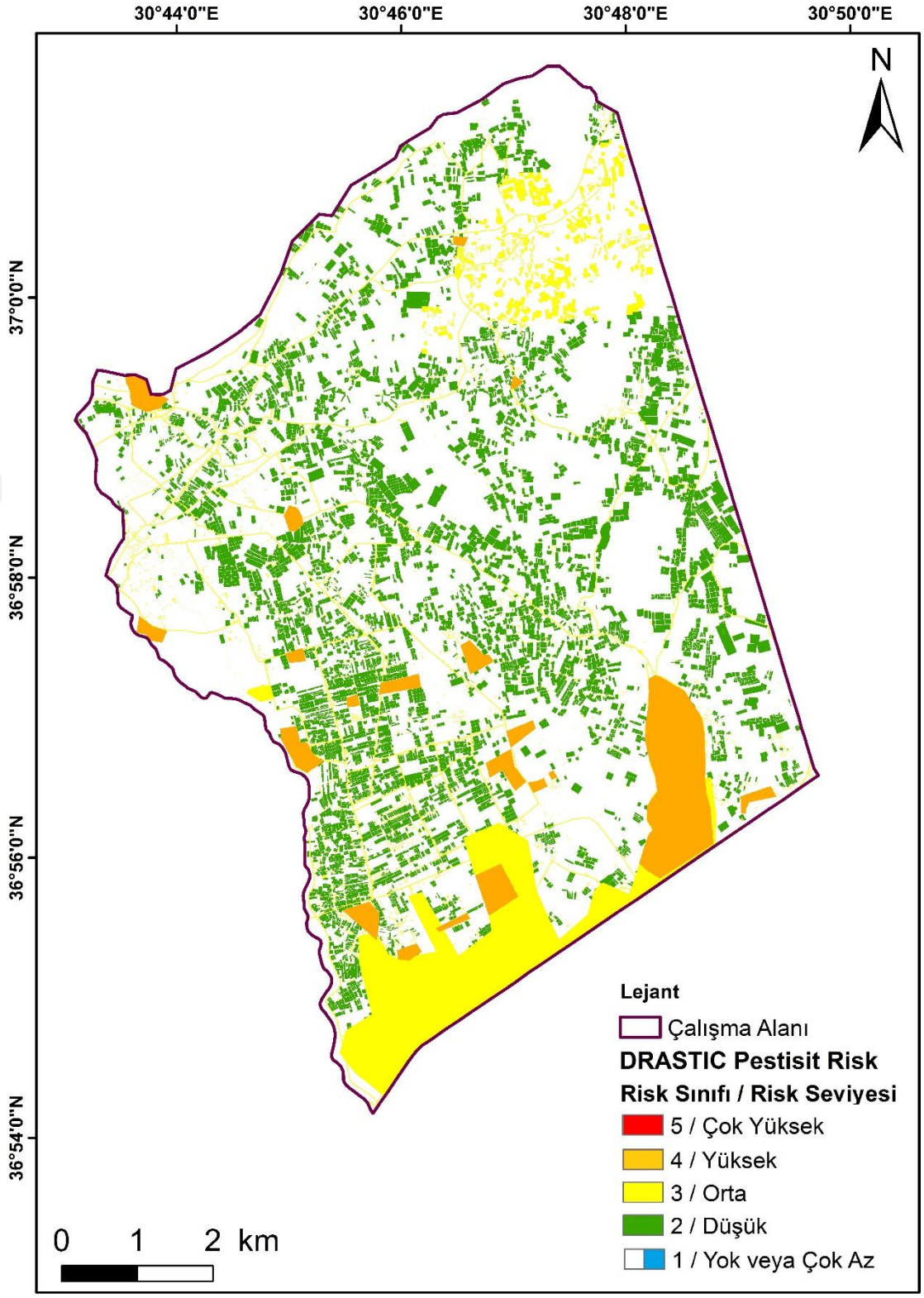
Şekil 4.47. Altınova çalışma bölgesi için PI kirlilik hassasiyeti metodu ile elde edilen YAS kirlilik riski haritası.



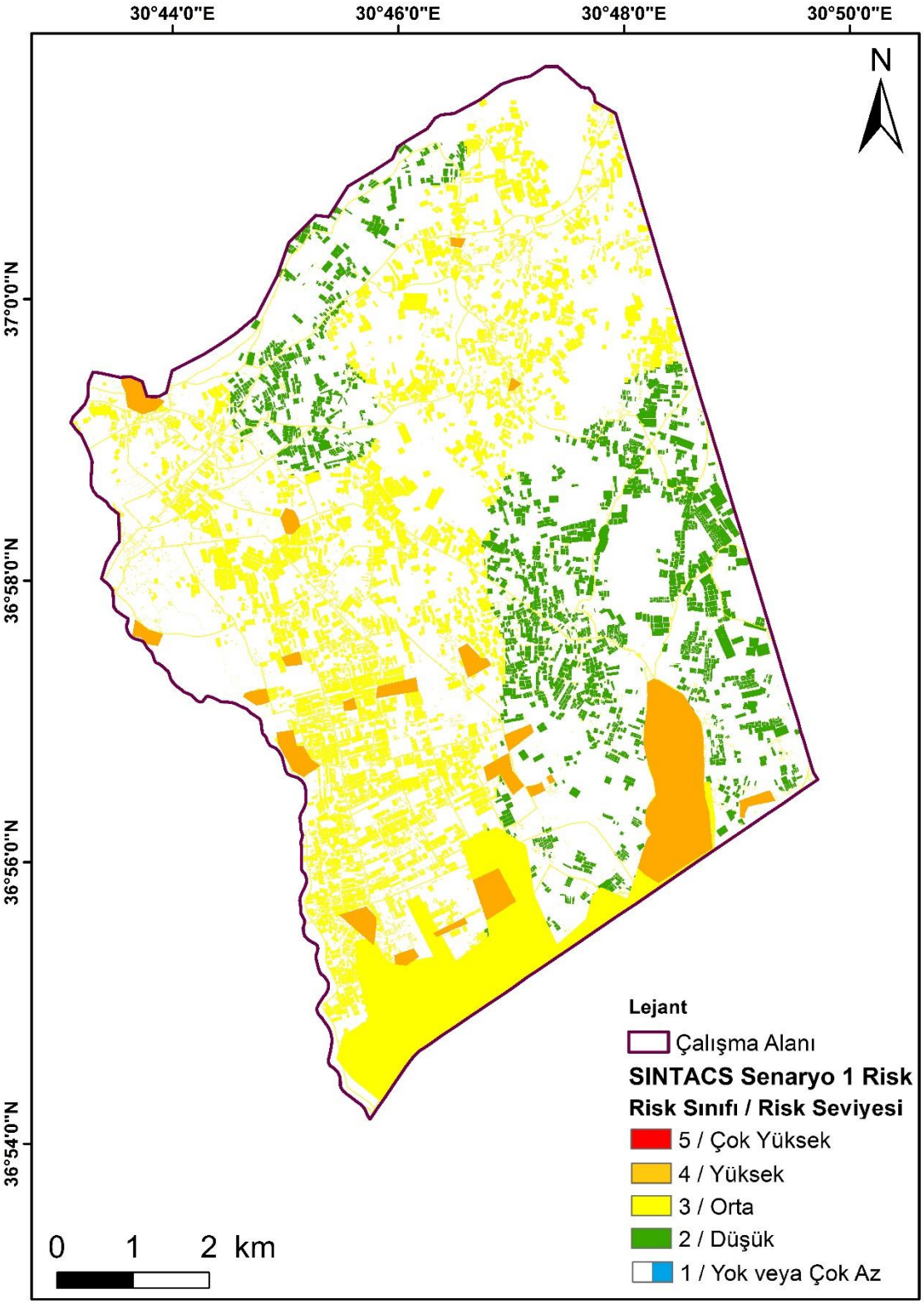
Şekil 4.48. Altınova çalışma bölgesi için COP kirlilik hassasiyeti metodu ile elde edilen YAS kirlilik riski haritası.



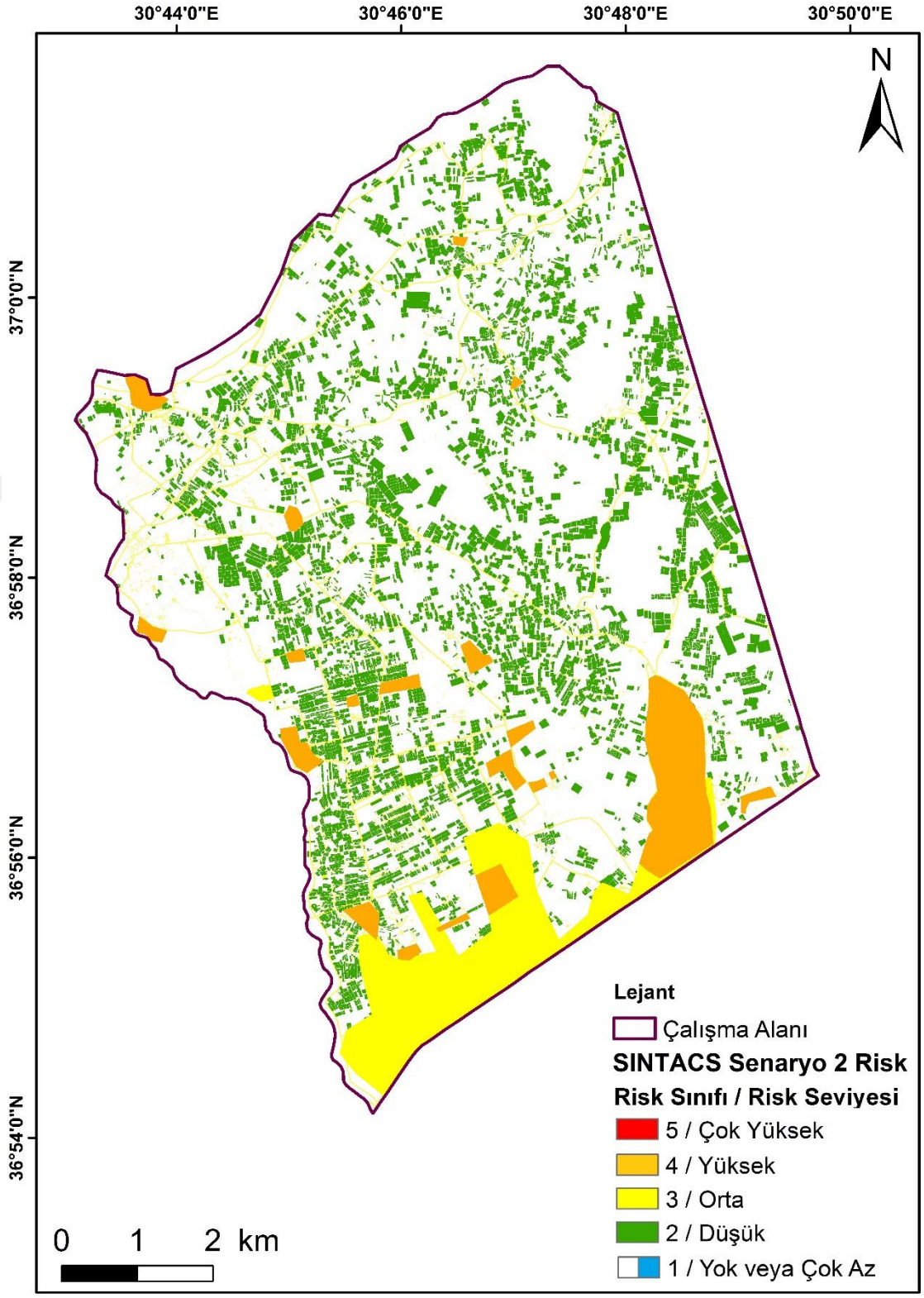
Şekil 4.49. Altınova çalışma bölgesi için DRASTIC-Genel kirlilik hassasiyeti metodu ile elde edilen YAS kirlilik riski haritası.



Şekil 4.50. Altınova çalışma bölgesi için DRASTIC-Pestisit kirlilik hassasiyeti metodu ile elde edilen YAS kirlilik riski haritası.

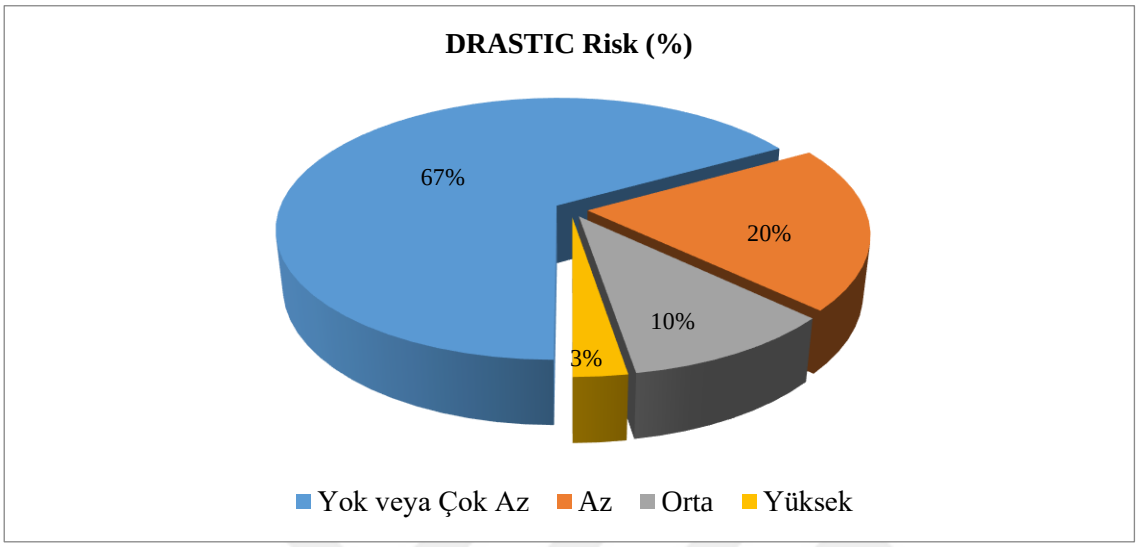


Şekil 4.51. Altınova çalışma bölgesi için SINTACS (Senaryo-1) kirlilik hassasiyeti metodu ile elde edilen YAS kirlilik riski haritası.

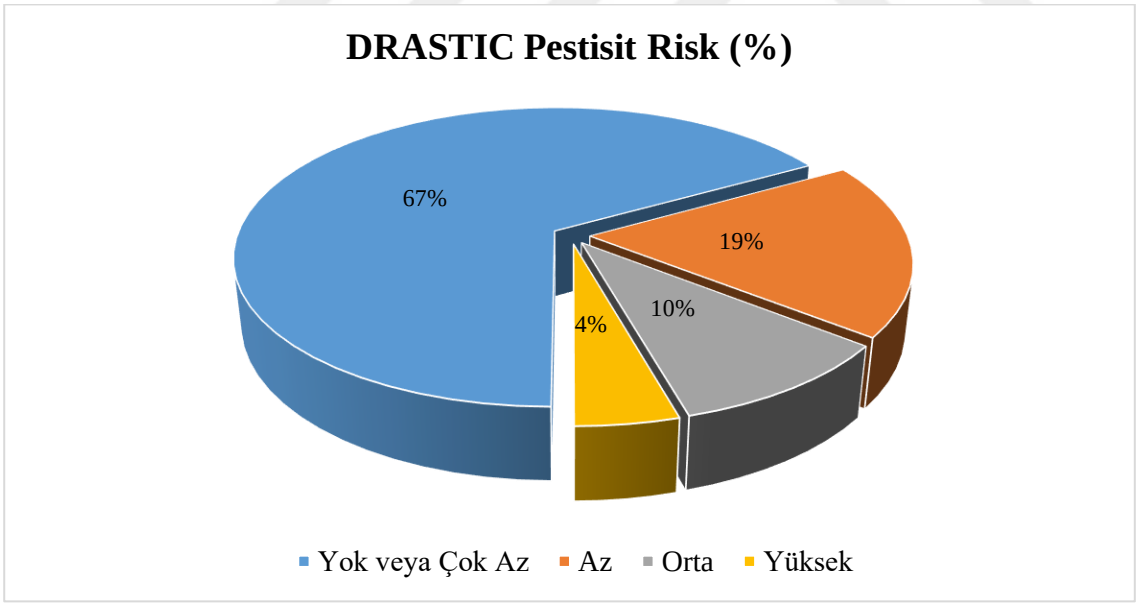


Şekil 4.52. Altınova çalışma bölgesi için SINTACS (Senaryo 2) kirlilik hassasiyeti metodu ile elde edilen YAS kirlilik riski haritası.

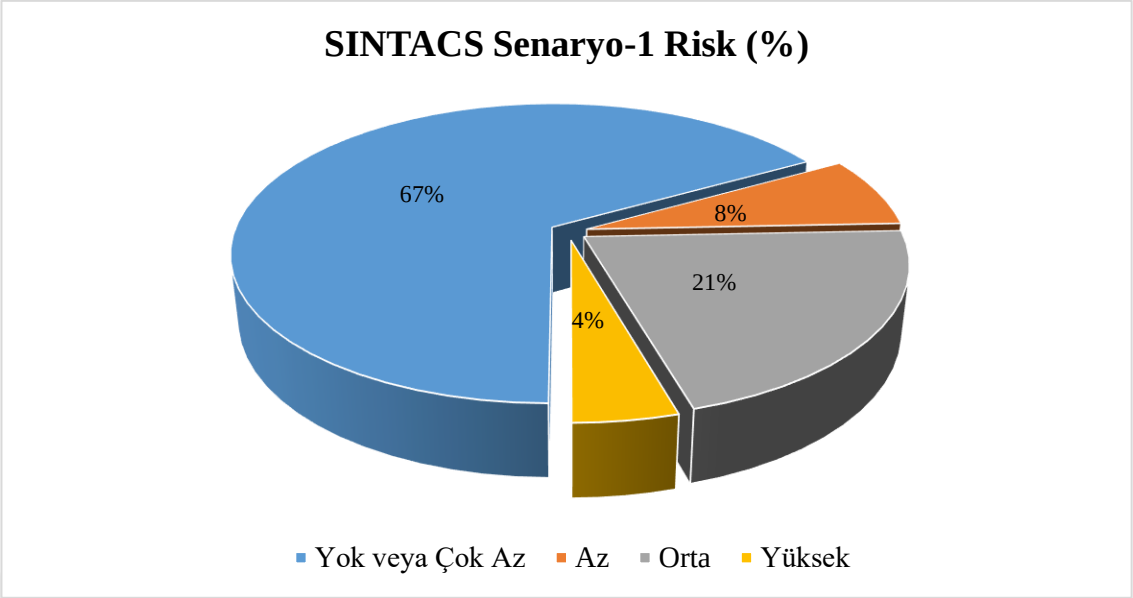
Oluşturulan YAS kirlilik riski haritaları için farklı metotlardan elde edilen değişik risk sınıflarının yüzde dağılımları da analiz edilmiştir. Bu kapsamda her metot ile uygulama sahası için elde edilen farklı risk sınıflarının yüzde miktarları hesaplanmış ve Şekil 4.53- Şekil 4.58'de sunulmuştur.



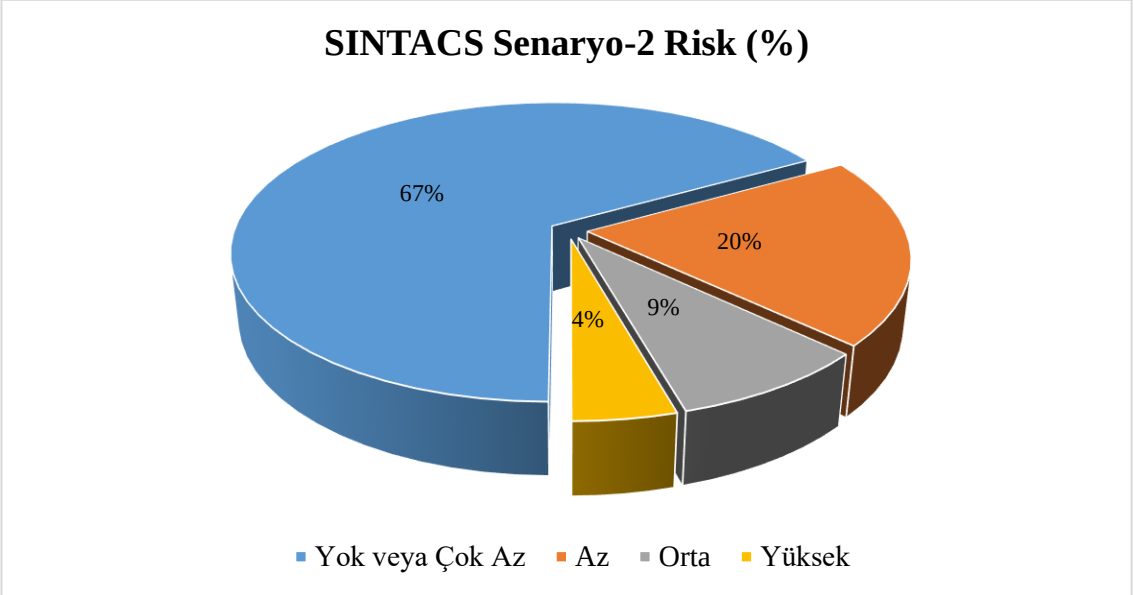
Şekil 4.53. DRASTIC metodu ile elde edilen risk sınıfları yüzdeleri.



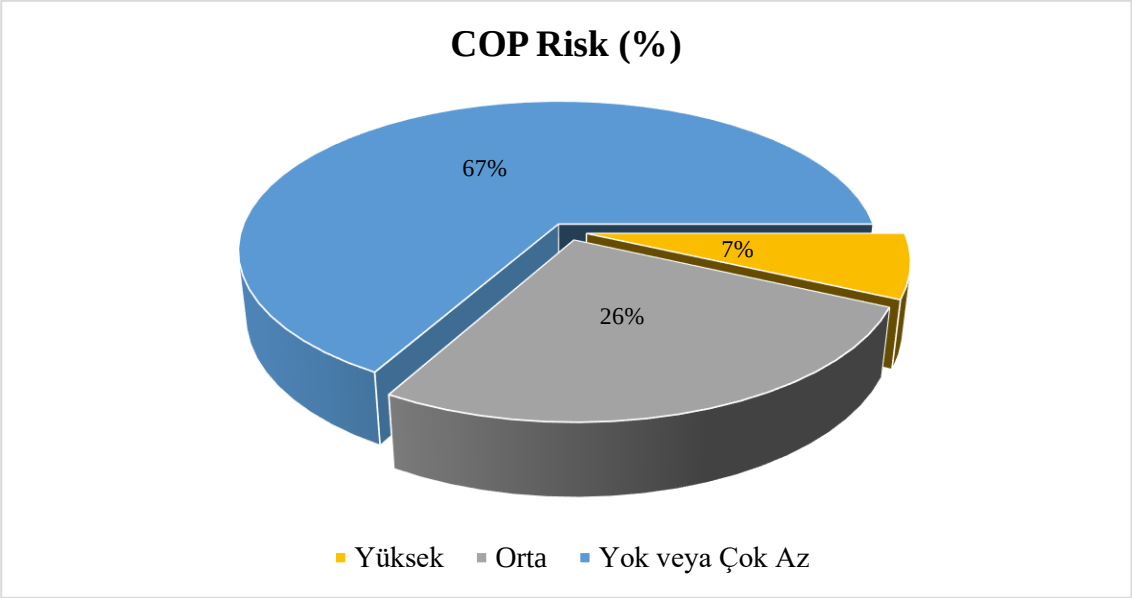
Şekil 4.54. DRASTIC Pestisit metodu ile elde edilen risk sınıfları yüzdeleri.



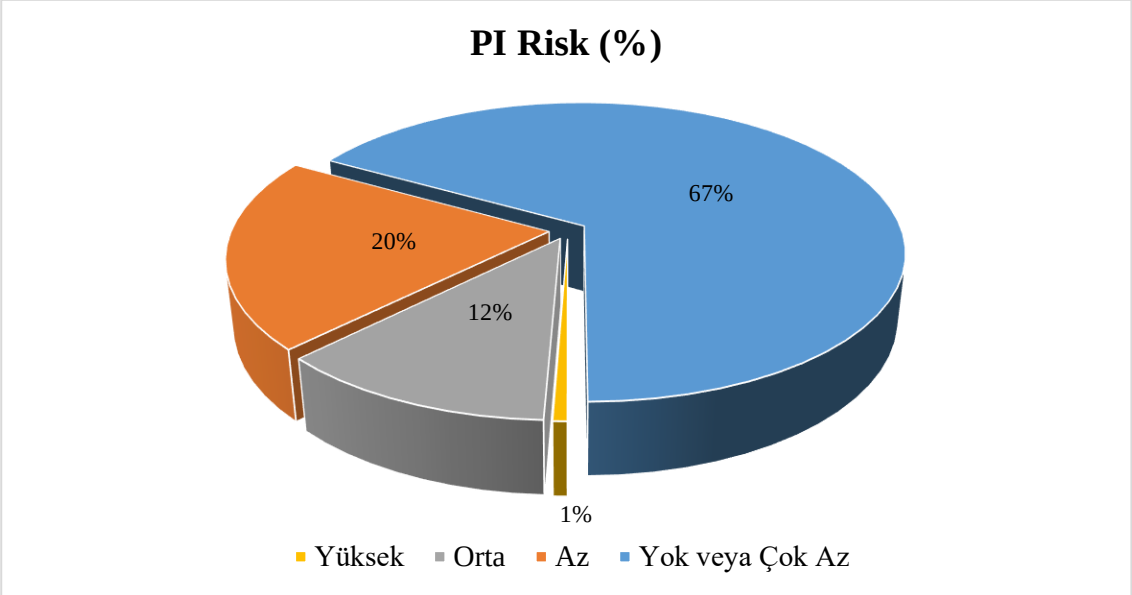
Şekil 4.55. SINTACS Senaryo-1 metodu ile elde edilen risk sınıfları yüzdeleri.



Şekil 4.56. SINTACS Senaryo-2 metodu ile elde edilen risk sınıfları yüzdeleri.



Şekil 4.57. COP metodu ile elde edilen risk sınıfları yüzdeleri.



Şekil 4.58. PI metodu ile elde edilen risk sınıfları yüzdeleri

4.8.6. Tarımsal alanlardaki kirlilik etkisine yönelik senaryolar

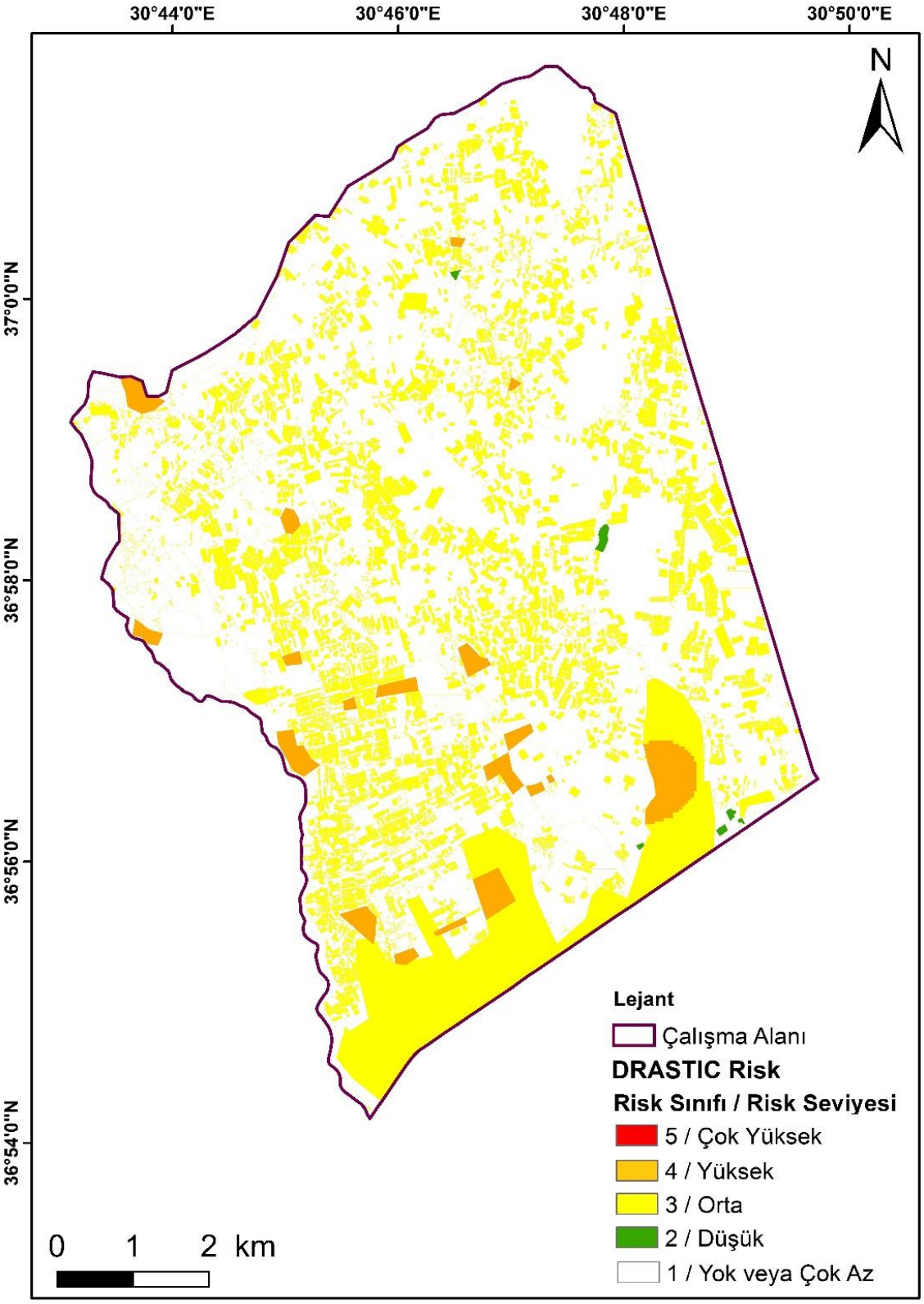
Bu bölümde Altınova bölgesindeki yoğun tarımsal faaliyetlerin etki düzeyleri için iki farklı senaryo koşulu için de sonuçlar sunulmuştur. Tüm senaryo koşulları Çizelge 4.5'te sunulmaktadır. Seralardan kaynaklanabilecek olan kirleticinin rölatif miktarını tanımlayan Qn faktörü Senaryo-1 için %50 oranında, Senaryo-2 için %100 oranında

artırılmıştır. Buna bağlı olarak seralar için farklı Kirletici İndeksi (HI) değerleri hesaplanmıştır.

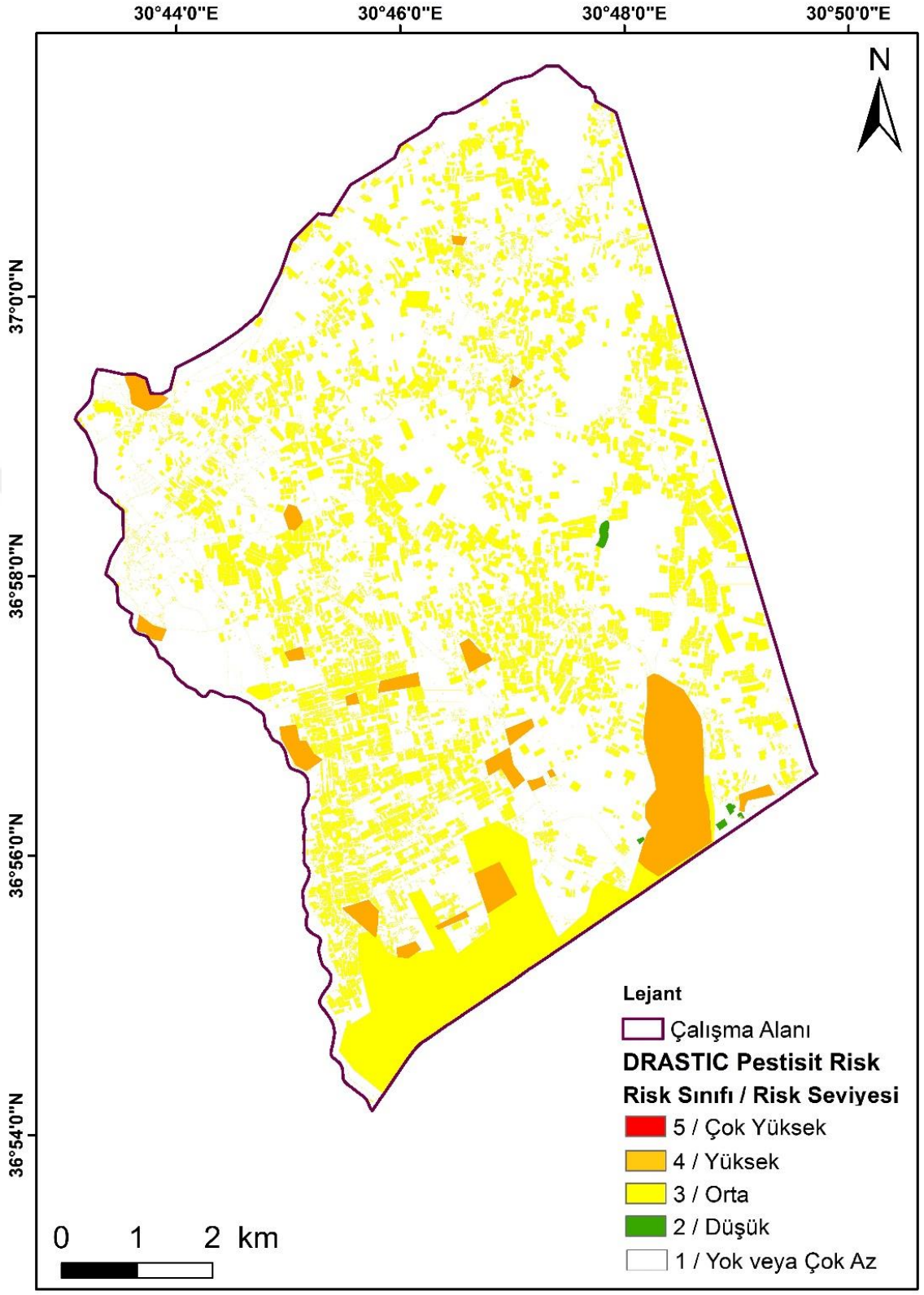
Çizelge 4.5'te tanımlanan senaryolarda sera alanları için iki farklı Kirletici İndeksi (HI) değeri elde edilmiştir. Sera alanları için Senaryo-1 koşuluna göre Kirletici İndeksi (HI) = 45, Senaryo-2 koşulu için Kirletici İndeksi (HI) = 60 değeri baz alınarak risk haritaları yeniden oluşturulmuştur.

Senaryo-1: Sera alanları için Kirletici İndeksi (HI) = 45

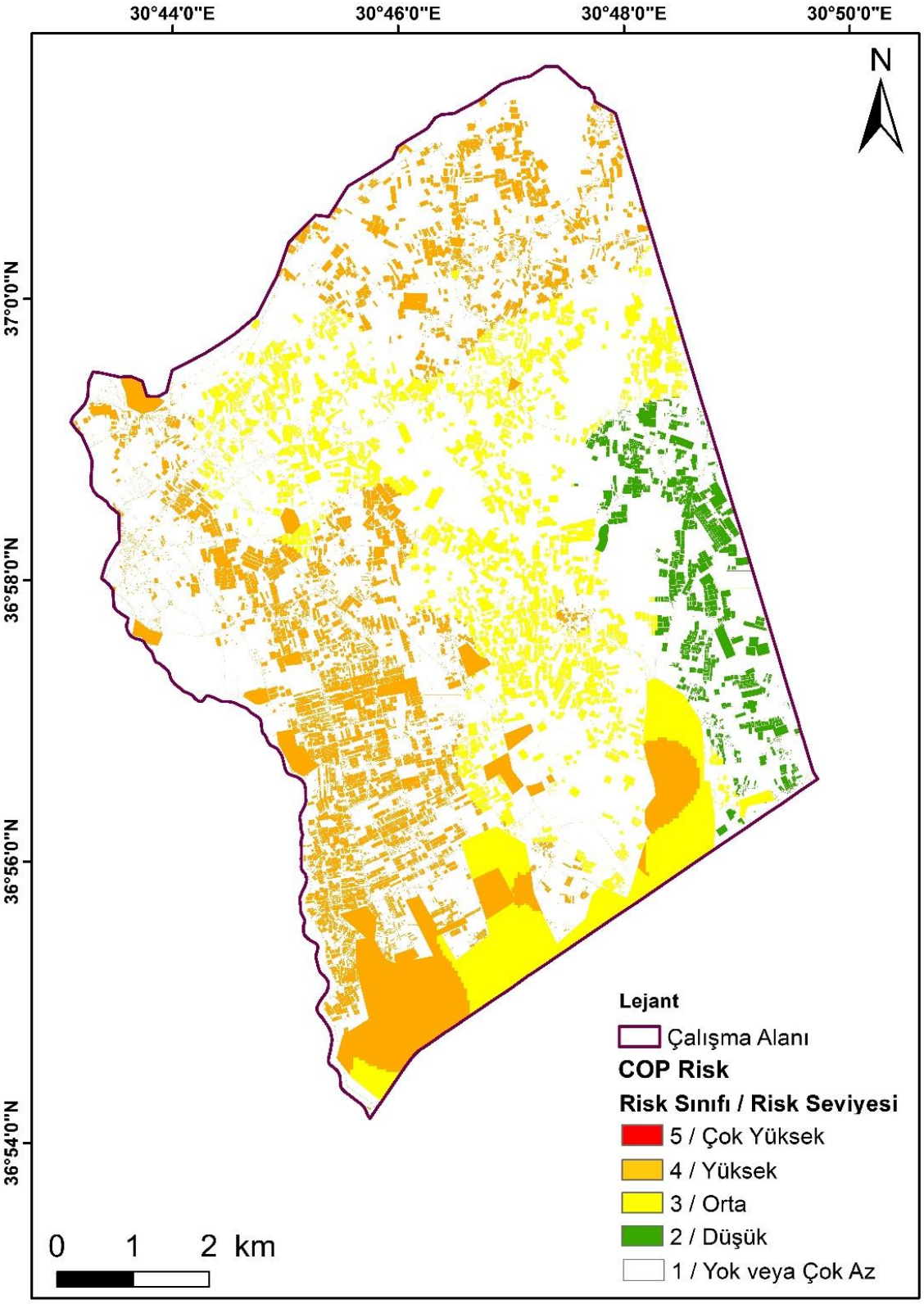
Senaryo-1 koşulu için DRASTIC, DRASTIC-Pestisit, COP, PI, SINTACS (Senaryo 1) ve SINTACS (Senaryo 2) metotlarının kullanımı sonucu elde edilen YAS kirlilik riski haritaları Şekiller 4.59-4.64'te sunulmaktadır.



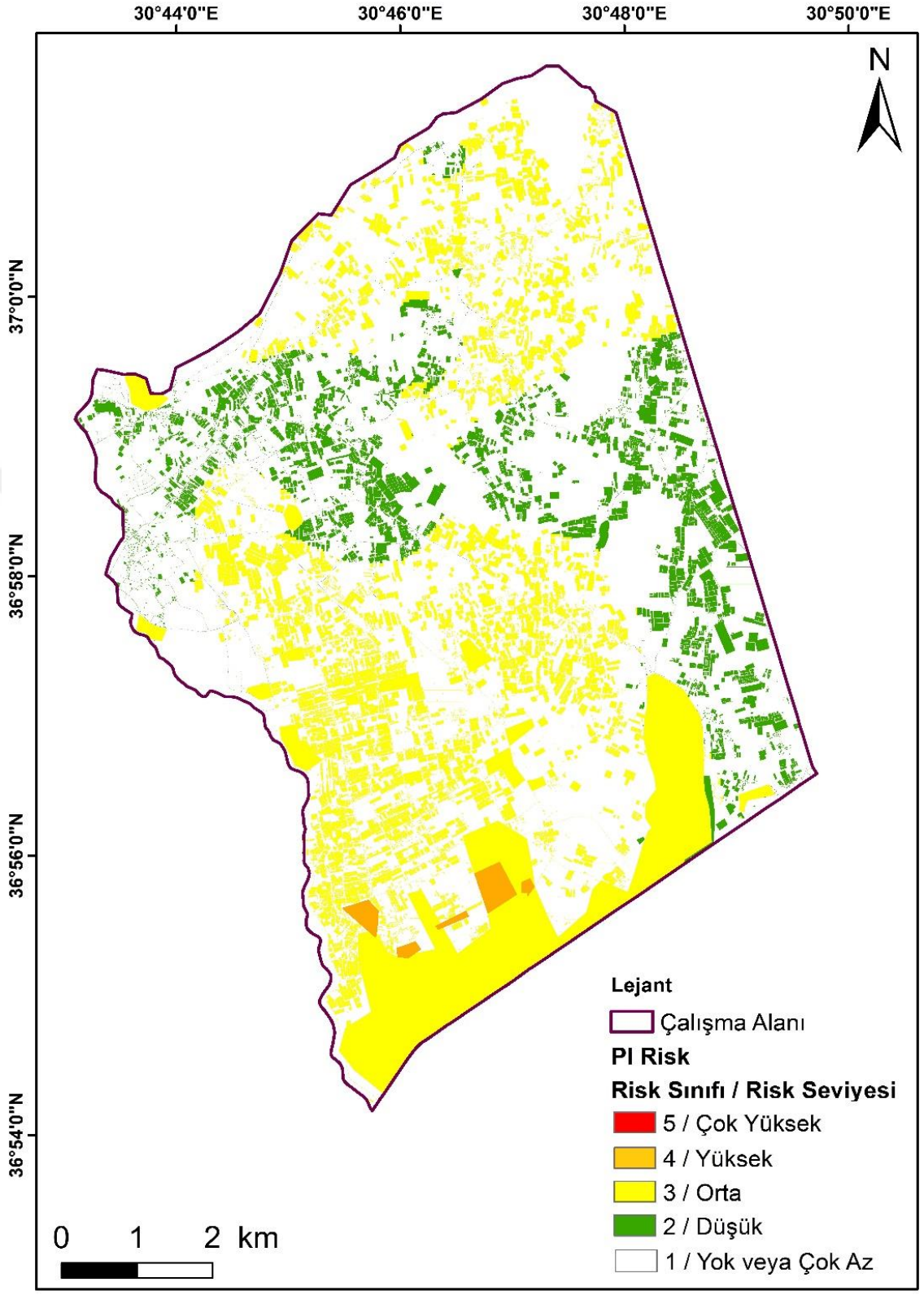
Şekil 4.59. Altınova çalışma bölgesi için DRASTIC kirlilik hassasiyeti metodu ile elde edilen YAS kirlilik riski haritası (Senaryo-1: Sera alanları için Kirletici İndeksi (HI) = 45).



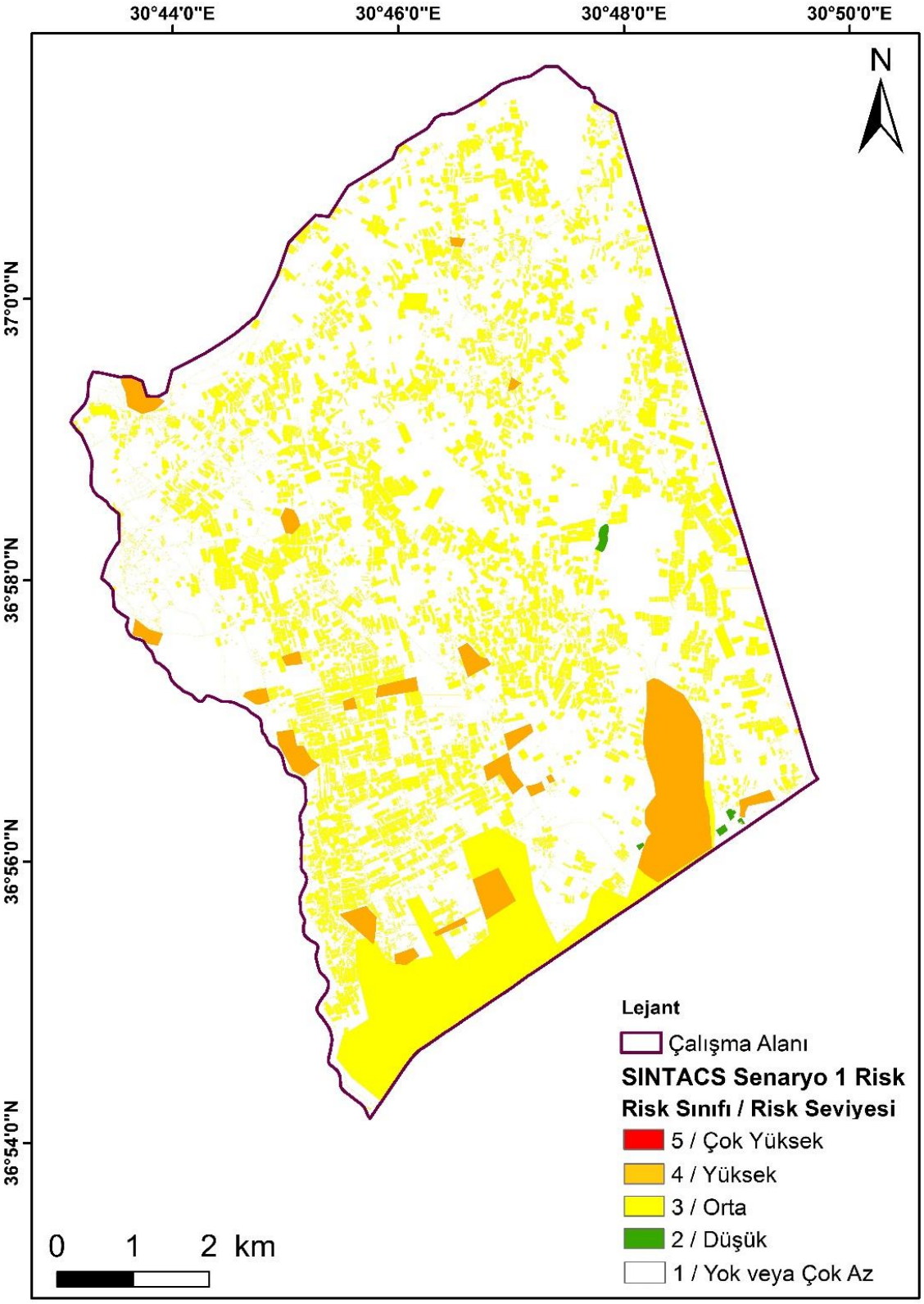
Şekil 4.60. Altınova çalışma bölgesi için DRASTIC-Pestisit kirlilik hassasiyeti metodu ile elde edilen YAS kirlilik riski haritası (Senaryo-1: Sera alanları için Kirletici İndeksi (HI) = 45).



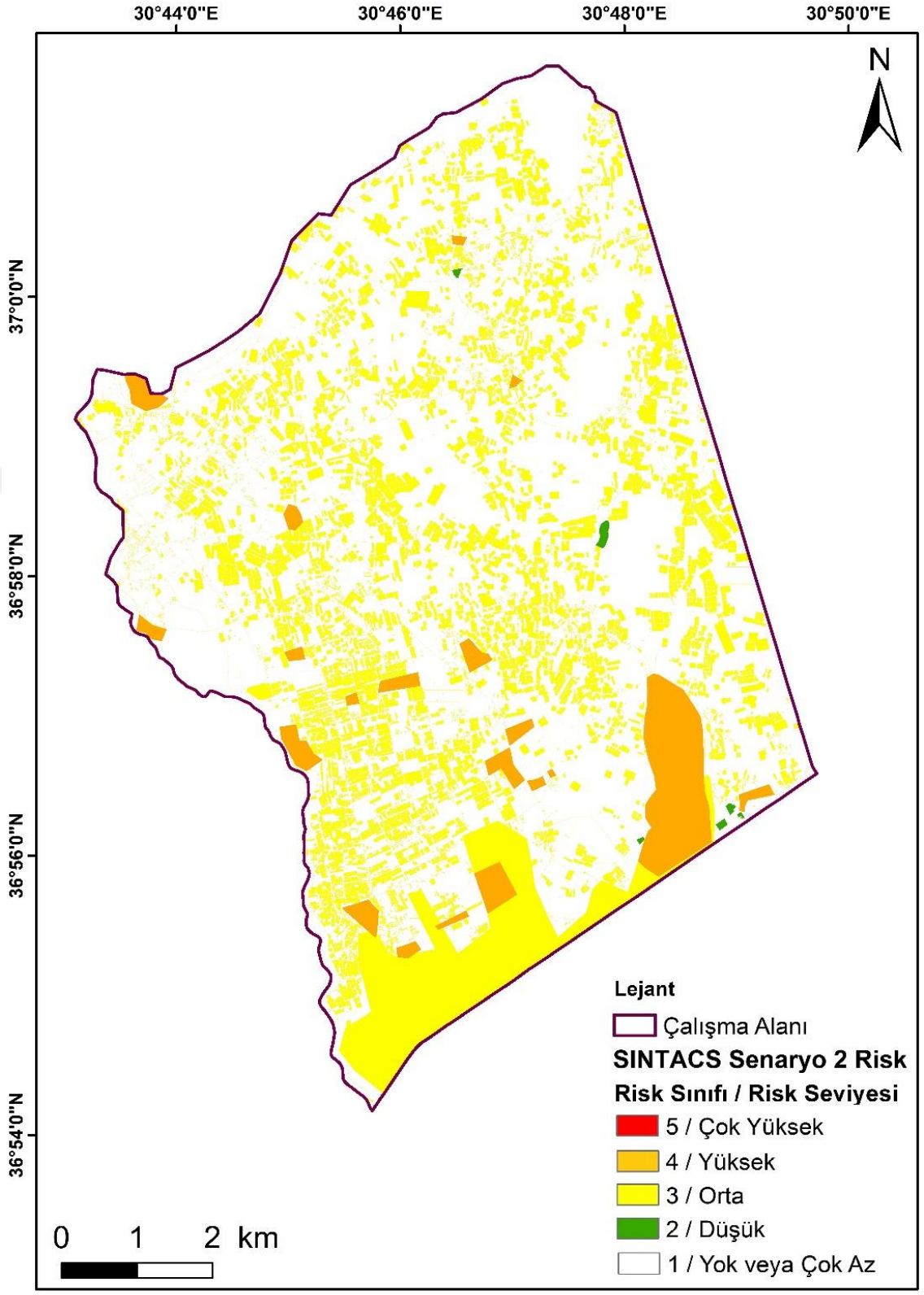
Şekil 4.61. Altınova çalışma bölgesi için COP kirlilik hassasiyeti metodu ile elde edilen YAS kirlilik riski haritası (Senaryo-1: Sera alanları için Kirletici İndeksi (HI) = 45).



Şekil 4.62. Altınova çalışma bölgesi için PI kirlilik hassasiyeti metodu ile elde edilen YAS kirlilik riski haritası (Senaryo-1: Sera alanları için Kirletici İndeksi (HI) = 45).



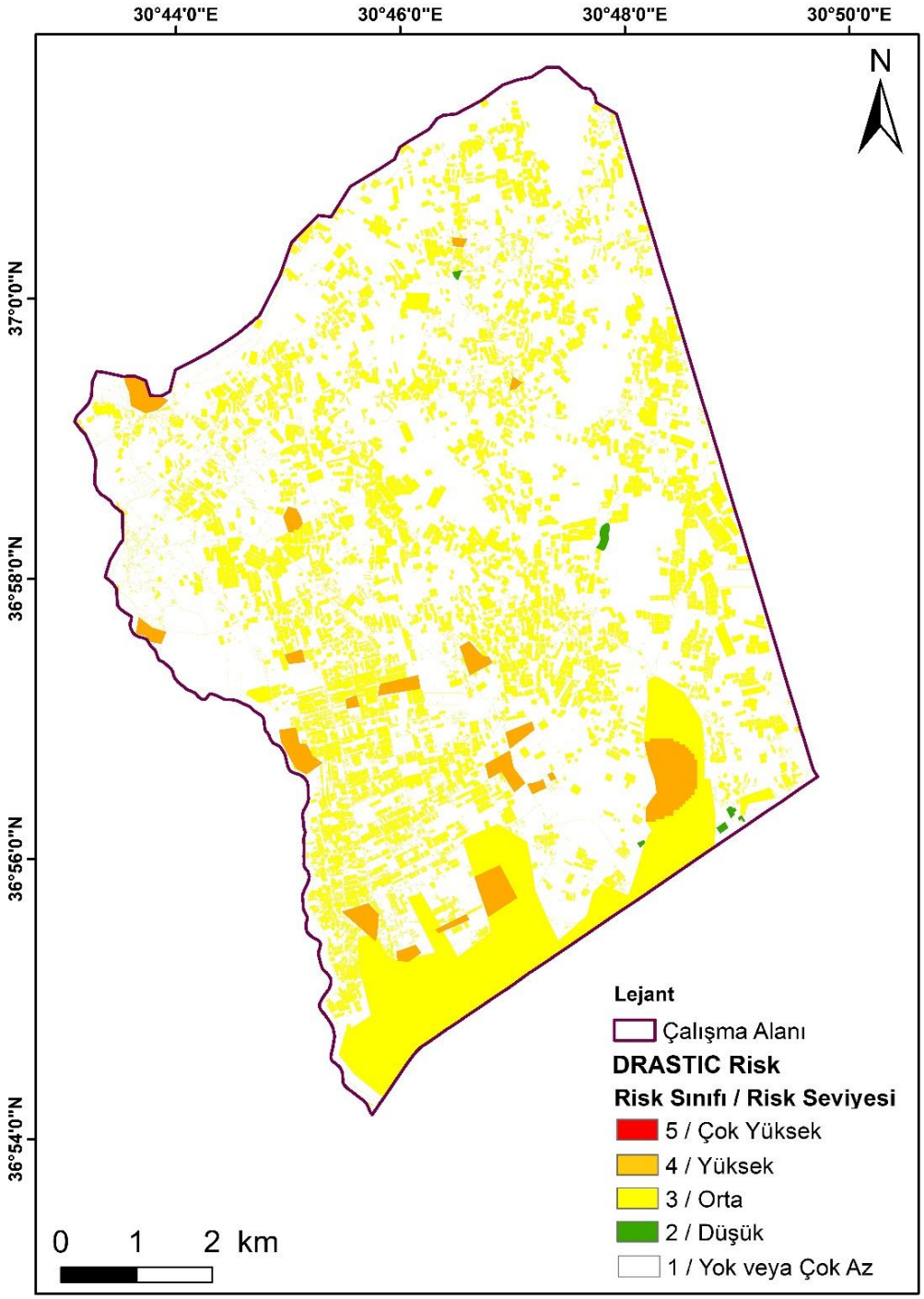
Şekil 4.63. Altınova çalışma bölgesi için SINTACS (Senaryo-1) hassasiyeti metodu ile elde edilen YAS kirlilik riski haritası (Senaryo-1: Sera alanları için Kirletici İndeksi (HI) = 45).



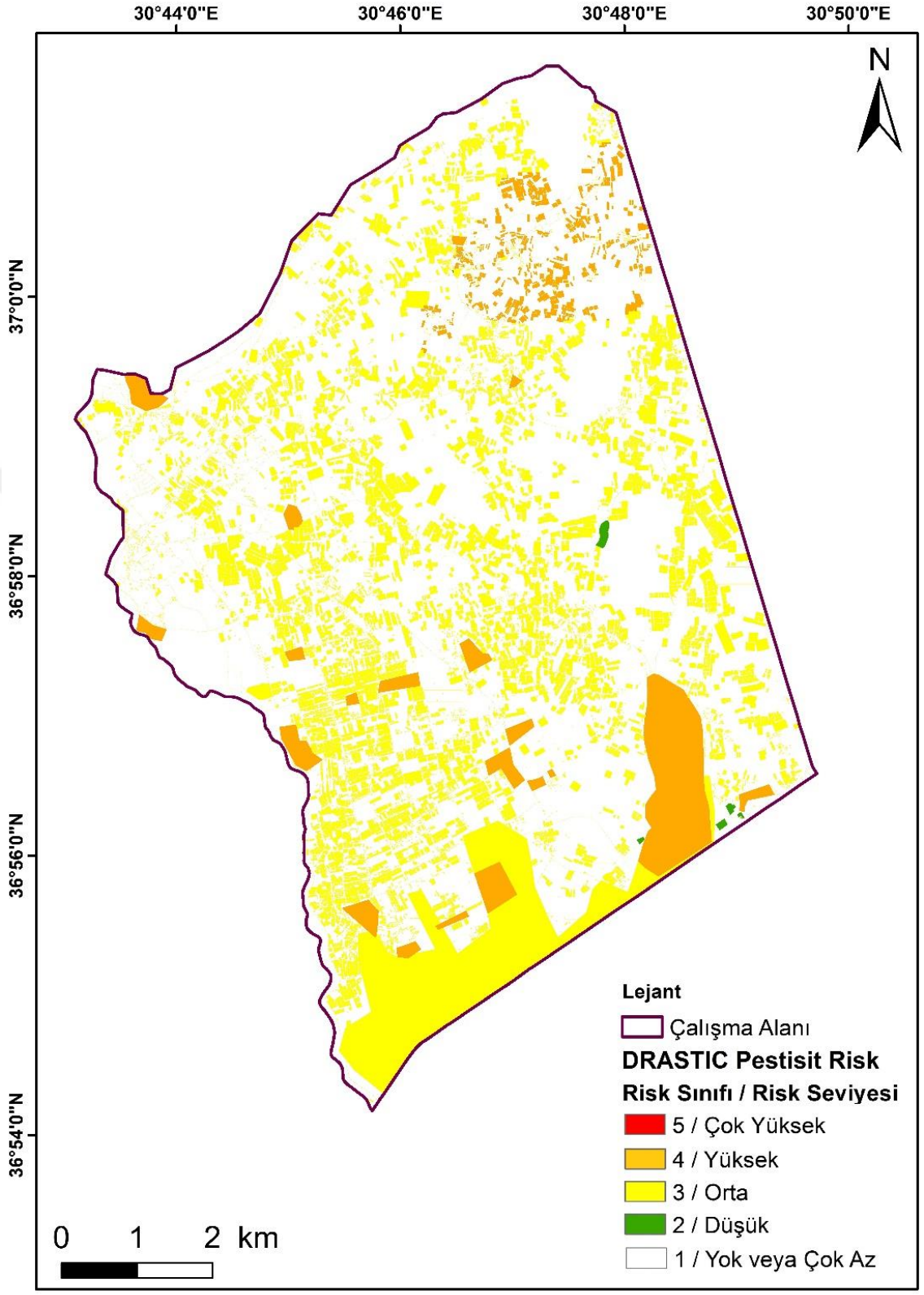
Şekil 4.64. Altınova çalışma bölgesi için SINTACS (Senaryo-2) hassasiyeti metodu ile elde edilen YAS kirlilik riski haritası (Senaryo-2: Sera alanları için Kirletici İndeksi (HI) = 45).

Senaryo-2: Sera alanları için Kirletici İndeksi (HI) = 60

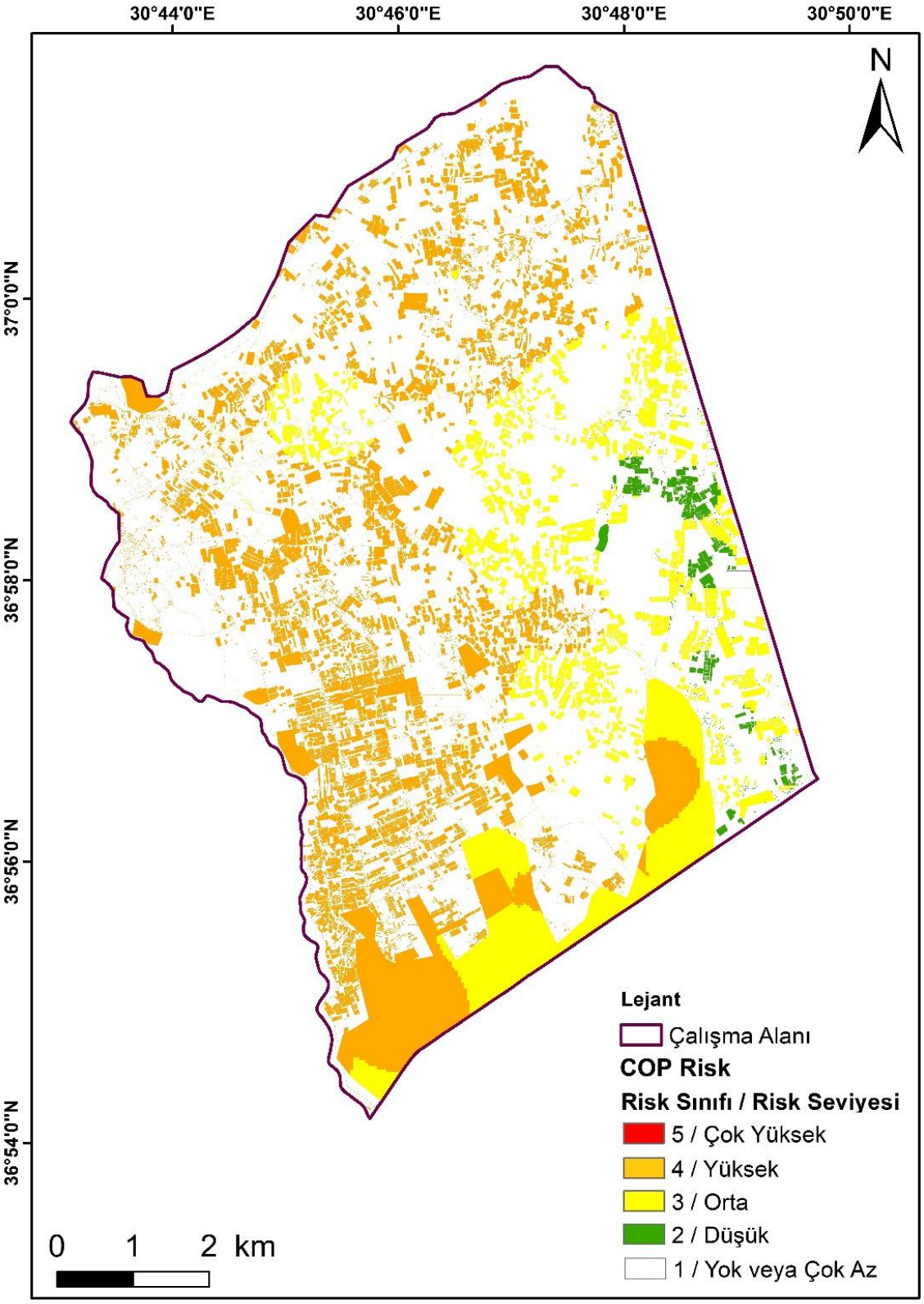
Senaryo-2 koşulu için DRASTIC, DRASTIC-Pestisit, COP, PI, SINTACS (Senaryo 1) ve SINTACS (Senaryo 2) metotlarının kullanımı sonucu elde edilen YAS kirlilik riski haritaları Şekiller 4.65-4.70'de sunulmaktadır.



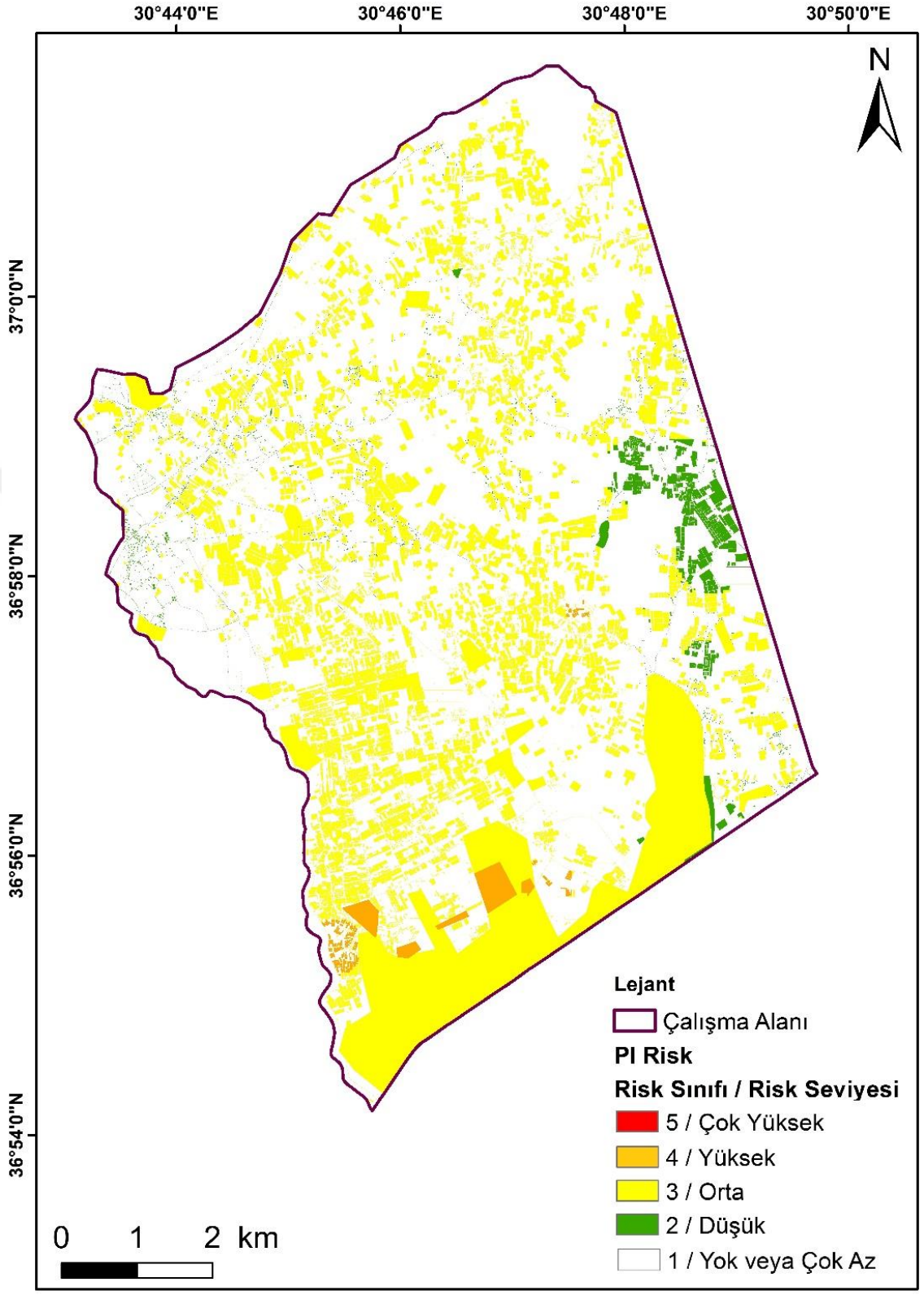
Şekil 4.65. Altınova çalışma bölgesi için DRASTIC kirlilik hassasiyeti metodu ile elde edilen YAS kirlilik riski haritası (Senaryo-2: Sera alanları için Kirletici İndeksi (HI) = 60).



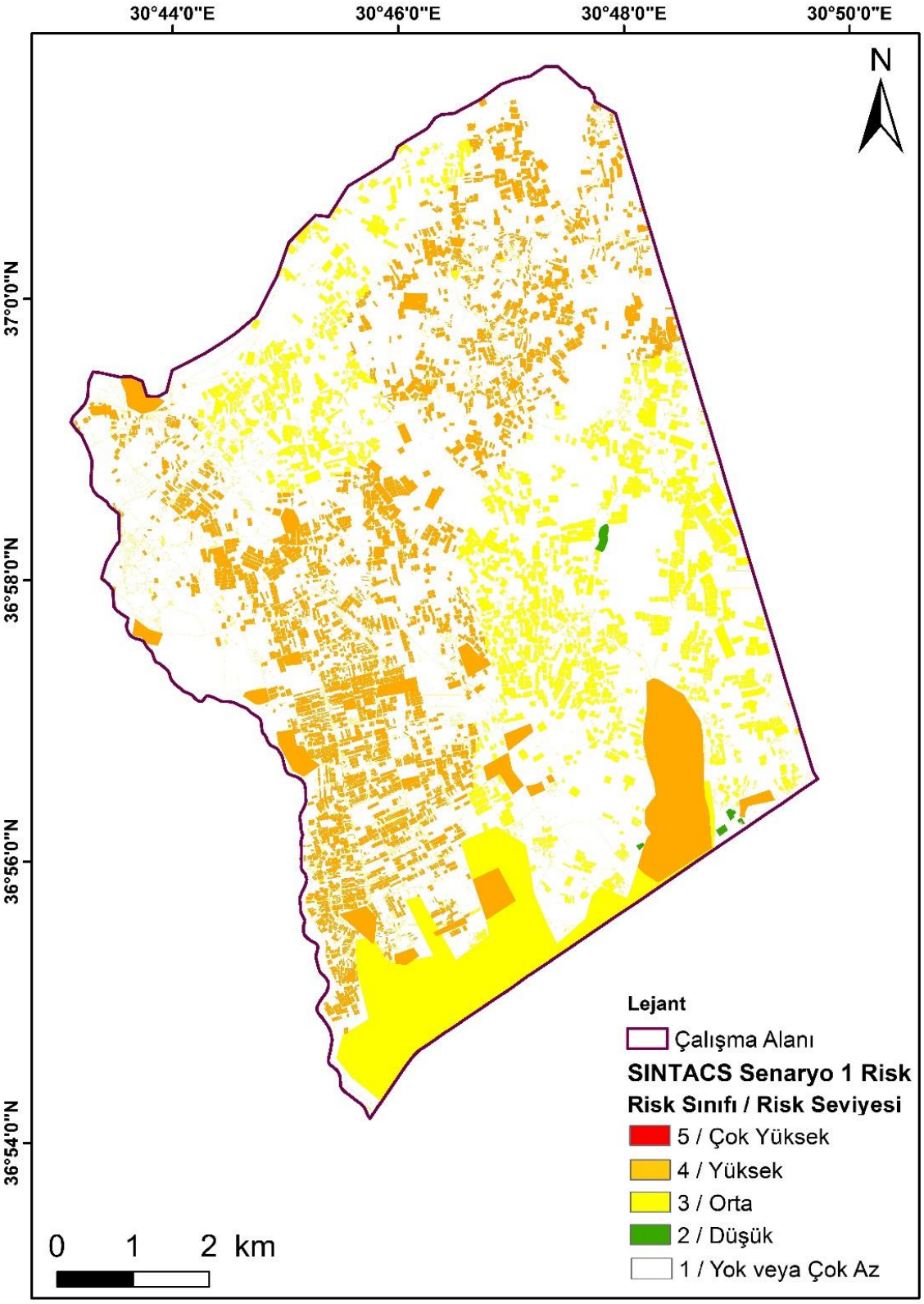
Şekil 4.66. Altınova çalışma bölgesi için DRASTIC-Pestisit kirlilik hassasiyeti metodu ile elde edilen YAS kirlilik riski haritası (Senaryo-2: Sera alanları için Kirletici İndeksi (HI) = 60).



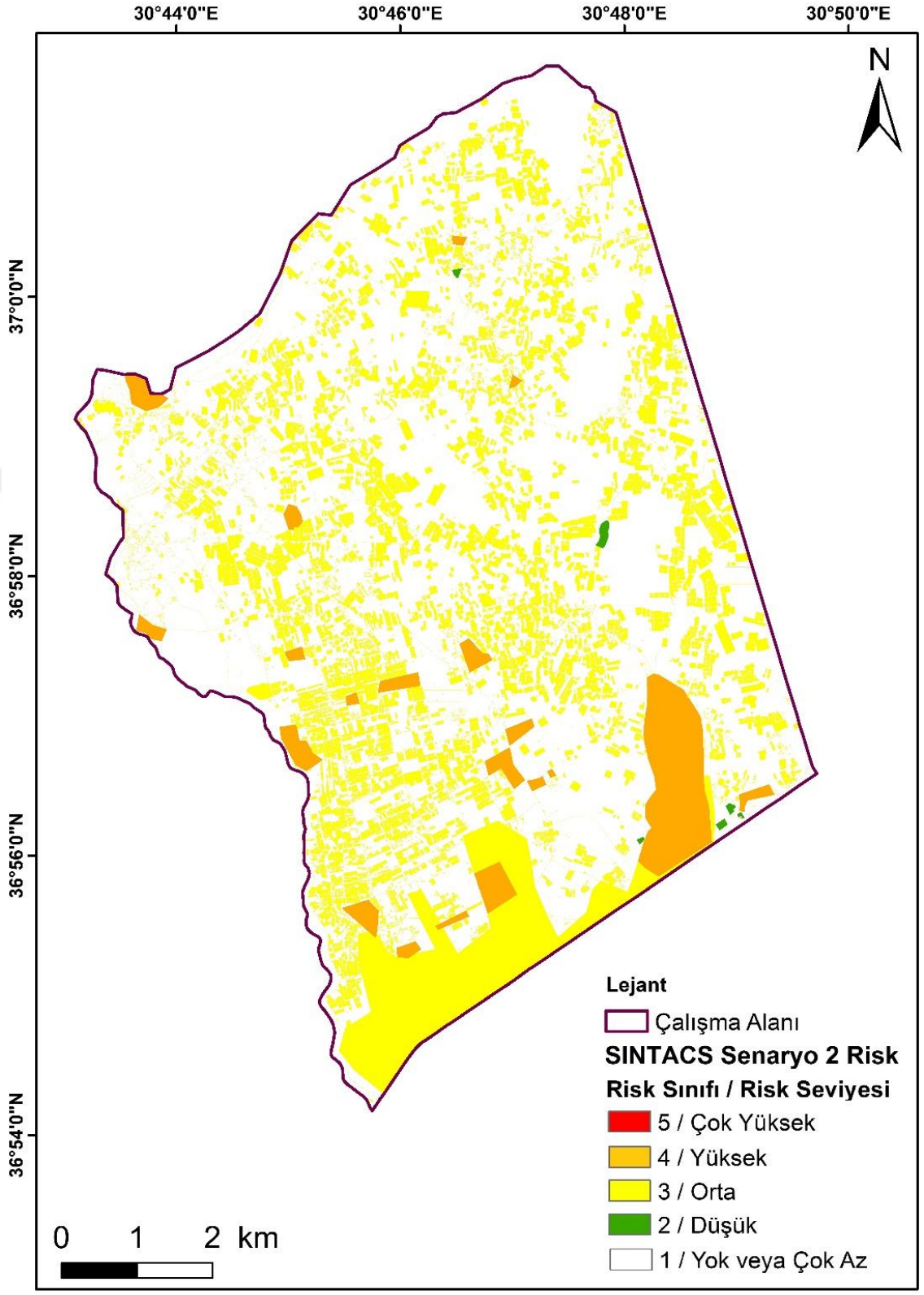
Şekil 4.67. Altınova çalışma bölgesi için COP kirlilik hassasiyeti metodu ile elde edilen YAS kirlilik riski haritası (Senaryo-2: Sera alanları için Kirletici İndeksi (HI) = 60).



Şekil 4.68. Altınova çalışma bölgesi için PI kirlilik hassasiyeti metodu ile elde edilen YAS kirlilik riski haritası (Senaryo-2: Sera alanları için Kirletici İndeksi (HI) = 60).



Şekil 4.69. Altınova çalışma bölgesi için SINTACS (Senaryo-1) hassasiyeti metodu ile elde edilen YAS kirlilik riski haritası (Senaryo-2: Sera alanları için Kirletici İndeksi (HI) = 60).



Şekil 4.70. Altınova çalışma bölgesi için SINTACS (Senaryo-1) hassasiyeti metodu ile elde edilen YAS kirlilik riski haritası (Senaryo-2: Sera alanları için Kirletici İndeksi (HI) = 60)

YAS kaynaklarına yönelik artan talep ile birlikte YAS kalitesini olumsuz yönde etkileyen kirleticilerin artış göstermesi, YAS kalitesinin korunması ve yönetimi açısından ciddi tehditler oluşturmaktadır. YAS kaynaklarından optimum düzeyde faydalanılması açısından özellikle karstik ortamlar için yürütülen çalışmalarda güncel araştırma tekniklerinin sistematik bir biçimde uygulanması gerekmektedir (Günay 1993). YAS kalitesinin entegre yönetimi açısından YAS'ın kirliliğe karşı hassasiyetinin ve kirletici unsurların incelenmesi ve bu verilerle risk analizini içeren bütünleşik bir yaklaşımın izlenmesi gereklidir. YAS'ın kirliliğe karşı gerçek hassasiyetinin belirlenmesi için temel olarak akifer beslenim bölgesinden kirleticilerin YAS'a ulaşması ve taşınımı açısından ne kadar koruyucu kapasiteye sahip olduğu irdelenir. Tez çalışmasında Altınova pilot uygulama alanı için YAS kirliliğine karşı hassasiyetin belirlenmesi için DRASTIC, SINTACS, PI, EPIK ve COP yöntemleri uygulanarak kirliliğe karşı gerçek hassasiyet belirlenmiş ve mekânsal dağılım haritaları oluşturulmuştur. Çalışmanın devamında kirletici unsurların değerlendirmesi içerikli çalışmaların Altınova pilot uygulama sahasına uygulanmasına dair sonuçlar elde edilmiş ve haritalanmıştır. Kirletici unsur ve YAS kirlilik riski değerlendirilmesi çalışmasında karst akiferler için YAS kirlilik riski tanımlamalarını bütüncül olarak ele alan COST 620 Vulnerability and Risk Mapping for the Protection of Carbonate (Karst) Aquifers Final Report (COST 620 Final Raporu 2003) çalışmasından faydalanılmıştır.

COST Action 620 çalışmasındaki kabullere göre oluşturulan kirletici unsur değerlendirmesi baz alınarak yapılan çalışmada; kullanılan YAS kirlilik hassasiyeti metotlarının genelinde kanalizasyon olmayan kentsel alanlar için yüksek YAS kirlilik riski, yollar ve endüstriyel alanlar için orta YAS kirlilik riski tanımlanmıştır. COP ve SINTACS (Senaryo-1) metotları için jeolojik formasyon farklılığı YAS kirlilik riski haritasının oluşumunda da önemli farklılıklar oluşturmuştur. Bu iki metot ile karstik alandaki seralar, yollar ve foseptikler için orta YAS kirlilik riski, karstik olmayan bölgedeki seralar, yollar ve foseptikler için ise düşük YAS kirlilik riski tanımlanmıştır.

Tarımsal alanlardaki kirlilik etkisine yönelik gerçekleştirilen senaryolar (seralardan kaynaklanabilecek olan kirleticilerin %50 ve %100 oranında artırılması) için de YAS kirlilik risk değerlendirmesi ve haritalaması yapılmıştır. Buna göre karstik jeolojik formasyonda yer alan sera alanlarındaki gübre vb. kirleticilerin kullanımı arttıkça, Altınova çalışma bölgesi için YAS kirlilik riski orta düzeyden yüksek seviyeye çıkmaktadır. Karstik olmayan alanda yer alan seralardaki gübre vb. kirleticilerin kullanımı arttıkça, bu bölgelerdeki YAS kirlilik riski de düşük düzeyden orta seviyeye çıkmaktadır. Altınova çalışma bölgesindeki karstik jeolojik formasyona sahip alan, tüm kirletici unsurlar açısından önemli düzeyde kirlenme tehdidi altındadır. Bölgede yaygın olarak gözlenen yoğun ve kontrolsüz tarımsal uygulamaların YAS kirliliği oluşturma potansiyeli yüksektir.

4.9. İzleme Çalışmasında Saha Ölçümleri ile Elde Edilen Sonuçlar

Tez çalışmasında mevsimsel olarak 4 izleme çalışması gerçekleştirilmiştir. Birinci izleme çalışması 50 izleme noktasında 6-7 Ağustos 2015'te, ikinci izleme çalışması 25 izleme noktasında 18-19 Kasım 2015'te, üçüncü izleme çalışması 25 izleme noktasında 9-10 Şubat 2016'da dördüncü izleme çalışması ise 25 izleme noktasında 10-11 Mayıs 2016'da gerçekleştirilmiştir. İkinci, üçüncü ve dördüncü izleme çalışmalarında YAS'a olan derinlik değerleri de sahada ölçülmüştür. Dört izleme çalışmasında saha ölçümleri ile elde edilen sonuçlar ve mevsimsel veriler EK-1'de gösterilmektedir. Dört izleme döneminde 25 izleme noktası için saha ölçümleri ile elde edilen verilerin temel istatistiksel değerlendirmesi Çizelge 4.6'da sunulmaktadır. Dördüncü izleme çalışmasında iki kuyuda, kuyu başının değişmesi ve sahibinin izin vermemesi nedeni ile YAS'a olan derinlik ölçülememiştir.

Dört izleme çalışmasından elde edilen veriler incelendiğinde minimum ve maksimum değerler sıcaklık için 17,70 ile 24,00 °C, Toplam Çözünmüş Madde (TÇM) için 264,31 ile 628,25 mg/L, pH için 6,44 ile 7,54 arasında, Çözünmüş Oksijen (ÇO) için 1,86 ile 9,18 mg/L, spesifik iletkenlik için 412,98 ile 981,64 µS/cm, tuzluluk için ‰0,20 ile 0,49, bulanıklık için 0,32 ile 22,30 NTU, nitrat için 0,20 ile 128,30 mg/L, YAS'a olan derinlik için 12,24 ile 44,91 m olarak belirlenmiştir. İzlenen parametrelerin tümünde çok belirgin mekânsal değişimler gözlenmiş olup özellikle bulanıklık için belirgin mevsimsel değişimler de söz konusudur. Bölgedeki yoğun tarımsal faaliyetler ile birlikte bütün kirletici unsurlar, hidrojeolojik şartlardaki farklılıklar ve YAS'a olan derinlik vb. pek çok faktör gözlenen yüksek değişim aralıklarına neden olmaktadır. Sahada ölçülen parametreler için en yüksek standart sapma değerleri sıcaklık, pH, ÇO ve nitrat parametreleri için 1. izleme çalışmasının gerçekleştirildiği yaz dönemi; TÇM, iletkenlik ve bulanıklık parametreleri için 3. izleme çalışmasının gerçekleştirildiği kış dönemi için elde edilmiştir. Tuzluluk parametresi için tüm izleme dönemlerindeki standart sapma değeri eşittir. Farklı izleme dönemleri için hesaplanan ortalama değerler dikkate alındığında, mevsimsel hava sıcaklığındaki değişime paralel olarak sıcaklık parametresi için en düşük değer kış dönemi, en yüksek değer yaz dönemi için elde edilmiştir. Diğer parametrelerdeki zamansal değişimler ise daha karmaşık etkileşimlerin sonucunda ortaya çıkmıştır ve mekânsal değişimlerin etkisi belirgindir.

Dört izleme çalışması kapsamında 25 izleme noktasında ölçülen su kalite verilerine ArcGIS 10.3.1 programındaki jeoistatistiksel yöntemlerden biri olan IDW interpolasyon metodunun uygulanması ile mekânsal dağılım haritaları hazırlanmıştır. Sıcaklık parametresi için mekânsal dağılım haritaları Şekil 7.10'da verilmiştir. Birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü izleme çalışmalarına ait ortalama sıcaklık değerleri sırasıyla 21,48 ºC, 19,56 ºC, 19,08 ºC ve 20,38 ºC'dir

Çizelge 4.6. Dört izleme çalışmasından elde edilen saha ölçümlerine ilişkin istatistiksel değerlendirme (Min: Minimum değer, maks: Maksimum değer, ort: ortalama değer, S.S: standart sapma).

		Sıcaklık (°C)	TÇM (mg/L)	pH	ÇO (mg/L)	Spesifik İletkenlik (µS/cm)	Tuzluluk (‰)	Bulanıklık (NTU)	Nitrat (mg/L)	Derinlik (m)
Ağustos 2015	Min.	19,80	264,31	6,44	1,94	412,98	0,20	0,33	0,33	Ölçülmedi
	Maks.	24,00	604,13	7,12	9,05	943,95	0,47	7,68	128,30	Ölçülmedi
	Ort.	21,48	425,78	6,87	7,16	665,29	0,33	2,01	45,68	Ölçülmedi
	S. S.	1,14	98,01	0,19	2,34	153,14	0,08	1,86	32,94	Ölçülmedi
Kasım 2015	Min.	18,00	273,75	7,06	2,01	427,73	0,21	0,32	0,25	13,76
	Maks.	21,20	621,96	7,54	9,18	971,81	0,48	16,20	98,56	42,60
	Ort.	19,56	434,89	7,24	7,40	679,51	0,33	1,74	44,98	28,19
	S. S.	0,92	102,87	0,11	2,00	160,73	0,08	3,32	30,14	9,34
Şubat 2016	Min.	17,70	268,50	7,03	2,36	419,53	0,20	0,37	0,59	12,24
	Maks.	21,10	628,25	7,39	9,05	981,64	0,49	22,30	108,70	43,12
	Ort.	19,08	431,57	7,18	7,20	674,33	0,33	4,20	46,37	28,58
	S. S.	0,93	104,33	0,09	2,00	163,02	0,08	5,51	32,66	9,93
Mayıs 2016	Min.	19,40	265,35	6,87	1,86	414,62	0,20	0,40	0,20	18,40
	Maks.	22,30	618,81	7,35	8,70	966,89	0,48	5,88	105,30	44,91
	Ort.	20,38	425,07	7,11	7,02	664,17	0,33	1,54	45,98	30,82
	S. S.	0,90	97,75	0,12	2,16	152,74	0,08	1,34	28,90	9,14

Farklı mevsimlerdeki izleme çalışmaları içinde en yüksek sıcaklık ortalaması yaz mevsimini temsil eden Ağustos ayında, en düşük sıcaklık ortalaması ise kış mevsimini temsil eden Şubat ayında ölçülmüştür. İkinci arazi çalışmasının gerçekleştirildiği Kasım döneminde, hava sıcaklıklarındaki azalma ile YAS sıcaklıklarında da bir miktar düşüş gözlenmiştir. Üçüncü izleme (Şubat 2016) çalışmasına ait mekânsal dağılım haritasına bakıldığında, ilk iki izleme çalışmalarına göre sıcaklık açısından daha homojen bir dağılımın olduğu görülmektedir. Birinci (yaz dönemi) ve üçüncü (kış dönemi) izleme çalışmalarına ilişkin mekânsal dağılım haritaları, çalışma sahasındaki YAS sıcaklık farklılıklarını net olarak ortaya koymaktadır. Dördüncü izleme (Mayıs 2016) çalışması döneminde hava sıcaklıklarındaki artış ile YAS sıcaklık değerlerinde bir miktar yükselme gözlenmiştir. Bu dönemde ölçülen sıcaklık değerleri sonbahar dönemi (Kasım 2015) ölçümlerine kıyasla daha yüksektir. Tüm izleme noktaları ve tüm mevsimler dikkate alındığında en yüksek YAS sıcaklığı 45 numaralı kuyunun bulunduğu bölgede ölçülmüştür. YAS sıcaklık değerlerinin izleme noktaları arasındaki farklılıklarında mevsimsel değişimden daha çok YAS'a olan derinlik de etkili olmuştur. YAS'a olan derinlik azaldıkça, sıcaklık değişimleri daha hızlı gerçekleşmiştir.

pH parametresine ilişkin mekânsal dağılım haritaları Şekil 7.11'de sunulmaktadır. Çalışma bölgesinde seçilen 25 adet izleme noktasında ölçülen pH değerlerinin mekânsal dağılımları incelendiğinde, pH ölçümlerinin dört izleme döneminde 6,44-7,54 değerleri arasında kaldığı görülmektedir. İkinci ve üçüncü arazi çalışmalarında ölçülen pH değerleri ise 7,03-7,54 aralığında kalmıştır. Tüm izleme dönemlerine ait verilerle hazırlanan mekânsal dağılım haritaları ile net bir şekilde ortaya konulduğu gibi çalışma bölgesinde YAS'ta ölçülen pH değerleri zamansal ve mekânsal olarak büyük değişimler göstermemektedir. Birinci izleme çalışmasında kullanılan pH ölçüm probu, ikinci ve üçüncü izleme çalışmalarında yenisi temin edilmiş olduğundan değiştirilmiştir. Ölçüm probunun değiştirilmesinin temel sebebi kalibrasyonunun çabuk bozulmasıdır. Ölçüm probunun değiştirilmiş olmasına bağlı olarak ilk izleme çalışmasına ait ortalama pH değeri 6,87 iken, ikinci izleme çalışması için ortalama pH değeri 7,24 ve üçüncü izleme çalışması için 7,18 ve dördüncü izleme çalışması için 7,11 olarak tespit edilmiştir. Kış mevsimi (Şubat 2016) izleme çalışmasına ait mekânsal dağılım haritasına bakıldığında, diğer izleme dönemlerine kıyasla pH değerleri açısından daha homojen bir dağılımın olduğu görülmektedir. Tüm izleme noktaları ve izleme dönemleri dikkate alındığında en yüksek pH değerleri 5 numaralı kuyu, en düşük pH değerleri ise 1 ve 44 numaralı kuyuların bulunduğu bölgede ölçülmüştür.

Şekil 7.12'de spesifik iletkenlik parametresine ilişkin mekânsal dağılım haritaları verilmiştir. Farklı mevsimlerdeki mekânsal dağılımlar açısından büyük benzerlikler söz konusudur. Genel olarak çalışma alanının kuzey kısımlarında daha düşük spesifik iletkenlik değerleri gözlenirken, güneydoğu kısmında daha yüksek spesifik iletkenlik değerleri ölçülmüştür. Çalışma alanının güney doğusunda kalan bölgede nispeten yüksek iletkenlik değerlerinin ölçülmesinin sebebi jeolojik formasyondaki farklılık ve YAS'a olan derinliğin bölgenin kalanına göre daha az olması olarak değerlendirilmektedir. Tüm izleme çalışmalarına ait ortalama spesifik iletkenlik değerleri sırasıyla 665,29 µS/cm, 679,51 µS/cm, 674,33 µS/cm ve 664,17 µS/cm olarak belirlenmiş olup ortalama değerler açısından önemli bir farklılık söz konusu değildir. Tüm izleme noktaları ve izleme dönemleri dikkate alındığında en yüksek spesifik iletkenlik değerleri 1, 35 ve 36 numaralı kuyular, en düşük spesifik iletkenlik değerleri ise 20, 22 ve 24 numaralı kuyuların bulunduğu bölgede ölçülmüştür.

Tuzluluk ve TÇM (Toplam Çözünmüş Madde) parametreleri için oluşturulan mekânsal dağılım haritaları Şekil 7.13 ve Şekil 7.14'te sunulmuştur. Tuzluluk ve TÇM için mekânsal dağılım özellikleri, spesifik iletkenlik için sunulan mekânsal dağılım ile benzerlik göstermektedir. Belirtilen her üç parametre, suda çözünmüş iyonların artışı ile artmakta ve iyonların azalması ile azalmaktadır. Buna bağlı olarak, Şekiller 7.12-7.14'te de görüldüğü gibi, tuzluluk, TÇM ve spesifik iletkenlik değerlerinin yüksek ve düşük olduğu alanlar da benzerdir. Tüm izleme çalışmalarına ait ortalama tuzluluk değerleri sırasıyla ‰0,325; ‰0,333; ‰0,331 ve ‰0,325 olarak belirlenmiş olup ortalama değerler açısından önemli bir farklılık söz konusu değildir. Tüm izleme noktaları ve izleme dönemleri dikkate alındığında en yüksek tuzluluk değerleri 1 ve 36 numaralı kuyuların

bulunduğu güneydoğu kısımda, en düşük tuzluluk değerleri ise 20, 22, 24 ve 27 numaralı kuyuların bulunduğu kuzey kısımda ölçülmüştür. Tüm izleme çalışmalarına ait ortalama TÇM değerleri sırasıyla 425,78 mg/L, 434,89 mg/L, 431,57 mg/L ve 425,07 mg/L olarak belirlenmiş olup ortalama değerler açısından önemli bir farklılık söz konusu değildir. Tüm izleme noktaları ve izleme dönemleri dikkate alındığında en yüksek TÇM değerleri 1, 35 ve 36 numaralı kuyuların bulunduğu güneydoğu kısımda, en düşük TÇM değerleri ise 20, 22 ve 24 numaralı kuyuların bulunduğu kuzey kısımda ölçülmüştür.

ÇO, YAS'a olan derinlik ve su sıcaklığı ile doğrudan ilişkili olmakla birlikte pek çok su kalite parametresinden etkilenen ve su kalitesinin değerlendirilmesinde temel olan bir parametredir. YAS'a olan derinlik arttıkça YAS'taki ÇO miktarının azalması beklenmektedir. Aynı şekilde su sıcaklığının artması da ÇO azalmasına sebep olmaktadır. Şekil 7.15'te dört izleme çalışmasında ölçülen ÇO değerleri kullanılarak oluşturulan mekânsal dağılım haritaları verilmiştir. Tüm izleme çalışmalarına ait ortalama ÇO konsantrasyonları sırasıyla 7,16 mg/L, 7,40 mg/L, 7,20 mg/L ve 7,02 mg/L olarak belirlenmiş olup ortalama değerler oldukça yakındır. Tüm izleme noktaları ve izleme dönemleri dikkate alındığında en düşük ÇO değerleri 1, 2 ve 3 numaralı kuyuların bulunduğu çalışma bölgesinin güneydoğu kısmında ölçülmüştür. Çalışma alanının güneydoğu kısmında yer alan izleme noktalarında (1, 2, 3, 44 ve 45 numaralı kuyuların bulunduğu bölge) diğer izleme noktalarına kıyasla daha yüksek düzeyde *Escherichia coli, kolifom bakteri* ve toplam organik karbon konsantrasyonu tespit edilmiştir. Belirtilen parametreler tanımlanan bölgede fekal kontaminasyon mevcudiyetini ve YAS'a atık su karıştığını göstermektedir. Belirtilen bölgedeki ÇO değeri 2,0 mg/L'nin altına düşmüştür.

Şekil 7.16'da dört izleme çalışmasında ölçülen bulanıklık değerleri kullanılarak oluşturulan mekânsal dağılım haritaları verilmiştir. 1 ve 2 numaralı kuyuların bulunduğu bölgede en yüksek bulanıklık değerleri gözlenmiştir. Bulanıklık, YAS'a olan derinlik, jeolojik formasyon ve partikül formdaki kirleticiler ile yakından ilişkili bir parametredir. Çalışma alanının doğu-güney doğu kısmında bulanıklık değerlerinin yüksek olmasının sebebi, bu bölgedeki izleme noktalarında YAS'a olan derinliğin düşük olması ve kumtaşı ve çakıl içerikli jeolojik formasyon olarak düşünülmektedir. İzleme dönemleri içinde en yüksek bulanıklık seviyeleri, kış mevsiminde gerçekleştirilen izleme çalışmasında elde edilmiştir. Bu oluşumun nedeni kış mevsiminde yağışların da etkisi ile YAS kaynaklarında bulanıklık düzeyinin artmasıdır. Bununla birlikte, ekim yapılmayan zamanlarda su pompalarının uzun süre çalıştırılmayıp daha sonra çalıştırılmasına bağlı olarak suyun bulanık olduğu arazi çalışmalarında da gözlemlenmiştir. Örnek olarak üçüncü izleme çalışmasında 14 numaralı kuyunun yer aldığı izleme noktasında YAS'a olan derinlik ve jeolojik formasyondan bağımsız olarak numune suyunun uzun bir süre akıtılmış olmasına rağmen nispeten yüksek bulanıklık değeri ölçülmüştür. Tüm izleme çalışmalarına ait ortalama bulanıklık değerleri sırasıyla 2,01 NTU, 1,74 NTU, 4,19 NTU ve 1,54 NTU olarak belirlenmiş olup kış mevsimi dışındaki izleme dönemlerindeki ortalama değerler oldukça yakındır.

Şekil 7.17'de dört izleme çalışmasında ölçülen nitrat konsantrasyonu değerleri kullanılarak oluşturulan mekânsal dağılım haritaları verilmiştir. Çalışma alanın güney ve kuzeydoğu kısımlarında kentsel yerleşim ve tarım alanlarının yoğunluğu daha azdır. Özellikle çalışma alanının güneyinde ticari amaçlı kullanımlar öne çıkmaktadır. Çalışma alanı içerisinde kentsel yerleşim ve tarım alanlarının yoğun olduğu bölgelerde yoğun tarımsal faaliyetler (organik gübre ve azotlu kimyasal gübre kullanımı), kentsel atık su toplama ve uzaklaştırma sisteminin bulunmaması (foseptik kaynaklı atık su sızıntıları) ve düzensiz katı atık ve gübre paketlerinin depolanması vb. kirletici kaynaklar YAS'ta yüksek nitrat konsantrasyonu oluşumuna neden olmaktadır. Kentsel yerleşim ve tarım faaliyetlerinin daha az yoğun olduğu bölgelerde (çalışma alanının kuzeyi) diğer şartlara da bağlı olarak (YAS'a olan derinlik, jeolojik formasyon, toprak bünyesi vb.) YAS'ta tespit edilen nitrat konsantrasyonu daha düşüktür. Genel olarak çalışma alanının ortasında kalan kısımda tarımsal faaliyetler ve kentsel alanlar yoğunlaşmakta ve YAS'ta nitrat kirliliği çok yüksek düzeylere ulaşmaktadır. Bölgede 17, 33, 35 ve 36 numaralı kuyuların etrafında yüksek nitrat değerlerinin kümelendiği görülmektedir. Özellikle 35 ve 36 numaralı kuyularda YAS'a olan derinlik azdır ve alanın kumtaşı/çakıl formasyonuna bağlı olarak kirleticilerin YAS'a ulaşımı açısından yüksek hassasiyet öne çıkmaktadır. Tüm izleme çalışmalarına ait ortalama nitrat konsantrasyonu 45,68 mg/L, 44,98 mg/L, 46,37 mg/L ve 45,94 mg/L'dir. Bu sonuçlara ait dikkat çekici unsur, ortalama nitrat konsantrasyonlarının tüm izleme dönemlerinde T.C. Sağlık Bakanlığı'nın 28580 sayılı "İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik"te verilen ve içme sularında izin verilen 50 mg/L üst limit değerine çok yakın olmasıdır. Tez kapsamında 25 adet izleme noktasında gerçekleştirilen nitrat analizleri birlikte değerlendirildiğinde en düşük değer 0,20 mg/L, en yüksek değer ise 128,30 mg/L olarak tespit edilmiştir. Tüm izleme dönemlerinde 25 adet izleme noktasının hemen hemen yarısında 50 mg/L üst limit değerinden daha yüksek nitrat konsantrasyonları gözlenmiştir. İzleme çalışmaları ve diğer arazi çalışmalarında bölgenin belirli bir kısmında içme suyu dağıtım şebekesinin bulunmadığı ve yerleşik halkın YAS'ı içme suyu olarak kullandığı tespit edilmiştir. Özellikle bazı izleme noktalarında nitrat ve bakteriyolojik kaynaklı kirlilik dolayısı ile YAS'ın içme-kullanma amaçlı kullanıma uygun olmadığı Antalya Halk Sağlığı Laboratuvarı'nda gerçekleştirilen analiz sonuçları ve raporlarında da resmi olarak belirtilmektedir. Çalışma alanında YAS kirliliğinin entegre yönetimi ve halk sağlığının korunması açısından hem nitrat hem de bakteriyolojik kaynaklı kirliliğin azaltılması yönünde gerekli tedbirlerin en yakın zamanda uygulanması gerekliliği açıkça görülmektedir.

Şekil 7.18'de ikinci, üçüncü ve dördüncü izleme çalışmalarında ölçülen YAS'a olan derinlik değerleri kullanılarak oluşturulan mekânsal dağılım haritaları verilmiştir. Dördüncü izleme çalışmasının gerçekleştirildiği dönemde izleme kuyularında YAS'a olan derinlik ile birlikte izleme noktalarının zemin kotları da hassas cihazlar ile ölçülmüştür. Elde edilen hassas topografik kotlar kullanılarak YAS seviyeleri hesaplanmış ve mekânsal dağılıma ilişkin hazırlanan harita Şekil 7.19'da sunulmaktadır.

YAS'a olan derinlik ve YAS seviyesi, YAS'ın beslenimi ve su çekimleri ile doğrudan etkilenmektedir. Şekil 7.18'de sunulan mekânsal dağılım haritaları incelendiğinde, çalışma alanında YAS'a olan derinliklerin ikinci ve üçüncü arazi çalışmalarında hemen hemen benzer olduğu görülmektedir. YAS'a olan ortalama derinlik ikinci izleme çalışmasında 28,19 m, üçüncü izleme çalışmasında 28,58 m ve dördüncü izleme çalışmasında 30,82 m'dir. YAS'a olan ortalama derinlik değerleri sonbahar ve kış dönemine ait izleme çalışmalarında önemli bir değişiklik göstermemiş iken ilkbahar mevsimindeki izleme çalışmasında YAS seviyesinin biraz düştüğü gözlenmiştir. Bölgede kış ve ilkbahar aylarındaki yağışların düzensiz ve az olması YAS'a olan derinlik seviyesini etkilemektedir. Sunulan mekânsal dağılım haritalarında da izlendiği gibi YAS'a olan en yüksek derinlik seviyeleri çalışma sahasının batı ve kuzey yönlerindeki dar bir alanda yer alan 7, 10, 17 ve 39 numaralı kuyularda; en düşük değerler ise 3, 27, 29 ve 35 numaralı kuyuların yer aldığı çalışma sahasının doğu sınırına yakın bölgede ölçülmüştür. Topografik kotlardan yararlanarak hesaplanan YAS seviyelerinin mekânsal dağılımı (Şekil 7.19) incelendiğinde en yüksek YAS seviyelerinin çalışma bölgesinin kuzeyinde, en düşük YAS seviyelerinin de çalışma bölgesinin güneyinde olduğu görülmektedir. YAS seviyeleri, YAS'ın hareket yönünü tariflemek üzere önemli bilgiler sağlamaktadır. Buna bağlı olarak çalışma sahasındaki YAS hareketinin yüksek YAS seviyesinin bulunduğu kuzeyden, düşük YAS seviyelerinin bulunduğu güney istikametine doğru olduğu belirlenmiştir. Üç izleme dönemine ait YAS seviyelerinden elde edilen ortalama YAS seviyeleri içinde en yüksek değer 76,89 m ile 48 numaralı kuyu, en düşük değer 20,23 m ile 41 numaralı kuyu için elde edilmiştir. Ortalama YAS seviyesinin 70 m'den yüksek olduğu kuyular 20, 22, 24, 26 ve 27 olarak gözlenmiştir. Ortalama YAS seviyesinin 25 m'den düşük olduğu kuyular ise 15, 16, 41 ve 44 olarak tespit edilmiştir.

İzleme çalışmasından elde edilen verilerin birbirleri ile ilişkilendirilebilmesi amacıyla Pearson korelasyon analizi çalışması gerçekleştirilmiş ve bu çalışma için XLSTAT programı kullanılmıştır. Çalışmada sıcaklık, ÇO, TÇM, pH, spesifik iletkenlik, tuzluluk, bulanıklık, nitrat ve derinlik verileri dikkate alınmıştır. Korelasyon değerleri %95 güvenilirlik sınırlarında test edilmiştir. Çizelge 4.7'de 6-7 Ağustos 2015 tarihlerinde gerçekleştirilen birinci izleme çalışmasından elde edilen sonuçlara ait korelasyon matrisi verilmiştir. Korelasyon matrisinde orta ve yüksek derecede (>0,6) korelasyona sahip olan parametreler incelenmiştir. Beklenildiği gibi, ÇO ve sıcaklık parametreleri arasında negatif bir korelasyon vardır ve sıcaklık artışı sudaki ÇO miktarını azaltıcı yönde etki etmektedir. Sıcaklık, TÇM, iletkenlik ve tuzluluk parametreleri arasında pozitif bir korelasyon mevcuttur. ÇO parametresi; TÇM, iletkenlik ve tuzluluk parametreleri ile negatif korelasyona sahiptir. Belirtilen korelasyon, su içerisindeki çözünmüş madde miktarının artmasıyla sudaki ÇO miktarının azaldığını göstermektedir.

18-19 Kasım 2015 tarihlerinde gerçekleştirilen ikinci izleme çalışmasında, birinci izleme çalışmasına ek olarak YAS'a olan derinlik de ölçülmüştür. Çizelge 4.8'de ikinci izleme çalışmasından elde edilen sonuçlara ait korelasyon matrisi verilmiştir. Korelasyon

matrisinde sunulan ikinci izleme çalışmasına ait sonuçlar incelendiğinde, derinlik ve sıcaklık parametreleri arasında negatif bir korelasyonun mevcut olduğu görülmektedir. Beklenildiği gibi, YAS'a olan derinlik arttıkça YAS sıcaklığı azalmaktadır. ÇO parametresi ile sıcaklık, TÇM, iletkenlik ve tuzluluk parametreleri arasında negatif korelasyon vardır. Sıcaklık, TÇM, iletkenlik ve tuzluluk parametreleri arasında ise pozitif bir korelasyon mevcuttur. Bununla birlikte, pH parametresi ile TÇM, iletkenlik ve tuzluluk parametreleri arasında negatif bir korelasyon görülmektedir.

Çizelge 4.7. Birinci izleme çalışmasından elde edilen sonuçlar için korelasyon matrisi (P<0,05).

Parametre	Sıcaklık (°C)	TÇM (mg/L)	pH	ÇO (mg/L)	Spesifik İletkenlik (µS/cm)	Tuzluluk (‰)	Bulanıklık (NTU)	Nitrat (mg/L)
Sıcaklık (°C)	**1**	0,610	-0,274	-0,716	0,610	0,606	0,106	0,112
TÇM (mg/L)	0,610	**1**	-0,313	-0,630	1,000	1,000	0,374	0,336
pH	-0,274	-0,313	**1**	0,724	-0,313	-0,315	-0,172	0,495
ÇO (mg/L)	-0,716	-0,630	0,724	**1**	-0,630	-0,629	-0,167	0,253
Spesifik İletkenlik (µS/cm)	0,610	1,000	-0,313	-0,630	**1**	1,000	0,374	0,336
Tuzluluk (‰)	0,606	1,000	-0,315	-0,629	1,000	**1**	0,377	0,336
Bulanıklık (NTU)	0,106	0,374	-0,172	-0,167	0,374	0,377	**1**	0,128
Nitrat (mg/L)	0,112	0,336	0,495	0,253	0,336	0,336	0,128	**1**

Çizelge 4.8. İkinci izleme çalışmasından elde edilen sonuçlar için korelasyon matrisi (P<0,05).

Parametre	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	TÇM (mg/L)	pH	ÇO (mg/L)	Spesifik İletkenlik (µS/cm)	Tuzluluk (‰)	Bulanıklık (NTU)	Nitrat (mg/L)
Derinlik (m)	**1**	-0,569	-0,267	0,121	0,330	-0,267	-0,267	-0,296	0,063
Sıcaklık (°C)	-0,569	**1**	0,628	-0,323	-0,725	0,628	0,628	0,473	-0,090
TÇM (mg/L)	-0,267	0,628	**1**	-0,589	-0,711	1,000	1,000	0,485	0,365
pH	0,121	-0,323	-0,589	**1**	0,415	-0,589	-0,590	-0,265	-0,058
ÇO (mg/L)	0,330	-0,725	-0,711	0,415	**1**	-0,711	-0,711	-0,633	0,224
Spesifik İletkenlik (µS/cm)	-0,267	0,628	1,000	-0,589	-0,711	**1**	1,000	0,485	0,365
Tuzluluk (‰)	-0,267	0,628	1,000	-0,590	-0,711	1,000	**1**	0,487	0,364
Bulanıklık (NTU)	-0,296	0,473	0,485	-0,265	-0,633	0,485	0,487	**1**	-0,209
Nitrat (mg/L)	0,063	-0,090	0,365	-0,058	0,224	0,365	0,364	-0,209	**1**

9-10 Şubat 2016 tarihlerinde gerçekleştirilen üçüncü izleme çalışmasında da YAS'a olan derinlik ölçülmüştür. Çizelge 4.9'da üçüncü izleme çalışmasından elde edilen sonuçlara ait korelasyon matrisi verilmiştir. Korelasyon matrisinde sunulan üçüncü izleme çalışmasına ait sonuçlar incelendiğinde, derinlik ve sıcaklık parametreleri arasında negatif bir korelasyonun mevcut olduğu ancak ikinci izleme çalışmasına göre azaldığı görülmektedir. Benzer şekilde sıcaklık ve ÇO parametreleri arasındaki negatif korelasyonun etkisi de azalarak devam etmektedir. Bu sonuç, kış aylarında YAS'a olan derinliğe bağlı olarak sıcaklık farkının azaldığını doğrulamaktadır. Bu dönemde pH ve ÇO parametrelerinin TÇM, iletkenlik ve tuzluluk parametreleri ile negatif korelasyon sergiledikleri görülmektedir. Sıcaklık, TÇM, iletkenlik ve tuzluluk parametreleri arasında ise pozitif bir korelasyon mevcuttur.

Çizelge 4.9. Üçüncü izleme çalışmasından elde edilen sonuçlar için korelasyon matrisi (P<0,05).

Parametre	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	TÇM (mg/L)	pH	ÇO (mg/L)	Spesifik İletkenlik (µS/cm)	Tuzluluk (‰)	Bulanıklık (NTU)	Nitrat (mg/L)
Derinlik (m)	**1**	-0,297	-0,364	0,094	0,315	-0,364	-0,364	-0,366	0,049
Sıcaklık (°C)	-0,297	**1**	0,333	-0,020	-0,303	0,333	0,333	0,283	0,308
TÇM (mg/L)	-0,364	0,333	**1**	-0,556	-0,650	1,000	1,000	0,468	0,381
pH	0,094	-0,020	-0,556	**1**	0,431	-0,556	-0,556	-0,225	-0,059
ÇO (mg/L)	0,315	-0,303	-0,650	0,431	**1**	-0,650	-0,651	-0,638	0,059
Spesifik İletkenlik (µS/cm)	-0,364	0,333	1,000	-0,556	-0,650	**1**	1,000	0,468	0,381
Tuzluluk (‰)	-0,364	0,333	1,000	-0,556	-0,651	1,000	**1**	0,469	0,378
Bulanıklık (NTU)	-0,366	0,283	0,468	-0,225	-0,638	0,468	0,469	**1**	-0,107
Nitrat (mg/L)	0,049	0,308	0,381	-0,059	0,059	0,381	0,378	-0,107	**1**

10-11 Mayıs 2016 tarihlerinde gerçekleştirilen dördüncü izleme çalışmasında da YAS'a olan derinlik ölçülmüştür. Çizelge 4.10'da dördüncü izleme çalışmasından elde edilen sonuçlara ait korelasyon matrisi verilmiştir. Korelasyon matrisinde sunulan dördüncü izleme çalışmasına ait sonuçlar incelendiğinde, derinlik ve sıcaklık parametreleri arasında negatif bir korelasyonun mevcut olduğu ancak ikinci izleme çalışmasına göre yine düşük olduğu görülmektedir. Bu dönemde de pH ve ÇO parametrelerinin TÇM, iletkenlik ve tuzluluk parametreleri ile negatif korelasyon sergiledikleri görülmektedir. Sıcaklık, TÇM, iletkenlik ve tuzluluk parametreleri arasındaki pozitif korelasyon da mevcuttur. Bununla birlikte, TÇM, iletkenlik ve tuzluluk parametreleri arasındaki pozitif korelasyon maksimum düzeydedir. Tüm izleme dönemlerinde, iletkenlik ile nitrat parametreleri arasında benzer düzeyde bir pozitif korelasyon da mevcuttur.

Çizelge 4.10. Dördüncü izleme çalışmasından elde edilen sonuçlar için korelasyon matrisi (P<0,05).

Parametre	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	TÇM (mg/L)	pH	ÇO (mg/L)	Spesifik İletkenlik (µS/cm)	Tuzluluk (‰)	Bulanıklık (NTU)	Nitrat (mg/L)
Derinlik (m)	**1**	-0,371	-0,341	-0,094	0,352	-0,341	-0,341	-0,013	0,104
Sıcaklık (°C)	-0,371	**1**	0,494	0,211	-0,429	0,494	0,492	0,049	0,196
TÇM (mg/L)	-0,341	0,494	**1**	-0,540	-0,678	1,000	1,000	0,285	0,308
pH	-0,094	0,211	-0,540	**1**	0,421	-0,540	-0,542	-0,133	-0,016
ÇO (mg/L)	0,352	-0,429	-0,678	0,421	**1**	-0,678	-0,678	0,006	0,282
Spesifik İletkenlik (µS/cm)	-0,341	0,494	1,000	-0,540	-0,678	**1**	1,000	0,285	0,308
Tuzluluk (‰)	-0,341	0,492	1,000	-0,542	-0,678	1,000	**1**	0,285	0,306
Bulanıklık (NTU)	-0,013	0,049	0,285	-0,133	0,006	0,285	0,285	**1**	0,288
Nitrat (mg/L)	0,104	0,196	0,308	-0,016	0,282	0,308	0,306	0,288	**1**

İzleme çalışmalarında sahada gerçekleştirilen ölçümlere ek olarak, sonbahar ve ilkbahar mevsimlerini temsil eden 18-19 Kasım 2015 ve 10-11 Mayıs 2016 tarihli izleme çalışmalarında tüm izleme noktalarından su numuneleri alınmış ve detaylı su kalitesi analizlerinin gerçekleştirilmesi için Antalya Halk Sağlığı Laboratuvarı'na getirilmiştir. Laboratuvarda T.C. Sağlık Bakanlığı'nın İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmeliğinde tanımlanan içme-kullanma suyuna ilişkin tüm parametreler analiz edilmiş ve limit değerler ile karşılaştırılarak raporlanmıştır. Çizelge 4.11'de 18-19 Kasım 2015 tarihi için 25 izleme noktasına ait bazı analiz sonuçlarının istatistiksel özeti ve ilgili yönetmelikteki limit değerler birlikte sunulmuş olup limit değerlere uygun olmayan analiz sonuçları koyu renkli olarak yazılmıştır. EK-1'de tüm izleme noktaları için analiz sonuçları sunulmuştur.

Çizelge 4.11. 18-19 Kasım 2015 tarihli izleme çalışması için tüm izleme noktalarına ilişkin bazı su kalitesi analiz sonuçlarının istatistiksel değerlendirmesi.

Parametre	Limit Değer*	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
Koliform Bakteri (cfu/100 mL)	0	0	**1300**	**127,40**	**309,74**
Toplam Koloni Sayısı (cfu/mL)	-	0	1500	88,88	300,51
C.perfringens (cfu/100 mL)	0	0	**3**	**0,20**	**0,65**
Enterokok (cfu/100 mL)	0	0	**24**	**2,76**	**6,50**
Escherichia coli (cfu/100 mL)	0	0	**14**	**0,88**	**2,85**
TOC (mg/L)	-	0,41	1,34	0,96	0,22
Demir (µg/L)	<200	7,33	**379,01**	46,33	89,40
Bor (mg/L)	<1	0,01	0,14	0,03	0,04
Civa (µg/L)	<250	0,02	0,06	0,03	0,01
Krom (µg/L)	<50	2,11	6,36	3,30	0,94
pH	6,5-9,5	7,00	7,45	7,19	0,11
Nikel (µg/L)	<20	1,79	6,76	2,92	1,012
Kurşun (µg/L)	<10	0,03	0,21	0,06	0,05
Mangan (µg/L)	<50	0,26	**66,38**	4,14	13,22
Sodyum (mg/L)	<250	4,61	25,40	12,21	5,90
İletkenlik (µS/c*m)	<2500	377	854	596,15	137,27
Arsenik (µg/L)	<10	0,27	**38,76**	3,56	7,53
Selenyum (µg/L)	<10	0,13	0,93	0,29	0,20
Alüminyum (µg/L)	<200	2,38	71,37	11,65	16,79
Sülfat (mg/L)	<250	3,26	139,68	30,73	34,18
Amonyum (mg/L)	<0,5	0,02	0,07	0,04	0,01
Bromat (µg/L)	<10	0,01	0,01	0,01	0,00
Klorür (mg/L)	<250	7,62	50,28	20,34	11,99
Nitrat (mg/L)	<50	0,06	**118,48**	44,78	32,20
Florür (mg/L)	<1,5	0,03	0,16	0,06	0,04
Nitrit (mg/L)	<0,5	0,01	0,05	0,01	0,01

* T.C. Sağlık Bakanlığı'nın *İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmeliğinde* tanımlanan içme-kullanma suyuna ilişkin limit değerler

Bakteriyolojik parametrelere ait sonuçlar incelendiğinde bazı kuyularda (1, 7, 14, 24, 29, 31, 39, 41 ve 44 numaralı kuyular) fekal kontaminasyonun mevcut olduğu, *enterokok* ve *Escherichia coli* parametrelerinin analiz sonuçları ile tespit edilmiştir. Çalışma alanının büyük bir bölümünde atık su toplama ve uzaklaştırma sistemi mevcut değildir ve evsel atık sular foseptik sistemlerine boşalmaktadır. Jeolojik formasyon etkisine ilave olarak arazi çalışmalarında gözlendiği gibi bazı evlerin foseptikleri ile kuyuları arasındaki mesafe de oldukça azdır.

Kimyasal analizler kapsamında EK-1'de sunulan parametreler içerisinde bazı izleme noktaları için elde edilen demir (1 ve 2 numaralı kuyular), mangan (2 numaralı kuyu), nitrat (5, 7, 10, 14, 15, 16, 17, 31, 33, 35, 36 numaralı kuyular) ve arsenik (39 numaralı kuyu) konsantrasyonları T.C. Sağlık Bakanlığı'nın İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmeliği'nde tanımlanan limit değerleri aşmıştır. Yönetmelikte belirtilen 50 mg/L nitrat konsantrasyonu limit değeri, çalışma alanı içindeki pek çok izleme noktasında aşılmış durumdadır. Bölgedeki yüksek nitrat konsantrasyonları ağırlıklı olarak tarımsal faaliyetler (aşırı azotlu gübre kullanımı) ve foseptik sızıntılarından kaynaklanmaktadır.

Belirtilen çalışmalara ek olarak organoklorlu ve organofosforlu pestisitler, herbisitler, fungusitler, karbamatlar, polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH), uçucu organik bileşikler, monomer bileşikler grubundaki bazı kimyasallar için de Antalya Halk Sağlığı Müdürlüğü laboratuvarında analizler yapılmıştır. Belirtilen gruplardaki kimyasallara ait analiz sonuçlarının büyük bir kısmı tayin limitlerinin altında tespit edilmiş olmakla birlikte tayin limitlerinin üzerinde tespit edilen kimyasallar da mevcuttur. Organofosforlu pestisit grubu içindeki Malathion için 3, 14, 24, 41 ve 48 numaralı kuyularda; organofosforlu pestisit grubu içindeki Chlorpyriphos-ethyl için 24, 31 ve 33 numaralı kuyularda; fungusitler grubu içindeki Tebuconazole için 10, 24 ve 33 numaralı kuyularda; fungusitler grubu içindeki Penconazole için 45 numaralı kuyuda; karbamatlar grubu içindeki Methomyl için 31 numaralı kuyuda tayin limitlerinin üzerinde konsantrasyonlar tespit edilmiştir. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik (Tarih: 17.02.2005, Resmi Gazete: 25730) kapsamında kaynak suları, içme ve kullanma suları için Aldrin, Dieldrin, Heptaklor, Heptaklor Epoksit için izin verilen sınır değer 0,03 µg/L'dir. Aldrin, Heptaklor, Heptaklor Epoksit için analizlerin gerçekleştirildiği Halk Sağlığı Laboratuvarı'nda geçerli olan tayin limiti 0,025 µg/L'dir ve tüm izleme noktalarındaki analiz sonuçları tayin limiti altında kalmıştır. Dieldrin için analizlerin gerçekleştirildiği Halk Sağlığı Laboratuvarı'nda geçerli olan tayin limiti 0,1 µg/L'dir ve tüm izleme noktalarındaki analiz sonuçları tayin limiti altında kalmıştır. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik kapsamında kaynak suları, içme ve kullanma suları için tek pestisit için izin verilen sınır değer 0,1 µg/L'dir. Çalışma bölgesinde yer alan üç adet izleme noktasında tek pestisit için tanımlanan sınır değer aşılmıştır. Sınır değeri aşan tek pestisit konsantrasyonları ve izleme noktaları aşağıdadır:

i. 24 numaralı kuyuda analiz edilen Chlorpyriphos-ethyl konsantrasyonu 0,136 µg/L

ii. 33 numaralı kuyuda analiz edilen Tebuconazole konsantrasyonu 0,139 µg/L

iii. 31 numaralı kuyuda analiz edilen Methomyl 0,170 µg/L

Sonuç olarak, çalışma bölgesindeki bazı kuyularda izlenen pestisit konsantrasyonları, içme-kullanma amaçlı kullanım için izin verilen limit değerlerin üzerindedir.

Antalya Halk Sağlığı Müdürlüğü laboratuvarında yapılan analizlerde sonuçların bazılarının tayin limitinin altında olmasından dolayı Akdeniz Üniversitesi BAP kapsamında yapılan bir proje ile 10-11 Mayıs 2016 tarihlerinde yapılan 4. Arazi çalışmasında alınan su numuneleri daha detaylı pestisit analizlerinin yapılabilmesi için özel bir laboratuvara gönderilmiştir. Bu laboratuvarda EPA 3510 c ve EPA 82710 D metotları kullanılarak GC-MS cihazında 35 adet pestisit etken madde analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerde kullanılan cihazın algılama sınırı (LOD) 3 ppt'dir. Analizler sonucu bazı kuyularda elde edilen pestisit değerleri Çizelge 4.12'de sunulmuştur. Çalışma bölgesinde kullanılan pestisitler için 100 ppt değerinin üzerinde konsantrasyon değerlerine rastlanmıştır. Analiz sonuçlarına göre yüksek konsantrasyonlara rastlanan pestisit etken maddelerine göre çizilen grafikler EK-1'de sunulmuştur.

Çizelge 4.12. Analiz edilen bazı pestisitler için tüm kuyulardan elde edilen en yüksek konsantasyon değerleri.

Pestisit adı	Konsantrasyon (ppt)
4,4'-DDE	8,17
4,4'-DDD	5,98
Aldrin	5,67
Captan	87,25
Chlorobenzilate	9,21
Diallate I	20,82
Diallate II	12,14
Dicofol	9,93
Dieldrin	131,06
Endosulfan I	20,72
Endosulfan II	27,13
Endrin	41,55

Çalışma bölgesinde mevcut durumda az sayıdaki izleme noktasındaki YAS'ta pestisit kirliliği tespit edilmiş olsa da gelecek dönemlerde pestisit açısından da YAS kirliliği söz konusu olabilecektir. Bu nedenle çevresel etkileri en az olan, yarılanma ömrü kısa ve YAS'a sızma potansiyeli düşük olan pestisitlerin mümkün olan en düşük dozlarda kullanımı sağlanmalıdır. Mevcut durumda ülkemizde pestisit kaynaklı sağlık risklerini önlemek ve tüketicinin yüksek seviyede korunmasını sağlamak üzere bitkisel ve hayvansal gıdalarda bulunmasına izin verilen pestisitlerin maksimum kalıntı limitlerinin uygulama usul ve esasları Türk Gıda Kodeksi Pestisitlerin Maksimum Kalıntı Limitleri Yönetmeliği'nde (Tarih: 25 Ağustos 2014, Sayı: 29099) belirtilmektedir. Bu yönetmelikte Türkiye'de kullanımı sonlandırılan yasaklı pestisitlerin listesi de tanımlanmıştır. Çalışma bölgesinde kullanıldığı tespit edilen Propargite ve Bromacil isimli aktif maddeleri içeren pestisitler, Türkiye'de kullanımı sonlandırılan yasaklı pestisitler içinde yer almaktadır.

Çizelge 4.13'te 10-11 Mayıs 2016 tarihi için 25 izleme noktasına ait bazı analiz sonuçlarının istatistiksel özeti ve ilgili yönetmelikteki limit değerler birlikte sunulmakta ve limit değerlere uygun olmayan analiz sonuçları koyu renkli olarak yazılmaktadır. EK-1'de ise tüm izleme noktaları için 10-11 Mayıs 2016 tarihli izleme çalışmasındaki analiz sonuçları verilmektedir. 10-11 Mayıs 2016 tarihli izleme çalışmasında bakteriyolojik parametrelere ait sonuçlar incelendiğinde bazı kuyularda (15, 16, 20, 26, 27, 29, 35, 36, 39, 41 ve 48 numaralı kuyular) fekal kontaminasyonun mevcut olduğu, *enterokok* ve *Escherichia coli* parametrelerinin analiz sonuçları ile tespit edilmiştir. Mikrobiyolojik analiz sonuçlarına göre 7, 15, 16, 20, 22, 24, 27, 29, 33, 35, 36, 39, 41, 44 ve 48 numaralı kuyularda bakteriyolojik kirlilik nedeni ile YAS'ın içme-kullanma amaçlı kullanımı uygun değildir.

Çizelge 4.13. 10-11 Mayıs 2016 tarihli izleme çalışması için tüm izleme noktalarına ilişkin bazı su kalitesi analiz sonuçlarının istatistiksel değerlendirmesi.

Parametre	Limit Değer*	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
Koliform Bakteri (cfu/100 mL)	0	0	**3000**	**200**	**631**
Enterokok (cfu/100 mL)	0	0	**2500**	**107**	**499**
Escherichia coli (cfu/100 mL)	0	0	**400**	**28**	**88**
TOC (mg/L)	-	0,32	0,69	0,43	0,08
Demir (µg/L)	<200	0,00	**316,63**	29,46	65,78
Bor (mg/L)	<1	0,008	0,135	0,026	0,031
Krom (µg/L)	<50	0,038	5,728	1,00	1,41
Nikel (µg/L)	<20	0,053	3,856	1,332	1,294
Kurşun (µg/L)	<10	0,038	0,243	0,038	0,095
Mangan (µg/L)	<50	0,01	**106,18**	5,80	22,05
Sodyum (mg/L)	<250	4,85	24,14	12,52	5,89
İletkenlik (µS/cm)	<2500	418	948	665,96	150,55
Arsenik (µg/L)	<10	0,29	**14,08**	2,14	2,95
Selenyum (µg/L)	<10	0,02	1,25	0,26	0,24
Alüminyum (µg/L)	<200	1,51	73,07	11,55	16,32
Sülfat (mg/L)	<250	2,08	153,34	31,53	35,48
Amonyum (mg/L)	<0,5	0,00	0,090	0,004	0,018
Klorür (mg/L)	<250	2,94	53,96	20,00	12,00
Nitrat (mg/L)	<50	0,09	**106,84**	46,24	30,65
Florür (mg/L)	<1,5	0,04	0,17	0,08	0,04
Nitrit (mg/L)	<0,5	0,01	0,01	0,01	0,00

* T.C. Sağlık Bakanlığı'nın İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmeliğinde tanımlanan içme-kullanma suyuna ilişkin limit değerler

Kimyasal analizler kapsamında EK-1'de sunulan parametreler içerisinde bazı izleme noktaları için elde edilen demir (2 numaralı kuyu), mangan (2 numaralı kuyu), nitrat (5, 7, 10, 14, 15, 16, 17, 33, 35, 36 ve 45 numaralı kuyular) ve arsenik (39 numaralı kuyu) konsantrasyonları T.C. Sağlık Bakanlığı'nın İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmeliğinde tanımlanan limit değerleri aşmıştır. Yönetmelikte belirtilen 50 mg/L nitrat konsantrasyonu limit değeri, çalışma alanı içindeki pek çok izleme noktasında aşılmış durumdadır. Bölgedeki yüksek nitrat konsantrasyonları ağırlıklı olarak tarımsal faaliyetler (aşırı azotlu gübre kullanımı) ve foseptik sızıntılarından kaynaklanmaktadır. Çalışma bölgesinin bir kısmında içme suyu dağıtım şebekesi ile içme ve kullanma suyu sağlanamamakta, buna bağlı olarak da YAS içme-kullanma amaçlı olarak da kullanılmaktadır. Elde edilen analiz sonuçlarına göre çalışma bölgesindeki kuyuların önemli bir kısmında hem bakteriyolojik kirlilik hem de yüksek nitrat konsantrasyonu mevcut olduğundan kontamine olmuş kuyulardan temin edilen YAS'ın içme-kullanma amaçlı olarak kullanılmaması gerekmektedir. Mevcut durumda, belirtilen bu sağlık riski bölge halkının bir kısmı tarafından göz ardı edilmekte ve YAS sulamanın yanı sıra içme-kullanma amaçlı olarak da kullanılmaktadır.

Kasım 2015 ve Mayıs 2016 dönemlerine ait koliform bakteri, Escherichia coli, demir, mangan ve arsenik parametrelerine ilişkin analiz sonuçları, izleme istasyonlarının lokasyonları ile ilişkilendirilerek CBS ortamında mekânsal kirlilik dağılımı haritaları oluşturulmuştur. Elde edilen kirlilik dağılımı haritaları Şekiller 7.20-24'te sunulmaktadır.

İzleme çalışmalarında su kalitesi ölçüm ve analizlerine ek olarak, sonbahar ve ilkbahar mevsimlerini temsil eden 18-19 Kasım 2015 ve 10-11 Mayıs 2016 tarihli izleme çalışmalarında tüm izleme noktalarından toprak numuneleri alınmıştır. Toprak analizleri çalışma sahası yakınında bulunan özel akredite bir laboratuvarda gerçekleştirilmiştir. Çizelge 4.14'te 18-19 Kasım 2015 tarihi için 25 izleme noktasına ait analiz sonuçlarının istatistiksel özeti verilmektedir. EK-1'de tüm izleme noktaları için 18-19 Kasım 2015 tarihli izleme çalışmasına ilişkin toprak analizi sonuçları sunulmuştur.

Birinci izleme dönemine ait toprak analizi sonuçları incelendiğinde tüm pH analiz sonuçlarının 7,05-7,90 aralığında kaldığı ve hafif alkali olduğu, ortalama tuzluluk değerinin %0,097 ve 25 izleme noktası içerisinde 20 tanesinin tuzsuz, 5 tanesinin ise hafif tuzlu olduğu, ortalama doygunluk değerinin %55,20 olduğu belirlenmiştir. Doygunluk değerlerinden elde edilen toprak bünyesi için sadece 4 izleme noktasında tınlı toprak, diğer 21 izleme noktası için killi tın toprak çeşidi tanımlanmıştır. Organik madde miktarı %0,60 ile %4,07 arasında kalmış olup 4 izleme noktası için çok az, 14 izleme noktası için az, 4 izleme noktası için orta, 2 izleme noktası için de iyi olarak sınıflandırılmıştır. Toplam N miktarı 1 izleme noktasında iyi, 1 izleme noktasında orta, 1 izleme noktasında az ve 22 izleme noktasında çok iyi olarak tanımlanmıştır. İnfiltrasyon hızı ise en düşük 0,13-0,50 cm/saat, (yavaş geçirgen) ile en yüksek 6,35-12,70 cm/saat (orta hızlı geçirgen) aralığında ölçülmüştür. İnfiltrasyon hızı, kirleticilerin YAS'a ulaşması ile ilgili önemli

bir bilgi sağlamaktadır ve izleme noktalarının büyük bir kısmı orta yavaş geçirgen olarak sınıflandırılmıştır.

Çizelge 4.14. 18-19 Kasım 2015 tarihli izleme çalışmasında 25 izleme noktasından alınan toprak numunelerinin analiz sonuçlarına ilişkin istatistiksel değerlendirme.

		pH	Tuzluluk (%)	Doygunluk (%)	Organik Madde (%)	Toplam N (%)	NH_4-N (%)	NO_3-N (%)
Kasım 2015	Ortalama	7,46	0,097	55,20	1,83	0,206	0,052	0,055
	Std. Sapma	0,21	0,065	6,03	0,90	0,074	0,015	0,017
	Minimum	7,05	0,007	43,00	0,60	0,084	0,017	0,028
	Maksimum	7,90	0,258	68,00	4,07	0,371	0,088	0,088

18-19 Kasım 2015 tarihli izleme çalışmasında analizi yapılan parametreler için korelasyon analizi gerçekleştirilmiştir. Korelasyon değerleri %95 güvenilirlik sınırlarında test edilmiştir. Çizelge 4.15'da toprak analizinden elde edilen sonuçlara ait korelasyon matrisi verilmiştir. Korelasyon matrisinde sunulan sonuçlar incelendiğinde, pH ve tuzluluk parametreleri arasında negatif bir korelasyonun mevcut olduğu görülmektedir. Organik madde ile doygunluk, Toplam N, NH_4-N ve NO_3-N parametreleri arasında pozitif korelasyon vardır. Benzer şekilde tuzluluk ile Toplam N, NH_4-N ve NO_3-N parametreleri arasında da pozitif korelasyon vardır. Toprak içindeki organik maddenin ayrışması/hidrolizi ile azot formları açığa çıkmaktadır. Toprakta besin tuzlarının artması ile tuzluluk değeri de artmaktadır.

Çizelge 4.15. 18-19 Kasım 2015 tarihli toprak analizi sonuçları için elde edilen korelasyon matrisi ($P<0,05$).

Parametre	pH	Tuzluluk (%)	Doygunluk (%)	Organik Madde (%)	Total N (%)	NH_4-N (%)	NO_3-N (%)
pH	**1**	-0,501	0,250	0,142	-0,205	-0,131	-0,139
Tuzluluk (%)	-0,501	**1**	0,081	-0,085	0,378	0,378	0,137
Doygunluk (%)	0,250	0,081	**1**	0,558	0,482	0,265	0,176
Organik Madde (%)	0,142	-0,085	0,558	**1**	0,830	0,575	0,504
Total N (%)	-0,205	0,378	0,482	0,830	**1**	0,746	0,562
NH_4-N (%)	-0,131	0,378	0,265	0,575	0,746	**1**	0,511
NO_3-N (%)	-0,139	0,137	0,176	0,504	0,562	0,511	**1**

Çizelge 4.16'da 10-11 Mayıs 2016 tarihi için 25 izleme noktasına ait analiz sonuçlarının istatistiksel özeti verilmektedir. EK-1'te tüm izleme noktaları için 10-11 Mayıs 2016 tarihli izleme çalışmasına ilişkin toprak analizi sonuçları sunulmuştur.

Çizelge 4.16. 10-11 Mayıs 2016 tarihli izleme çalışmasında 25 izleme noktasından alınan toprak numunelerinin analiz sonuçlarına ilişkin istatistiksel değerlendirme.

	pH	Tuzluluk (%)	Doygunluk (%)	Organik Madde (%)	Toplam N (%)	NH_4-N (%)	NO_3-N (%)	Bünye (%)		
								Kum (%)	Silt (%)	Kil (%)
Ortalama	7,44	0,11	57,36	2,29	0,20	0,05	0,06	49,04	37,59	13,37
Std. Sapma	0,27	0,07	6,94	0,99	0,06	0,02	0,03	9,78	10,89	10,13
Minimum	7,10	0,01	39,00	0,84	0,09	0,02	0,03	26,50	13,00	2,90
Maksimum	8,00	0,28	71,00	5,92	0,29	0,11	0,14	68,40	56,40	37,80

10-11 Mayıs 2016 tarihli izleme çalışmasına ilişkin toprak analizi sonuçları incelendiğinde 39 ve 44 numaralı kuyular hariç tüm pH analiz sonuçlarının 7,05-7,90 aralığında kaldığı ve hafif alkali olduğu, 39 ve 44 numaralı kuyulara ait topraklardaki pH analiz sonuçlarının 8,00 olduğu ve kuvvetli alkali olduğu tespit edilmiştir. Mayıs dönemine ilişkin izlemede ortalama tuzluluk değerinin %0,11 ve 25 izleme noktası içerisinde 14 tanesinin tuzsuz, 11 tanesinin ise hafif tuzlu olduğu tespit edilmiştir. Kasım dönemine ilişkin toprak analizi sonuçları ile karşılaştırıldığında hafif tuzlu numune sayısının Mayıs döneminde artış gösterdiği görülmektedir. Mayıs 2016 döneminde alınan toprak numuneleri için ortalama doygunluk değerinin %57,36 olduğu ve Kasım 2015 dönemine kıyasla bir miktar artış gerçekleştiği belirlenmiştir. Mayıs 2016 döneminde doygunluk değerlerinden elde edilen toprak bünyesi için sadece 2 izleme noktasında tınlı toprak, 2 izleme noktasında killi toprak ve diğer 21 izleme noktası için killi tın toprak çeşidi tanımlanmıştır. Mayıs 2016 döneminde toprak bünyesi için de ek analizler yapılmış olup, kum, kil ve silt yüzdeleri belirlenmiş ve bu değerlere bağlı olarak toprak bünyesi daha hassas olarak tanımlanmıştır. Mayıs 2016 dönemi için tüm numuneler için elde edilen analiz sonuçlarının ortalaması alındığında toprak bünyesi için %49,04 kum, %37,59 silt ve %13,37 kil oranı elde edilmiştir. Bünye sınıfları açısından 12 adet noktada kumlu tın, 6 noktada tınlı, 4 noktada milli tın, 1 noktada killi tın, 2 noktada kumlu killi tın sınıfı tanımlanmıştır. Mayıs 2016 dönemindeki toprak analizleri ile elde edilen toprak bünyesi sınıfları YAS kirlilik hassasiyeti analizi çalışmasında kullanılmıştır.

Mayıs 2016 döneminde organik madde miktarı %0,84 ile %5,92 arasında kalmış olup Kasım 2015 dönemine göre bir miktar artış göstermiştir. Organik madde miktarı, 1 izleme noktası için çok az, 12 izleme noktası için az, 8 izleme noktası için orta, 3 izleme noktası için iyi, 1 izleme noktası için çok iyi olarak sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırmalara göre Kasım 2015 dönemine göre topraktaki organik maddenin zenginleştiği görülmektedir. Mayıs 2016 döneminde Toplam N miktarı 1 izleme

noktasında iyi, 1 izleme noktasında orta, 2 izleme noktasında az ve 21 izleme noktasında çok iyi olarak tanımlanmıştır. Kasım 2015 ve Mayıs 2016 dönemlerindeki ortalama Toplam N miktarı açısından herhangi bir değişiklik tespit edilmemiştir. Mayıs 2016 döneminde infiltrasyon hızı ise <0,13 cm/saat, (çok yavaş geçirgen) ile 6,35-12,70 cm/saat (orta hızlı geçirgen) aralığında ölçülmüştür. İnfiltrasyon hızı, kirleticilerin YAS'a ulaşması ile ilgili önemli bir bilgi sağlamaktadır ve izleme noktalarının büyük bir kısmı orta yavaş geçirgen olarak sınıflandırılmıştır.

10-11 Mayıs 2016 tarihli izleme çalışmasında analizi yapılan parametreler için korelasyon analizi gerçekleştirilmiştir. Korelasyon değerleri %95 güvenilirlik sınırlarında test edilmiştir. Çizelge 4.17'de toprak analizinden elde edilen sonuçlara ait korelasyon matrisi verilmiştir. Korelasyon matrisinde sunulan sonuçlar incelendiğinde, pH ve tuzluluk parametreleri arasında negatif korelasyonun mevcut olduğu görülmektedir. Organik madde ile doygunluk, Toplam N, NH4-N ve NO3-N parametreleri arasında pozitif korelasyon vardır. Benzer şekilde tuzluluk ile Toplam N, NH_4-N ve NO_3-N parametreleri arasında da pozitif korelasyon vardır. Toprak içindeki organik maddenin ayrışması/hidrolizi ile azot formları açığa çıkmaktadır. Toprakta besin tuzlarının artması ile tuzluluk değeri de artmaktadır.

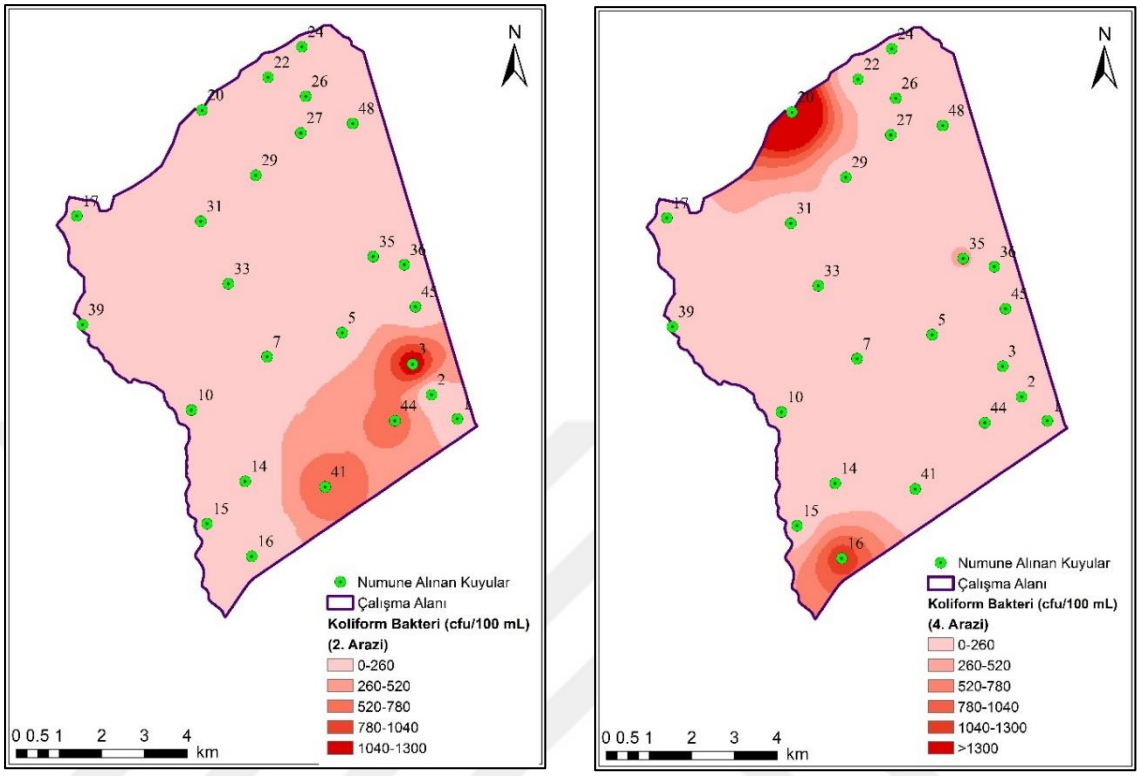
Çizelge 4.17. 10-11 Mayıs 2016 tarihli toprak analizi sonuçları için elde edilen korelasyon matrisi (P<0,05).

Parametre	pH	Tuzluluk (%)	Doygunluk (%)	Organik Madde (%)	Total N (%)	NH_4-N (%)	NO_3-N (%)
pH	**1**	-0.868	-0.091	0.356	-0.456	-0.097	-0.430
Tuzluluk (%)	-0.868	**1**	0.338	-0.171	0.651	0.102	0.420
Doygunluk (%)	-0.091	0.338	**1**	0.428	0.513	0.459	0.074
Organik Madde (%)	0.356	-0.171	0.428	**1**	0.475	0.412	0.210
Total N (%)	-0.456	0.651	0.513	0.475	**1**	0.375	0.600
NH_4-N (%)	-0.097	0.102	0.459	0.412	0.375	**1**	0.405
NO_3-N (%)	-0.430	0.420	0.074	0.210	0.600	0.405	**1**

4.10. Saha Ölçümleri ile Risk Haritalarının Karşılaştırılması

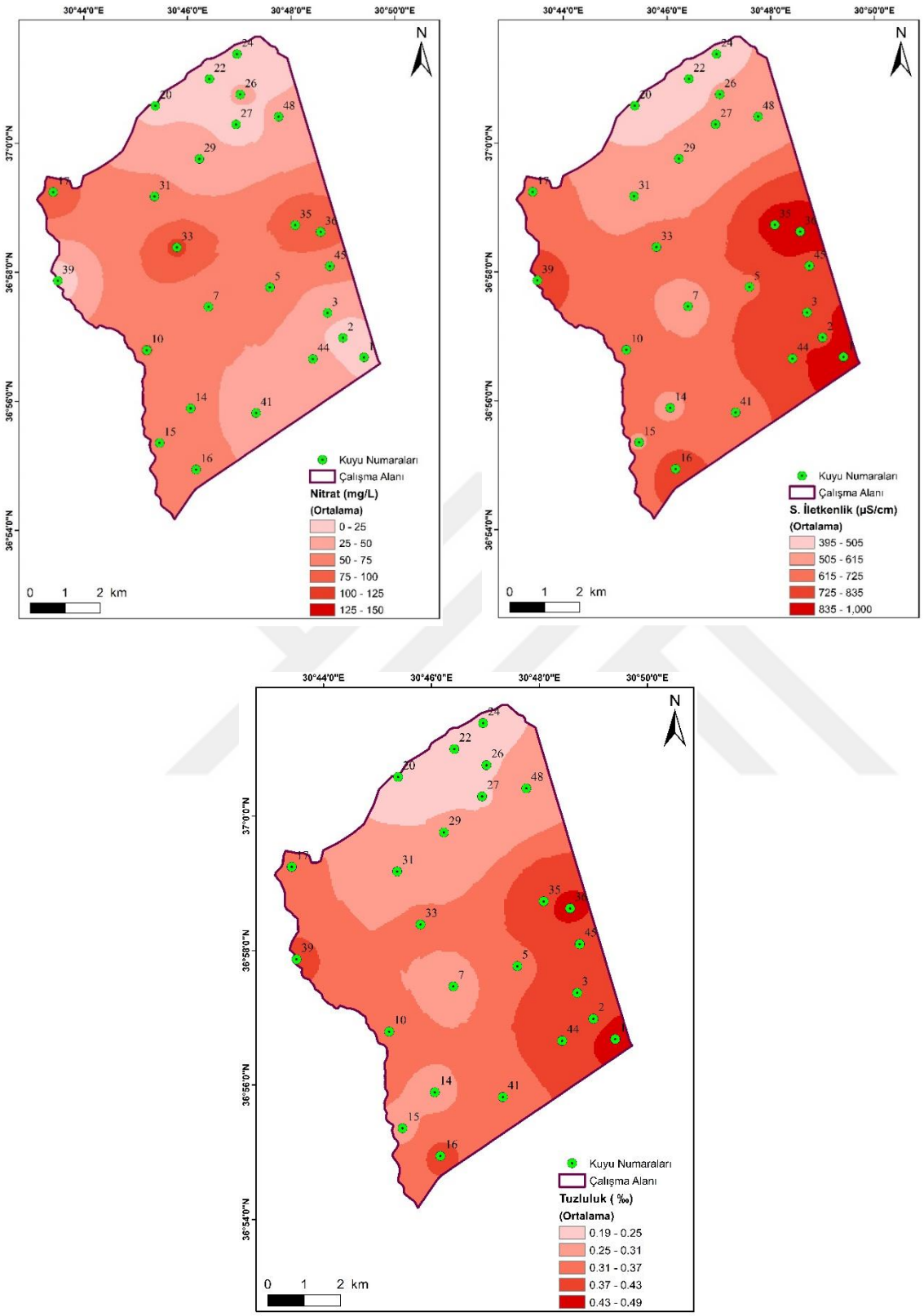
Tez çalışması kapsamında saha ölçümleri ile YAS kirlilik riski haritalarının karşılaştırılmasına yönelik çalışmalar da yapılmıştır. Bu karşılaştırmalar için özellikle karstik alanlar için tasarlanan PI ve COP kirlilik hassasiyeti metotları ile elde edilen risk haritaları kullanılmıştır. İzleme çalışması ile elde edilen nitrat konsantrasyonları, tuzluluk ve spesifik iletkenlik değerlerinin 4 izleme çalışmasından elde edilen yıllık ortalama mekânsal dağılım haritaları Şekil 4.72'de sunulmaktadır. Şekil 4.71'de ise 2. ve 4. izleme çalışmalarında tespit edilen koliform bakteri sayılarının mekânsal dağılım haritaları verilmektedir. Şekil 4.73-a'da sunulan risk haritasında PI kirlilik hassasiyeti metodu ve sera alanları için Kirletici İndeksi (HI)=30 değeri (Senaryo-0) kullanılmıştır. Şekil 4.73-b ve Şekil 4.73-c'de sırasıyla PI kirlilik hassasiyeti metodu ile Senaryo-1 ve Senaryo-2

için hazırlanan risk haritaları sunulmaktadır. Şekil 4.74'te COP kirlilik hassasiyeti metodu ve sera alanları için Kirletici İndeksi (HI)=30, Senaryo-1 (HI=45) ve Senaryo=2 (HI=60) için elde edilen risk haritaları verilmektedir.

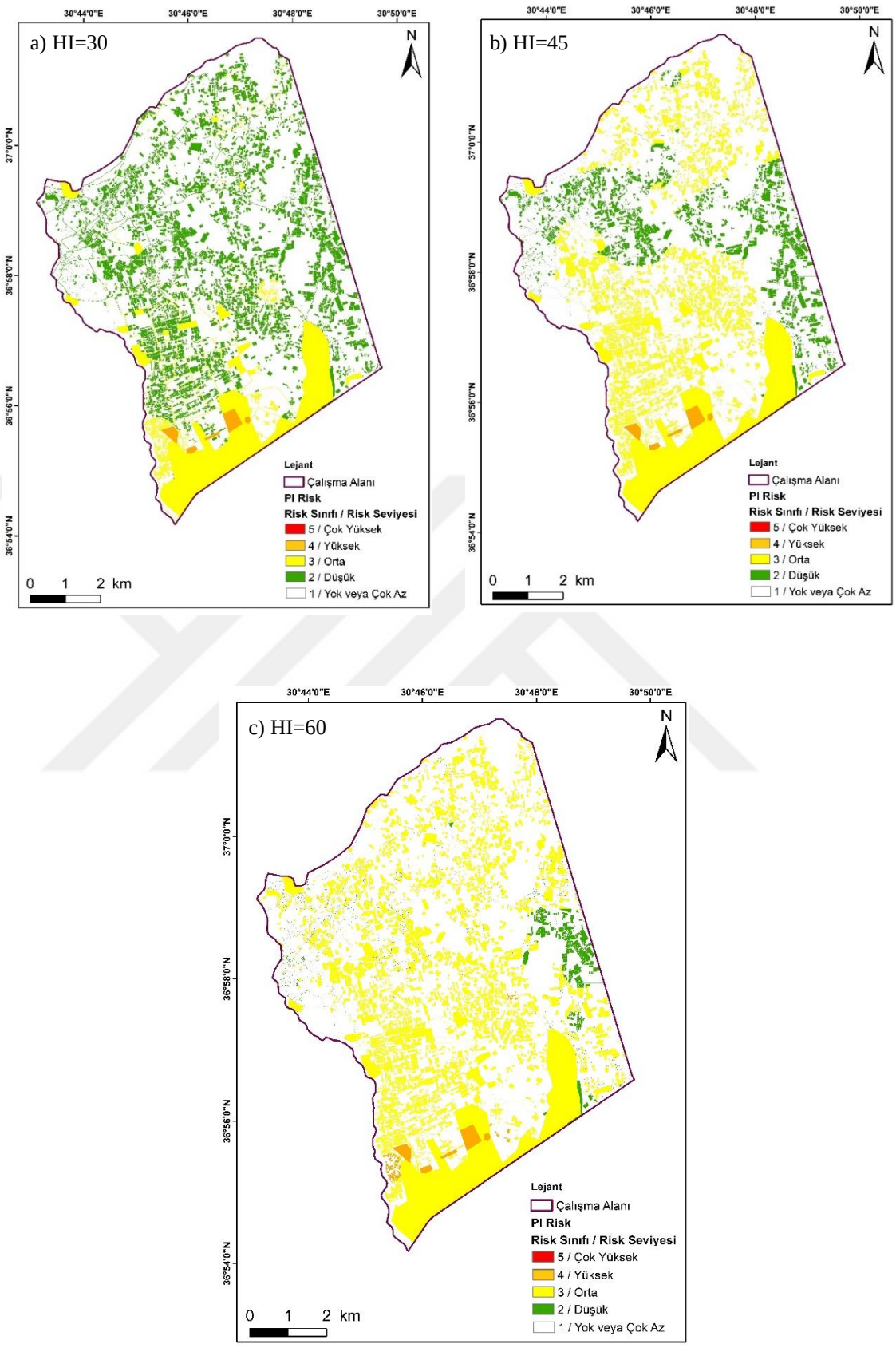


Şekil 4.71. Koliform bakteri değerlerinin mekânsal dağılım haritaları.

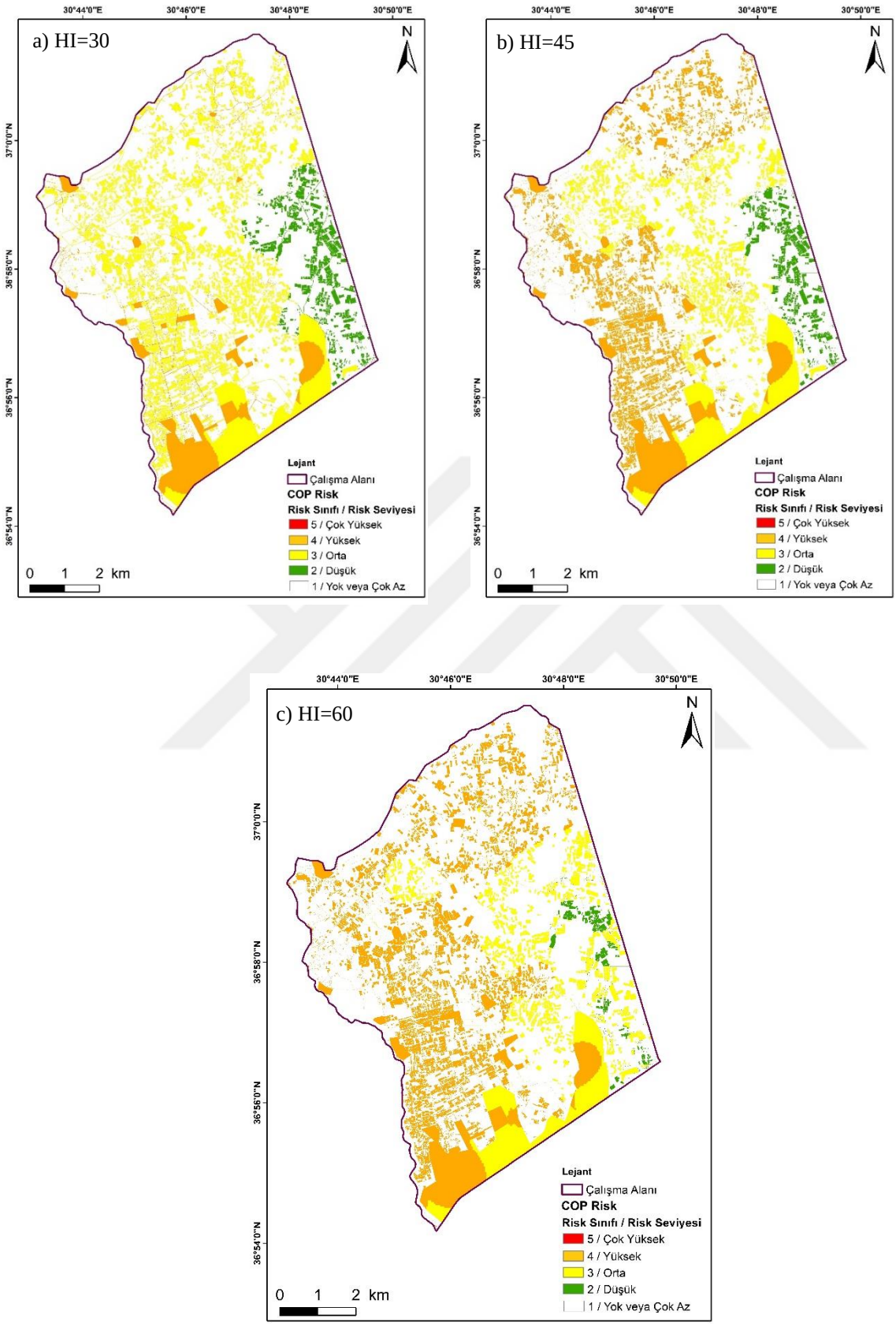
PI metodu ile oluşturulan ve Şekil 4.73-a'da sunulan risk haritasında izlendiği gibi sera alanları için Kirletici İndeksi (HI)=30 olarak tanımlandığı durumda, sera alanları için düşük risk yoğunluğu elde edilmekte ve çalışma bölgesinde yüksek nitrat konsantrasyonu bulunan bölgeler düşük risk düzeyinde belirlenmektedir. Şekil 4.73-b (Senaryo-1 HI=45) ve Şekil 4.73-c (Senaryo-2 HI=60)'de özellikle karstik alanda yer alan seralar için orta risk yoğunluğu elde edilmekte ve çalışma bölgesinde yüksek nitrat konsantrasyonu bulunan bölgeler için risk düzeyi orta seviyeye yükselmektedir. COP metodu ile oluşturulan ve Şekil 4.74-a'da sunulan risk haritasında izlendiği gibi sera alanları için Kirletici İndeksi (HI)=30 olarak tanımlandığı durumda karstik alanda bulunan sera alanları için orta risk yoğunluğu elde edilmekte ve çalışma bölgesinde yüksek nitrat konsantrasyonu bulunan bölgeler orta risk düzeyinde belirlenmektedir.



Şekil 4.72. Nitrat konsantrasyonları, tuzluluk ve spesifik iletkenlik değerlerinin yıllık ortalama mekânsal dağılım haritaları.



Şekil 4.73. PI kirlilik hassasiyeti metodu ile elde edilen risk haritası a) HI=30, b) HI=45, c) HI=60.



Şekil 4.74. COP kirlilik hassasiyeti metodu ile elde edilen risk haritası a) HI=30, b) HI=45, c) HI=60.

Şekil 4.74-b (Senaryo-1 HI=45) ve Şekil 4.74-c (Senaryo-2 HI=60)'de özellikle karstik alanda yer alan seralar için yüksek risk yoğunluğu elde edilmekte ve çalışma bölgesinde yüksek nitrat konsantrasyonu bulunan bölgeler için risk düzeyi yüksek seviyeye yükselmektedir. COP metodu ile karstik olmayan alanda yer alan seralar için daha düşük risk yoğunluğu tanımlanmaktadır. Çalışma bölgesindeki jeolojik formasyon farklılığının YAS kirlilik riski oluşumu üzerindeki etkisi COP metodu ile daha net bir şekilde ifade edilebilmektedir. Senaryo-1 ve Senaryo-2 koşulları için elde edilen risk haritaları Altınova çalışma bölgesinde yüksek nitrat konsantrasyonu bulunan alanları daha yüksek benzerlikle göstermektedir.

Çalışma bölgesinde ölçülen spesifik iletkenlik ve tuzluluk değerleri ile PI hassasiyet metodu ile hazırlanan risk haritaları karşılaştırıldığında, sera alanları için kirletici indeks değerinin yükseltildiği Senaryo-1 ve Senaryo-2 koşullarında yüksek spesifik iletkenlik ve tuzluluk değerleri ölçülen alanlar için risk yoğunluğu düşük seviyeden orta seviyeye yükselmiştir. COP metodu uygulamasında özellikle karstik alanda yer alan sera alanlarındaki risk yoğunluğu orta seviyeden yüksek seviyeye yükselmiş ve çalışma bölgesinde yüksek spesifik iletkenlik değerleri ölçülen bölgeler için risk düzeyi yüksek seviyeye, yüksek tuzluluk değerleri ölçülen bölgeler için risk düzeyi düşük seviyeden orta seviyeye yükselmektedir.

İzleme çalışmalarında tespit edilen koliform bakteri sayıları ile PI ve COP hassasiyet metotları ile hazırlanan risk haritaları karşılaştırıldığında, PI metodu uygulamasında, Senaryo-2 koşulunda yüksek koliform bakteri değerleri tespit edilen alanlar için risk yoğunluğu düşük seviyeden orta seviyeye yükselmiştir. COP metodu uygulamasında ise özellikle karstik alanda yer alan bölgeler için risk yoğunluğu orta seviyeden yüksek seviyeye yükselmiş ve çalışma bölgesinde yüksek koliform bakteri değerleri tespit edilen alanlar için risk düzeyi orta seviyeden yüksek seviyeye yükselmektedir.

5. SONUÇLAR

Tez çalışmasının amacı, yoğun tarımsal faaliyetlerin sürdürüldüğü karstik bölgelerdeki YAS kalitesinin korunması için YAS risk değerlendirmesinin yapılmasıdır. YAS risk değerlendirmesi çalışması kapsamında YAS'ın kirliliğe karşı gerçek hassasiyeti ve kirletici unsur (hazard) değerlendirmesi dikkate alınmıştır. Çalışmanın örnek uygulama sahası olarak seçilen Antalya-Altınova bölgesinde belirtilen yaklaşımın uygulaması gerçekleştirilmiştir. YAS kirlilik riski haritaları CBS kullanılarak elde edilmiştir. YAS kalitesinin korunması açısından tarımda kullanılan gübre ve pestisitler önem taşımaktadır. Çalışma sahası için su kalite ölçümleri, su ve toprak numunelerinin analiz edilmesi, saha incelemesi (kirletici unsurların belirlenmesi, bölge hidrojeolojisinin incelenmesi, vb.) çalışmaları ile karstik tarımsal bölgelerdeki YAS kirliliği sorunlarının çözümü adına kapsamlı bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

Çalışma kapsamında elde edilen temel sonuçlar ve Altınova bölgesi için YAS kalitesinin korunmasına ilişkin hususlar aşağıda sunulmaktadır:

Çalışma bölgesindeki YAS kalitesini belirlemek üzere mevsimsel olarak 25 noktada saha ölçümleri gerçekleştirilmiş, iki dönemde de detaylı su kalitesi analizleri yapılmıştır. Pek çok izleme noktasında nitrat, spesifik iletkenlik ve tuzluluk değerleri yüksektir. Bazı izleme noktalarında fekal kontaminasyonun mevcut olduğu, *enterokok* ve *Escherichia coli* parametrelerinin analiz sonuçları ile tespit edilmiştir. Bölgedeki YAS kaynakları, tarımsal sulamanın yanı sıra içme-kullanma suyu olarak da kullanılmaktadır. Bölgedeki bazı kısımlarda içme suyu dağıtım şebekesi bulunmadığından bu bölgelerde yaşayan halkın bir kısmı içme-kullanma suyunu sürekli olarak YAS'tan karşılamaktadır. Bölgedeki kentsel alanın büyük bir kısmında kanalizasyon bulunmaması ve yaygın şekilde foseptiklerin kullanılması YAS'ın nitrat ve diğer kirleticiler tarafından kirletilmesine sebep olmaktadır. Bölgede gerçekleştirilen detaylı su kalitesi analiz sonuçlarına göre, bazı izleme noktaları için elde edilen demir (1 ve 2 numaralı kuyular), mangan (2 numaralı kuyu), nitrat (5, 7, 10, 14, 15, 16, 17, 31, 33, 35, 36, 45 numaralı kuyular) ve arsenik (39 numaralı kuyu) konsantrasyonları, T.C. Sağlık Bakanlığı'nın İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmeliği'nde tanımlanan limit değerleri aşmıştır. Yönetmelikte belirtilen 50 mg/L nitrat konsantrasyonu limit değeri, çalışma alanı içindeki pek çok izleme noktasında aşılmış durumdadır. Bölgedeki yüksek nitrat konsantrasyonları ağırlıklı olarak tarımsal faaliyetler (aşırı azotlu gübre kullanımı) ve foseptik sızıntılarından kaynaklanmaktadır. Çalışma bölgesinde yer alan YAS kaynaklarının içme-kullanma amaçlı kullanımı uygun değildir.

Altınova çalışma bölgesinde YAS'ın kirliliğe karşı hassasiyeti DRASTIC-Genel, DRASTIC-Pestisit, SINTACS, PI, COP ve EPIK yöntemleri ile incelenmiş ve haritalandırılarak değerlendirilmiştir. YAS kirlilik hassasiyeti haritaları incelendiğinde, SINTACS metodu dışındaki tüm yöntemler ile çalışma bölgesinin %85,5'ini oluşturan ve karstik kireçtaşı formasyonuna sahip olan bölge için YAS kirlilik hassasiyeti yüksek

olarak belirlenmiştir. Çalışma sahasının doğu ve güney doğu kısmında yer alan karstik olmayan bölgede (pliyosen yaşlı Kurşunlu Formasyonunun kumtaşı ve konglomeralarının olduğu bölüm) YAS kirlilik hassasiyeti orta/düşük tanımlamaları ile daha düşük kirlilik hassasiyetine sahip olarak belirlenmiştir. Bu uygulamalarda sadece SINTACS yöntemi için jeolojik formasyona bağlı bir değişim gözlenmemiş olup, tüm çalışma bölgesi için yüksek YAS kirlilik hassasiyeti tanımlanmıştır. Bu sonuçlara bağlı olarak YAS kalitesini korumak amacıyla karstik alandaki faaliyetler için daha sıkı önlemlerin alınması gerekmektedir.

YAS kirlilik riski analizi için kirlilik hassasiyeti ve kirletici unsur çalışmalarından elde edilen sonuçlar birlikte değerlendirilmiştir. YAS kirlilik riski analizi çalışmasında, kullanılan YAS kirlilik hassasiyeti metotlarının genelinde kanalizasyon olmayan kentsel alanlar için yüksek YAS kirlilik riski, yollar ve endüstriyel alanlar için orta YAS kirlilik riski tanımlanmıştır. COP ve SINTACS metotları için jeolojik formasyon farklılığı YAS kirlilik riski haritasının oluşumunda önemli farklılıklar oluşturmuştur. Bu iki metot ile karstik alandaki seralar, yollar ve foseptikler için orta YAS kirlilik riski, karstik olmayan bölgedeki seralar, yollar ve foseptikler için ise düşük YAS kirlilik riski tanımlanmıştır. Ülkemizde henüz iyi tarım uygulamaları kapsamındaki gübre sınırlaması vb. önlemler uygulamaya başlanmadığı için tarımsal alanlardaki kirlilik etkisine yönelik senaryolar (seralardan kaynaklanabilecek olan kirleticilerin %50 ve %100 oranında artırılması) için de YAS kirlilik risk değerlendirmesi ve haritalaması yapılmıştır. Tanımlanan senaryolar için elde edilen sonuçlara göre karstik formasyonda yer alan sera alanlarındaki gübre vb. kirleticilerin kullanımı arttıkça, Altınova çalışma bölgesi için YAS kirlilik riski orta düzeyden yüksek seviyeye çıkmaktadır. Karstik olmayan alanda yer alan seralardaki gübre vb. kirleticilerin kullanımı arttıkça, bu bölgelerdeki YAS kirlilik riski de düşük düzeyden orta seviyeye çıkmaktadır. Altınova çalışma bölgesindeki karstik jeolojik formasyona sahip alan, tüm kirletici unsurlar açısından önemli düzeyde kirlenme tehdidi altındadır. Bölgede yaygın olarak gözlenen yoğun ve kontrolsüz tarımsal uygulamaların YAS kirlilik riski oluşturma potansiyeli yüksektir. Buna bağlı olarak bölgedeki YAS kirliliğinin azaltılması ve YAS kaynaklarının korunması için acil önlemlerin alınması gerekmektedir.

Bölgedeki yüksek YAS kirlilik hassasiyeti göz önüne alındığında, akaryakıt istasyonları, endüstriyel alanlar, hammadde ve kimyasal depolar ve yeraltı akaryakıt tanklarının bulunduğu lokasyonlar dikkatlice izlenmeli ve YAS'ta kirlilik oluşumunun engellenmesi için depolama yapılan tankların sızdırmazlığı tespit edilmelidir. Bölgede yapılacak sık denetimler ile belirtilen faaliyet alanlarından kaynaklanabilecek petrol ve petrol türevleri, kimyasal maddeler vb. için sızdırmaz şekilde depolama yapılması, ilgili atık veya tehlikeli atık yönetimi ilkelerinin uygulanması için tedbirler alınmalıdır.

Öneriler:

Çalışma bölgesinde içme suyu dağıtım şebekesi bulunmayan kısımlarda YAS kaynaklarının içme-kullanma amaçlı kullanımı ciddi sağlık riskleri oluşturmakta olduğundan ilgili kurumlar tarafından yerel halkın bu konuda bilgilendirilmesi önem taşımaktadır.

Çalışma bölgesinin büyük bir kısmında YAS'taki nitrat konsantrasyonlarının 50 mg/L değerinin üzerinde olduğu tespit edilmiştir. 23.12.2016 tarih ve 29927 sayılı "Hassas Su Kütleleri ile Bu Kütleleri Etkileyen Alanların Belirlenmesi ve Su Kalitesinin İyileştirilmesi Hakkında Yönetmelik"te Antalya Havzası için NHB'ler gösterilmiştir (Şekil 7.40). Çalışma bölgesinin Nitrata Hassas Bölge (NHB) olarak ilan edilmesi tarımsal kaynaklı nitrat kirliliğinin önlenmesi açısından son derece önemli ve önceliklidir. Buna bağlı olarak, çalışma bölgesinde Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı'nın yayımlamış olduğu "Sularda Tarımsal Faaliyetlerden Kaynaklanan Nitrat Kirliliğinin Önlenmesine Yönelik İyi Tarım Uygulamaları Kodu Tebliği"nde yer alan önlemler uygulanmalıdır. Bu kapsamda arazi yönetimi, gübreleme, seralarda gübre yönetimi, sulama başlıklarında çok önemli öneriler yer almaktadır. Bölgede bulunan yetiştiricilerin bu konuda bilgilendirilmeleri ve sıkı bir eğitim programının oluşturulması gerekmektedir.

YAS kalitesinin belirlenmesi için izleme noktalarının lokasyon seçimi ve yoğunluğu (sayı/alan) önemlidir. İzleme noktaları için elde edilen nitrat konsantrasyonları NHB tanımlanması için de belirleyici olmaktadır. AB üyesi olan bazı ülkelerde YAS kalitesi izlemesinde kullanılan örnekleme istasyonları sayıları 1000 km^2 alan için Belçika'da 99, Almanya'da 3, Danimarka'da 34, Fransa'da 5, İrlanda'da 1, Hollanda'da 33 ve İngiltere'de 13 olarak uygulanmaktadır (EC, 2011). Ülkemizde YAS kalitesi için optimum sayıda ve uygun lokasyonlarda izleme noktalarının seçimi için bilimsel yaklaşımlara ihtiyaç duyulmaktadır.

Ülkemizdeki NHB'ler ilgili kurumlar tarafından ilan edilmiştir (Tarih: 23.12.2016, Sayı:29927). NHB 50 mg/L'den fazla nitrat içeren ve önlem alınmadığı takdirde, belirlenen sınır değerde nitrat içerebilecek tüm yer üstü ve yer altı suları ile tarımsal kaynaklı kirlilikten dolayı ötrofik olduğu belirlenen ve gerekli tedbirler alınmazsa ötrofik hale gelebilecek tabii tatlı su göllerini, diğer tatlı su kaynaklarını, haliçleri ve kıyı sularını etkileyen bölgeler olarak tanımlanmıştır. NHB'lerin tanımlanmasında özellikle 50 mg/L nitrat değerine ulaşabilecek potansiyel alanları belirlemek için YAS kirlilik hassasiyeti, risk analizi, modelleme vb. yaklaşımları içeren yöntemlerin geliştirilmesi önem taşımaktadır.

Çalışmada uygulanan YAS kirlilik risk yoğunluğu çalışmasında kirleticilerin alıcıya taşınırken maruz kalabileceği reaktif süreçler çalışma önerisi ve kapsamı dışında olduğu için dikkate alınamamıştır. Belirtilen husus, gelecek çalışmalar için önemli bir öneri olarak değerlendirilmektedir.

6. KAYNAKLAR

Al Kuisi, M. El-Naqa A. and Hammouri, N. 2006. Vulnerability mapping of shallow groundwater aquifer using SINTACS model in the Jordan Valley area, Jordan, *Environmental Geology*, 50(5): 651-667.

Aller, L. Bennett, T. Lehr, J. H. Petty, R. H, and Hackett, G. 1987. DRASTIC: A standardised system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings, US EPA Report 600/2-87/035, Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory, Ada, Oklahoma, 1987.

Ampr, 2016. Antalya Master Plan Raporu", Hidrojeoloji Raporu, Bölüm 541, Sayfa 114.

Anane, M. Abidi, B. Lachaal, F. Limam, A. and Jellali, S. 2013. GIS-based DRASTIC, Pesticide DRASTIC and the Susceptibility Index (SI): comparative study for evaluation of pollution potential in the Nabeul-Hammamet shallow aquifer, Tunisia, *Hydrogeology Journal* 2013(21): 715–731.

Andreo, B. Goldscheider, N. Vadillo, I. Vias, J.M. Neukum, C. Sinreich, M. Jimenez, P. Brechenmacher, J. Carrasco, F. Hötzl, H. Perles, M.J. and Zwahlen, F. 2006. Karst groundwater protection: First application of a Pan-European Approach to vulnerability, hazard and risk mapping in the Sierra de Libar (Southern Spain), *Science of the Total Environment*, 357, 54–73.

Antonakos, A.K. and Lambrakis, N.J. 2007. Development and testing of three hybrid methods for the assessment of aquifer vulnerability to nitrates, based on the drastic model, an example from NE Korinthia, Greece, *Journal of Hydrology*, 333, 288–304.

Anonim 1: https://water.usgs.gov/edu/earthhowmuch.html, [Son erişim tarihi: 15.06.2017]

Anonim 2: http://www.dsi.gov.tr/toprak-ve-su-kaynaklari, [Son erişim tarihi:15.06.2017]

Anonim 3: http://www.antalya.gov.tr/turizm, [Son erişim tarihi: 12.01.2016]

Anonim 4: http://www.antalya.gov.tr/tarim-ve-hayvancilik, [Son erişim tarihi:12.01.2016]

Awawdeh, M. and Nawafleh, A. 2008. A GIS-based EPIK Model for Assessing Aquifer Vulnerability in Irbid Governorate, North Jordan, *Jordan Journal of Civil Engineering*, 2(3): 267-278.

Azzi, Y. Essahlaoui, A. El Ouali, A. and El Hmaidi, A. 2012. Evaluation of the Groundwater Vulnerability to the Pollution at the Middle Atlas Plateau (El Hajeb-

Ifrane Region) Based on Drastic Model and GIS. *Research Journal of Earth Sciences,* 4 (1): 01-04.

Baran, T. Dalkılıç, Y. ve Öziş, Ü. 2008. Antalya-Düden Havzası Su Kaynaklarının Geliştirilmesi, Derleme, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir

Büyükdemirci, A. H. 2012. Groundwater Vulnerability Assessment with DRASTIC Method: A Case-Study On Kırıkkale Plain, Turkey, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara.

Chenini, I. Zghibi, A. and Kouzana, L. 2015. Hydrogeological investigations and groundwater vulnerabilityassessment and mapping for groundwater resource protection and management: State of the art and a case study. *Journal of African Earth Sciences,* 109(2015): 11-26

Civita, M. 1994. Aquifer vulnerability maps to pollution, Pitagora Ed., Bologna, 1994.

Civita, M. and De Maio, M. 1997. SINTACS Un sistema parametrico per la valutazione e la cartografia per la valutazione della vulnerabilit`a degli acquiferi all'inquinamento, Metodologia e automazione, Pitagora Ed., Bologna, 191 pages.

Civita M. V. 2010. The Combined Approach When Assessing and Mapping Groundwater Vulnerability to Contamination, *Journal of Water Resource and Protection*, (2): 14-28.

COST 620 Final Raporu. 2003. Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate (karst) aquifers, François Zwahlen (Chairman, Editor in Chief), 297 pages.

Cummins, E. 2012. Assessment of the vulnerability of groundwater to pesticide inputs from Irish Agriculture, Final Report, Dapartment of Agriculture, Food and the Marine, 12 pages.

Daly, D. Dassargues, A. Drew, D. Dunne, S. Goldscheider, N. Neale, S. and Zwahlen, F. 2002. Main concepts of the European Approach for (karst) groundwater vulnerability assesment and mapping, *Hydrogeology Journal,* 10(2): 340-345.

Daly, D. Hötzl H. and De Ketelaere, D. 2004. Risk definition". In: Zwahlen F, Editor. Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate (karst) aquifers, EUR 20912. *Brussels7 European Commission, Directorate-General XII Science Research and Development*, 106-107.

De Ketelaere, D. Hötzl, H. Neukum, C. Civita, M. and Sappa, G. 2004. Hazard analysis and mapping". In: Zwahlen F, Editor. Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate (karst) aquifers, EUR 20912. *Brussels7 European*

Commission, Directorate-General XII Science, Research and Development, 86-105.

Doerfliger, N. and Zwahlen, F. 1997. EPIK: a new method for outlining of protection areas in karstic environment, In: International symposium and field seminar on "karst waters and environmental impacts", edited by: Günay, G. and Jonshon, A. I., Antalya, Turkey, Balkema, Rotterdam, 117–123.

Doerfliger, N. Jeannin, P. Y. and 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 Geology*, 39(2): 165–176.

DSİ 1985. Antalya-Kırkgöz Kaynakları ve Traverten Platosu Hidrojeolojik Etüt Raporu. Devlet Su İşleri, Ankara.

DSİ 2014, Türkiye'de Yeraltısuyu Sulama Faaliyetleri Yeraltısuyu Sulama Kooperatifleri, Orman ve Su İşleri Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltısuları Dairesi Başkanlığı, ANKARA

Ersoy, A.F. and Gültekin F. 2013. DRASTIC-based methodology for assessing groundwater vulnerability in the Gümüşhacıköy and Merzifon basin (Amasya, Turkey). *Earth Sciences Research Journal* 17(1): 33-40.

Ford, D.C. and Williams, P.W. 1989. Karst geomorphology and hydrology. Unwin Hyman, London, 601 pages.

Foster, S.S.D. 1987. Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy", In: Van Duijevenboden, W., Van Waegeningh, H.G. (Eds.), Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollutants, vol. 38. TNO Committee on Hydrogeological Research, Proceedings and Information, The Hague, 69–86.

Gogu, R.C. and Dassargues, A. 2000. Current trends and future challenges in groundwater vulnerability assessment using overly and index methods, *Environental Geology*, 39(6): 549–559.

Goldscheider, N. Klute, M. Sturm, S. and Hötzl, H. 2000. The PI method: a GIS-based approach to mapping groundwater vulnerability with special consideration of karst aquifers, *Zeitschrift fur Angewandte Geologie*, 46(3): 157-166.

Gupta, N. 2014. Groundwater Vulnerability Assessment using DRASTIC Method in Jabalpur District of Madhya Pradesh, *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 3(3): 36-43.

Güler, C. Kurt, M.A. and Korkut, R.N. 2013. Assessment of groundwater vulnerability to nonpoint source pollution in a Mediterranean coastal zone (Mersin, Turkey) under conflicting land use practices, *Ocean & Coastal Management*, 71, 141-152.

Günay, G. 1993. Karst hidrojeolojisi araştırmalarında uygulanan yeni yöntemler ve Türkiye'den örnekler, *İstanbul Üniversitesi, Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi, Jeoloji Eğitiminde 60. Yıl Özel Sayısı*, 8(1-2-3): 139-146.

Hailin, Y. Ligang, X. Chang, Y. and Jiaxing, X. 2011. Evaluation of Groundwater Vulnerability with Improved DRASTIC Method, *Procedia Environmental Sciences*, 10, 2690-2695.

Hammouri, N. and Naqa, A. 2008. GIS based Hydrogeological Vulnerability Mapping of Groundwater Resources in Jerash Area – Jordan, *Geofísica Internacional,* 47(2): 85-97.

Hötzl, H. Daly, D. De Ketelaere, D. Delporte, C. Liesch, T. Malik, P. Neukum, C. and Svasta, J. 2003. In: Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate (karst) aquifers, Final Report (COST A620), 106-120.

Huan, H. Wang, J. and Teng, Y. 2012. Assessment and validation of groundwater vulnerability to nitrate based on a modified DRASTIC model: A case study in Jilin City of northeast China, *Science of the Total Environment*, 440, 14–23.

İnan, N. 1985. Antalya travertenlerinin oluşumu ve özellikleri, *Cumhuriyet Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Yayınları*, Sivas.

Kapelj, S. Loborec, J. and Kapelj J. 2013. Assessment of aquifer intrinsic vulnerability by the SINTACS method, *Geologia Croatica*, 66(2): 119-128.

Kourgialas, N. Karatzas, G.P. and Koubouris, G.C. 2017. A GIS policy approach for assessing the effect of fertilizers on the quality of drinking and irrigation water and wellhead protection zones (Crete, Greece), *Journal of Environmental Management*, 189, 150-159.

Leone, A. Ripa, M.N. Uricchio, V. Deak, J. and Vargay, Z. 2009. Vulnerability and risk evaluation of agricultural nitrogen pollution for Hungary's main aquifer using DRASTIC and GLEAMS models, *Journal of Environmental Management*, 90, 2969–2978.

Levy, W. Pandelova, M. Henkelmann, B. Bernhöft, S. Fischer, N. Antritter, F. and Schramm, K.W. 2017. Persistent organic pollutants in shallow percolated water of the Alps Karst system (Zugspitze summit, Germany), *Science of The Total Environment*, 579, 1269-1281.

Leyland, R.C. 2008. Vulnerability mapping in karst terrains, exemplified in the wider Cradle of Humankind World Heritage Site, M.Sc. Thesis, University of Pretoria, South Africa, 114 pages.

Margat, J. 1968. Contamination vulnerability mapping of groundwater, *Bureau de Recherches Geologiques et Minieres,* Orleans.

Masoompour, S.J. Bagheri, S. Davoodi, M. Yarahmadi, D. Jafari-Aghdam, M. and Soltani, M. 2013. Assessing and Mapping the Vulnerability of Karstic Aquifer Using GIS and COP Model, *Global NEST Journal*, 15(3): 384-393.

Mimi, Z.A. and Assi, A. 2009. Intrinsic vulnerability, hazard and risk mapping for karst aquifers: A case study, *Journal of Hydrology,* 364, 298–310.

Muhammad, A. M. Zhonghua, T. Dawood, A. S. and Earl B. 2014. Evaluation of local groundwater vulnerability based on DRASTIC index method in Lahore, Pakistan. *Geofísıca Internacıonal,* 2015 (54-1): 67-81.

Muhammetoğlu, H. Muhammetoglu, A. and Soyupak, S. 2002. Vulnerability of Groundwater to Pollution from Agricultural Diffuse Sources : A Case Study, *Water Science and Technology*, 45(9): 1-7.

Muhammetoğlu, A. and Uslu, B. 2007. Application of environmental impact quotient model to Kumluca region, Turkey to determine environmental impacts of pesticides, *Water Science and Technology*, 56(1): 139–14.

Muhammetoğlu, A. Durmaz, S. and Uslu, B. 2010. Evaluation of the Environmental Impact of Pesticides by Application of Three Risk Indicators, *Environmental Forensics*, 11, 179–186.

Muhammetoğlu, A. Özyurt, N. N. Muhammetoğlu, H. Yenilmez, F. Akpınar, M. ve Çil, A. 2017. Yeraltısuyu Risk Değerlendirmesi ve Pestisit Risk İndikatörleri Kullanılarak Tarımsal Karstik Bölgelerdeki Yeraltısuyu Kalitesinin Entegre Yönetimi. TÜBİTAK 114Y696 nolu Proj Sonuç Raporu

Muluk, Ç.B. Kurt, B. Turak, A. Türker A. Çalışkan M.A. Balkız, Ö. Gümrükçü S. Sarıgül G. ve Zeydanlı, U. 2013. Türkiye'de Suyun Durumu ve Su Yönetiminde Yeni Yaklaşımlar: Çevresel Perspektif. İş Dünyası ve Sürdürülebilir Kalkınma Derneği-Doğa Koruma Merkezi.

Nalbantçılar, M.T. Güzel, A. and Durduran S.S. 2009. Assessment of Groundwater Vulnerability Contamination Potential of Konya, Turkey, Using Hydrogeological Specifications and GIS. *Asian Journal of Chemistry*. 21(4): 2925-2934.

Nick, A. 2011. Development of a Groundwater Information & Management Program for the Lusaka Groundwater Systems, Hannover: Federal Institute for Geosciences and Natural Resources.

NRC 1993. Ground Water Vulnerability Assessment. National Research Council, *National Academy Press*, Washington, D.C., 210 p.

Özyurt, N.N. 2008. Residence time distribution in the Kirkgoz karst springs (Antalya-Turkey) as a tool for contamination vulnerability assessment, *Environmental Geology*, 53, 1571–1583.

Pacheco, F.A.L. and Fernandes, L.F.S. 2013. The multivariate statistical structure of DRASTIC model, *Journal of Hydrology*, 476, 442–459.

Pisciota, A. Cusimano, G. and Favara, R. 2015. Groundwater nitrate risk assessment using intrinsic vulnerability methods: A comparative study of environmental impact by intensive farming in the Mediterranean region of Sicily, Italy. *Journal of Geochemical Exploration*. 156(2015): 89-100.

Polemio, M. Casarano, D. and Limoni, P.P. 2009. Karstic aquifer vulnerability assessment methods and results at a test site (Apulia, southern Italy), *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9, 1461–1470.

Rahman, A. 2008. A GIS based DRASTIC model for assessing groundwater vulnerability in shallow aquifer in Aligarh, India, *Applied Geography*, 28, 32–53.

Ravbar, N. and Goldscheider, N. 2007. Proposed Methodology of Vulnerability and Contamination Risk Mapping for the Protection of Karst Aquifers in Slovenia, *Acta Carsologica*, 36(3): 397-411.

Saby, M. Larocque, M. Pinti, D. L. Barbecot, F. Gagné, S. Barnetche, D. and Cabana, H. 2017. Regional assessment of concentrations and sources of pharmaceutically active compounds, pesticides, nitrate, and E-coli in post-glacial aquifer environments (Canada), *Science of The Total Environment*, 579, 557-568.

Samake, M. Hlaing, Z.T.W. Ndoh Mbue, I. Kasereka, K. and Balogun, W.O. 2011. Groundwater Vulnerability Assessment in Shallow Aquifer in Linfen Basin, Shanxi Province, China Using DRASTIC Model, *Journal of Sustainable Development*, 4(1): 53-71.

Sener, E. Sener, S. and Davraz, A. 2009. Assessment of aquifer vulnerability based on GIS and DRASTIC methods: a case study of the Senirkent-Uluborlu Basin (Isparta,Turkey), *Hydrogeology Journal*, 17(89): 2023-2035.

Sener, E. and Davraz, A. 2013. Assessment of groundwater vulnerability based on a modified DRASTIC model, GIS and an analytic hierarchy process (AHP) method:

the case of Egirdir Lake basin (Isparta, Turkey), *Hydrogeology Journal*, 21(3): 701-714.

Şenel, M. 1997. 1:100 000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, No:11, Isparta-K11 Paftası. Ankara: MTA Jeoloji Etüdleri Dairesi.

Shrestha, S. Kafle, R. and Pandey, V.P. 2017. Evaluation of index-overlay methods for groundwater vulnerability and risk assessment in Kathmandu Valley, Nepal, *Science of The Total Environment*, 575, 779-790.

Türkay, Z. 2015. Köyceğiz-Dalyan Havzasının Yeraltı Suyu Kirlenme Potansiyelinin DRASTIC Yöntemi Kullanılarak Belirlenmesi. Yüksek Lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 119 s.

Varol, S. O. and Davraz, A. 2010. Hydrogeological investigation of Sarkikaraagac Basin (Isparta, Turkey) and groundwater vulnerability, *Water International*, 35(2): 177-194.

Vias, J.M. Andreo, B. Perles, M.J. Carrasco, F. Vadillo, I. and Jimenez, P. 2006. Proposed Method for Groundwater Vulnerability Mapping in Carbonate (Karstic) aquifers: the COP method: Application in Two Pilot Sites in Southern Spain, *Hydrogeology Journal*, 14(6): 1-14.

Vrba, J. and Zaporozec, A. 1994. Guidebook on Mapping Groundwater Vulnerability, Hannover, Heinz Heise, Germany, 131 p.

Yıldırım, M. and Topkaya, B. 2007. Groundwater Protection: A Comparative Study of Four Vulnerability Mapping Methods, *Clean*, 35(6): 594-600.

Wang, J. He, J. and Chen, H. 2012. Assessment of groundwater contamination risk using hazard quantification, a modified DRASTIC model and groundwater value Beijing Plain, China, *Science of the Total Environment*, 432, 216–226.

Zhai, Y. Zhao, X. Teng, Y. Li, X. Zhang, J. Wu, J. and Zuo, R. 2017. Groundwater nitrate pollution and human health risk assessment by using HHRA model in an agricultural area, NE China, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 137, 130-142.

Zhao, Y. De Maio, M. and Suozzi, E. 2013. Assessment of Groundwater Potential Risk by Agricultural Activities in North Italy, *International Journal of Environmental Science and Development*, 4(3): 286-290.

Zwahlen, F. 2003. Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate (karst) aquifers. Scope-Goals-Results", European Commision, Cost Action 620, *Directorate-General, Science, Research and Development*, 39 pages.

Zwahlen, F. 2004. (Ed.) Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate (karst) aquifers, Final Report (COST action 620), European Commission, Brussels, 315.

7. EKLER

EK-1

Çizelge 7.1. Birinci izleme çalışmasına ait saha ölçüm sonuçları (6-7 Ağustos 2015).

Kuyu Numarası	İzleme Noktası	Sıcaklık (°C)	TÇM (mg/L)	pH	ÇO (mg/L)	Spesifik İletkenlik (µS/cm)	Tuzluluk (‰)	Bulanıklık (NTU)	Nitrat (mg NO3-/L)
1	1	22,00	604,13	6,44	2,72	944	0,47	7,68	21,35
2	2	23,00	503,44	6,51	1,94	787	0,39	2,01	0,33
3	3	23,80	476,17	6,52	2,78	744	0,36	0,45	2,66
5	4	22,40	439,46	6,90	7,72	687	0,34	2,67	72,80
7	5	21,20	334,58	7,02	7,82	523	0,25	1,18	50,85
10	6	22,10	447,85	6,89	7,06	700	0,34	0,82	79,05
14	7	21,20	358,70	7,12	8,55	560	0,27	1,46	50,50
15	8	21,70	396,46	7,11	8,19	619	0,30	2,21	54,10
16	9	22,00	486,66	7,06	8,36	760	0,37	2,27	58,70
17	10	19,90	445,75	6,93	8,99	696	0,34	2,75	86,98
20	11	20,40	264,31	6,76	8,73	413	0,20	0,52	21,54
22	12	19,80	304,16	6,74	8,44	475	0,23	0,33	2,40
24	13	20,10	299,97	6,82	8,77	469	0,23	0,70	4,70
26	14	21,20	321,99	6,93	9,05	503	0,24	0,74	33,52
27	15	20,30	318,84	6,99	8,50	498	0,24	4,87	15,21
29	16	20,70	326,19	6,95	8,68	510	0,25	0,80	35,47
31	17	20,80	351,36	7,03	8,68	549	0,27	0,78	55,86
33	18	21,10	444,70	7,04	8,85	695	0,34	2,34	128,30
35	19	22,70	557,98	7,04	7,96	872	0,43	3,08	84,30
36	20	22,60	593,64	6,84	6,03	928	0,46	4,03	99,35
39	21	21,10	514,98	7,05	7,14	805	0,40	0,43	21,50
41	22	20,90	439,46	6,75	8,87	687	0,34	0,48	33,80
44	23	20,60	542,25	6,64	4,83	847	0,42	1,30	51,00
45	24	24,00	504,49	6,78	2,06	788	0,39	0,77	49,60
48	25	21,30	367,09	6,81	8,34	574	0,28	5,60	28,20

Çizelge 7.2. İkinci izleme çalışmasına ait saha ölçüm sonuçları (18-19 Kasım 2015).

Kuyu Numarası	İzleme Noktası	Sıcaklık (°C)	TÇM (mg/L)	pH	ÇO (mg/L)	Spesifik İletkenlik (µS/cm)	Tuzluluk (‰)	Bulanıklık (NTU)	Nitrat (mg NO3-/L)	Derinlik (m)
1	1	21,00	621,96	7,09	3,48	972	0,48	16,20	21,76	19,52
2	2	20,60	524,42	7,27	2,01	819	0,40	7,39	0,25	23,40
3	3	21,10	553,78	7,26	3,41	865	0,43	1,69	45,86	18,00
5	4	19,60	466,73	7,54	8,35	729	0,36	1,47	79,47	18,09
7	5	19,00	345,07	7,37	8,77	539	0,26	0,55	51,38	42,60
10	6	18,40	473,02	7,17	7,46	739	0,36	0,35	74,09	39,02
14	7	18,20	388,07	7,23	8,91	606	0,30	0,54	52,70	30,90
15	8	18,00	406,95	7,23	8,69	636	0,31	0,76	61,52	30,13
16	9	19,90	509,73	7,19	8,10	796	0,39	0,66	60,42	27,87
17	10	19,10	412,19	7,26	8,79	644	0,32	1,03	87,32	41,36
20	11	19,00	273,75	7,40	8,76	428	0,21	0,48	17,71	36,88
22	12	18,60	285,28	7,32	8,77	446	0,22	0,45	5,12	33,99
24	13	19,50	302,06	7,27	8,26	472	0,23	1,04	4,94	38,19
26	14	19,00	323,04	7,29	8,56	505	0,25	0,55	16,65	21,97
27	15	20,00	325,14	7,22	8,48	508	0,25	1,43	15,41	16,09
29	16	19,70	335,63	7,28	8,48	524	0,26	0,51	34,66	15,31
31	17	19,00	358,70	7,30	8,88	560	0,27	0,32	57,68	31,35
33	18	18,60	447,85	7,27	9,18	700	0,34	0,80	95,70	38,70
35	19	20,40	556,93	7,15	7,66	870	0,43	1,68	86,17	17,05
36	20	20,70	591,54	7,06	6,37	924	0,46	2,43	98,56	21,56
39	21	19,10	512,88	7,11	7,31	801	0,39	0,43	8,36	40,34
41	22	20,00	413,24	7,29	7,98	646	0,32	0,65	35,41	34,45
44	23	20,00	545,39	7,06	4,36	852	0,42	0,63	47,41	31,41
45	24	21,20	527,56	7,17	5,92	824	0,41	0,47	38,92	22,90
48	25	19,30	371,29	7,18	8,06	580	0,28	0,95	26,92	13,76

Çizelge 7.3. Üçüncü izleme çalışmasına ait saha ölçüm sonuçları (9-10 Şubat 2016).

Kuyu Numarası	İzleme Noktası	Sıcaklık (°C)	TÇM (mg/L)	pH	ÇO (mg/L)	Spesifik İletkenlik (µS/cm)	Tuzluluk (‰)	Bulanıklık (NTU)	Nitrat (mg NO3-/L)	Derinlik (m)
1	1	19,70	603,08	7,03	3,66	942	0,47	22,30	20,30	20,00
2	2	19,30	545,39	7,14	2,36	852	0,42	15,50	0,59	22,09
3	3	20,00	628,25	7,16	4,27	982	0,49	3,23	58,05	12,24
5	4	18,80	454,14	7,39	8,23	710	0,35	4,25	71,70	19,41
7	5	20,50	326,19	7,22	8,23	510	0,25	1,50	48,85	43,12
10	6	18,80	453,10	7,08	7,28	708	0,35	1,26	72,00	40,74
14	7	18,00	385,97	7,20	4,09	603	0,29	7,74	50,77	32,46
15	8	17,70	381,77	7,14	8,57	597	0,29	0,52	52,55	31,61
16	9	18,80	509,73	7,15	8,06	796	0,39	1,67	60,60	30,08
17	10	18,20	464,63	7,21	8,86	726	0,36	1,10	100,85	42,52
20	11	19,60	268,50	7,35	8,60	420	0,20	1,05	20,45	38,21
22	12	19,00	303,11	7,29	7,64	474	0,23	2,00	2,22	35,26
24	13	18,00	301,01	7,17	9,05	470	0,23	0,95	4,81	39,42
26	14	18,40	323,04	7,30	8,75	505	0,25	0,37	17,55	24,08
27	15	18,50	327,24	7,09	8,63	511	0,25	0,55	12,70	17,12
29	16	18,90	326,19	7,20	8,59	510	0,25	0,76	34,25	16,42
31	17	20,40	359,75	7,27	8,56	562	0,27	3,51	54,25	32,73
33	18	18,80	409,04	7,18	8,27	639	0,31	3,32	108,70	40,00
35	19	19,80	554,83	7,07	7,88	867	0,43	1,46	83,30	17,66
36	20	21,10	569,52	7,18	6,67	890	0,44	11,70	104,20	21,49
39	21	17,90	475,12	7,11	8,12	742	0,36	0,47	3,13	41,78
41	22	18,60	421,63	7,24	8,33	659	0,32	1,46	37,50	27,15
44	23	18,60	524,42	7,10	4,87	819	0,40	4,41	42,80	33,15
45	24	20,80	513,93	7,10	4,12	803	0,39	2,04	71,60	20,91
48	25	18,90	359,75	7,25	8,40	562	0,27	11,80	25,45	14,80

Çizelge 7.4. Dördüncü izleme çalışmasına ait saha ölçüm sonuçları (10-11 Mayıs 2016).

Kuyu Numarası	İzleme Noktası	Sıcaklık (°C)	TÇM (mg/L)	pH	ÇO (mg/L)	Spesifik İletkenlik (µS/cm)	Tuzluluk (‰)	Bulanıklık (NTU)	Nitrat (mg NO3-/L)	Derinlik (m)
1	1	21,40	618,81	6,95	3,56	967	0,48	2,58	20,40	20,65
2	2	20,80	523,37	7,05	1,86	818	0,40	1,24	0,20	22,48
3	3	21,30	480,37	7,19	1,98	751	0,37	0,83	27,30	18,40
5	4	21,90	445,75	7,35	7,53	696	0,34	3,10	64,10	20,49
7	5	21,80	348,21	7,24	8,21	544	0,26	0,95	53,70	44,91
10	6	19,40	442,61	7,04	7,28	692	0,34	0,55	77,30	42,23
14	7	19,50	388,07	7,06	8,33	606	0,30	0,53	62,50	33,04
15	8	19,40	371,29	7,08	8,60	580	0,28	0,57	52,00	33,04
16	9	19,70	498,20	7,06	7,90	778	0,38	5,88	63,85	31,27
17	10	20,00	416,39	7,10	8,45	651	0,32	4,55	87,60	44,20
20	11	20,00	265,35	7,29	8,48	415	0,20	0,94	22,10	39,46
22	12	20,20	305,21	7,15	8,08	477	0,23	1,77	2,22	36,47
24	13	19,50	297,87	7,15	8,65	465	0,23	0,40	4,84	40,76
26	14	20,60	333,53	7,28	8,67	521	0,25	0,83	49,25	24,37
27	15	19,70	326,19	7,12	8,33	510	0,25	1,86	14,25	18,43
29	16	19,60	331,43	7,14	8,36	518	0,25	0,51	34,30	19,33
31	17	20,10	351,36	7,19	8,17	549	0,27	1,20	54,40	Ölçülemedi
33	18	20,20	394,36	7,14	8,70	616	0,30	1,49	84,30	43,00
35	19	21,50	559,03	7,28	8,25	873	0,43	0,85	88,40	19,37
36	20	21,40	580,00	6,87	6,14	906	0,45	2,47	105,30	23,17
39	21	20,00	512,88	6,92	5,81	801	0,39	0,67	25,20	43,22
41	22	19,70	427,92	7,08	8,01	669	0,33	0,74	39,25	28,52
44	23	19,80	518,12	6,95	3,80	810	0,40	2,12	41,20	34,35
45	24	22,30	529,66	7,06	4,39	828	0,41	0,62	51,80	27,63
48	25	19,70	360,80	7,07	7,98	564	0,27	1,25	23,85	Ölçülemedi

Çizelge 7.5. 18-19 Kasım 2015 tarihine ait su kalitesi analiz sonuçları (Mikrobiyolojik Analizler).

Kuyu No.	**İzleme No.**	**Koliform Bakteri (cfu/100 mL)**	**Toplam Koloni Sayısı (cfu/mL)**	***C.perfringens* (cfu/100 mL)**	***Enterokok* (cfu/100 mL)**	***E. coli* (cfu/100 mL)**
1	1	80	15	0	0	14
2	2	11	2	1	0	0
3	3	1300	80	3	0	0
5	4	28	0	0	0	0
7	5	30	15	0	0	1
10	6	0	2	0	0	0
14	7	30	300	0	10	0
15	8	2	6	0	0	0
16	9	5	15	0	0	0
17	10	0	3	0	0	0
20	11	0	1	0	0	0
22	12	0	2	0	0	0
24	13	4	6	0	1	2
26	14	0	1500	0	0	0
27	15	0	0	0	0	0
29	16	15	16	1	2	0
31	17	12	8	0	11	3
33	18	90	2	0	0	0
35	19	60	6	0	0	0
36	20	110	30	0	0	0
39	21	3	0	0	1	0
41	22	750	60	0	20	0
44	23	650	45	0	24	2
45	24	0	104	0	0	0
48	25	5	4	0	0	0

Çizelge 7.6. 18-19 Kasım 2015 tarihine ait su kalitesi analiz sonuçları (Fiziksel-Kimyasal Analizler).

Kuyu No.	İzleme No.	Koku	Tat	Renk	pH	Bulanıklık	S. İletkenlik (µS/cm)	TOC (mg/L)
1	1	Uygun	Uygun	Uygun	7,07	Uygun	854	1,290
2	2	Uygun	Uygun	Uygun	7,16	Uygun	720	1,340
3	3	Uygun	Uygun	Uygun	7,27	Uygun	751	1,020
5	4	Uygun	Uygun	Uygun	7,45	Uygun	649	0,930
7	5	Uygun	Uygun	Uygun	7,31	Uygun	469	0,860
10	6	Uygun	Uygun	Uygun	7,04	Uygun	642	0,900
14	7	Uygun	Uygun	Uygun	7,20	Uygun	524	0,880
15	8	Uygun	Uygun	Uygun	7,15	Uygun	561	0,880
16	9	Uygun	Uygun	Uygun	7,12	Uygun	702	1,030
17	10	Uygun	Uygun	Uygun	7,20	Uygun	581	0,890
20	11	Uygun	Uygun	Uygun	7,34	Uygun	377	0,830
22	12	Uygun	Uygun	Uygun	7,27	Uygun	397	0,900
24	13	Uygun	Uygun	Uygun	7,21	Uygun	421	0,410
26	14	Uygun	Uygun	Uygun	7,22	Uygun	452	0,420
27	15	Uygun	Uygun	Uygun	7,15	Uygun	461	1,000
29	16	Uygun	Uygun	Uygun	7,18	Uygun	464	0,880
31	17	Uygun	Uygun	Uygun	7,32	Uygun	489	0,900
33	18	Uygun	Uygun	Uygun	7,27	Uygun	581	1,030
35	19	Uygun	Uygun	Uygun	7,08	Uygun	762	1,120
36	20	Uygun	Uygun	Uygun	7,00	Uygun	790	1,170
39	21	Uygun	Uygun	Uygun	7,10	Uygun	708	1,130
41	22	Uygun	Uygun	Uygun	7,23	Uygun	575	1,050
44	23	Uygun	Uygun	Uygun	7,04	Uygun	752	1,300
45	24	Uygun	Uygun	Uygun	7,19	Uygun	706	1,030
48	25	Uygun	Uygun	Uygun	7,14	Uygun	516	0,940

Çizelge 7.7. 18-19 Kasım 2015 tarihine ait su kalitesi analiz sonuçları (Kimyasal Analizler).

Kuyu Numarası	İzleme Noktası	Kadmiyum (µg/L)	Demir (µg/L)	Bor (mg/L)	Civa (µg/L)	Krom (µg/L)	Bakır (mg/L)	Nikel (µg/L)	Kurşun (µg/L)	Mangan (µg/L)	Sodyum (mg/L)	Nitrit (mg/L
1	1	<0,012	379,005	0,020	0,06	2,871	<0,002	2,871	0,043	11,109	17,196	0,010
2	2	<0,012	290,582	0,019	0,03	2,146	<0,002	2,402	<0,026	66,376	19,835	0,010
3	3	0,019	91,713	0,012	0,04	2,362	<0,002	2,700	0,040	7,899	16,866	0,010
5	4	<0,012	49,045	0,012	0,03	6,356	<0,002	2,809	<0,026	1,437	12,335	0,010
7	5	<0,012	10,852	0,009	0,03	2,653	<0,002	2,296	0,048	0,419	7,217	0,010
10	6	<0,012	13,208	0,141	<0,022	3,425	<0,002	2,973	0,035	0,432	17,555	0,010
14	7	<0,012	17,218	0,042	<0,022	3,297	<0,002	2,613	0,071	0,375	9,391	0,010
15	8	<0,012	13,504	0,049	<0,022	3,226	<0,002	3,073	0,107	0,618	11,811	0,010
16	9	<0,012	17,797	0,143	<0,022	3,716	<0,002	4,589	0,027	0,625	18,983	0,010
17	10	<0,012	25,074	0,031	<0,022	4,546	<0,002	3,509	0,175	0,831	15,453	0,010
20	11	<0,012	11,027	0,017	<0,022	2,684	<0,002	2,792	<0,026	0,338	4,739	0,010
22	12	<0,012	14,710	0,014	<0,022	3,519	<0,002	2,986	0,114	0,398	4,610	0,010
24	13	<0,012	16,624	0,012	<0,022	3,494	<0,002	2,699	0,052	3,530	4,650	0,010
26	14	<0,012	9,746	0,012	<0,022	2,579	<0,002	2,057	<0,026	0,259	5,224	0,010
27	15	<0,012	16,765	0,011	<0,022	3,732	<0,002	3,016	0,054	0,539	5,207	0,050
29	16	<0,012	18,936	0,012	<0,022	4,125	<0,002	3,829	0,077	0,567	6,274	0,010
31	17	<0,012	7,325	0,011	0,03	2,106	<0,002	1,792	<0,026	0,293	8,374	0,010
33	18	<0,012	26,266	0,013	0,04	2,546	<0,002	2,283	<0,026	2,588	11,027	0,010
35	19	0,024	19,477	0,007	0,06	4,404	<0,002	2,059	0,048	0,491	13,413	0,010
36	20	<0,012	33,730	0,013	0,04	3,491	0,01	2,939	0,208	1,465	15,864	0,010
39	21	<0,012	15,787	0,109	<0,022	3,915	<0,002	3,212	<0,026	0,506	19,359	0,010
41	22	<0,012	11,200	0,060	0,03	3,125	<0,002	2,092	<0,026	0,814	16,393	0,010
44	23	<0,012	10,160	0,032	0,03	2,546	<0,002	2,614	<0,026	0,340	25,404	0,010
45	24	<0,012	14,383	0,009	0,05	3,340	<0,002	6,755	<0,026	0,513	11,748	0,010
48	25	<0,012	24,028	0,012	<0,022	2,223	<0,002	1,984	<0,026	0,660	6,368	0,010

Çizelge 7.8'nin devamı.

Kuyu Numarası	İzleme Noktası	Antimon (µg/L)	Arsenik (µg/L)	Siyanür (µg/L)	Selenyum	Alüminyum (µg/L)	Sülfat (mg/L)	Amonyum (mg/L)	Bromat (µg/L)	Klorür (mg/L)	Nitrat (mg/L)	Florür (mg/L
1	1	0,154	1,849	<5	0,407	71,369	139,680	0,030	0,010	31,040	21,350	0,060
2	2	<0,114	0,539	<5	<0,136	27,181	68,570	0,030	0,010	36,660	0,060	0,160
3	3	0,598	9,136	<5	0,750	4,123	89,990	0,050	0,010	42,110	48,110	0,140
5	4	<0,114	0,989	<5	0,263	44,351	28,920	0,050	0,010	21,370	73,030	0,060
7	5	<0,114	1,201	<5	0,154	3,376	8,980	0,060	0,010	11,030	51,480	0,040
10	6	<0,114	2,989	<5	0,349	3,750	18,620	0,050	0,010	21,510	73,670	0,050
14	7	<0,114	2,415	<5	0,301	7,257	12,860	0,050	0,010	13,410	51,560	0,060
15	8	<0,114	2,177	<5	0,244	3,724	16,430	0,030	0,010	14,810	60,880	0,060
16	9	<0,114	1,480	<5	0,537	4,593	36,410	0,020	0,010	22,170	59,280	0,130
17	10	<0,114	3,542	<5	0,225	4,636	12,670	0,030	0,010	29,510	69,900	0,040
20	11	<0,114	1,664	<5	0,181	4,329	4,470	0,040	0,010	8,370	16,460	0,050
22	12	<0,114	2,965	<5	0,157	2,446	3,260	0,040	0,010	7,620	4,190	0,040
24	13	<0,114	3,262	<5	0,163	2,484	7,980	0,050	0,010	7,720	3,950	0,040
26	14	<0,114	2,415	<5	0,163	3,930	5,680	0,050	0,010	8,140	15,720	0,050
27	15	<0,114	2,198	<5	0,180	3,720	3,970	0,060	0,010	8,550	11,820	0,040
29	16	<0,114	2,064	<5	0,170	4,115	7,690	0,060	0,010	9,910	33,670	0,030
31	17	<0,114	1,931	<5	0,134	2,831	11,290	0,060	0,010	11,520	58,120	0,040
33	18	<0,114	1,096	<5	0,147	2,503	32,070	0,040	0,010	14,360	118,480	0,030
35	19	<0,114	0,274	<5	0,348	12,719	20,420	0,040	0,010	50,280	83,530	0,040
36	20	<0,114	0,755	<5	0,408	25,620	36,430	0,030	0,010	32,640	110,230	0,040
39	21	<0,114	38,763	<5	0,231	3,152	22,620	0,050	0,010	22,320	6,660	0,040
41	22	<0,114	0,669	<5	0,226	6,786	22,660	0,040	0,010	19,910	36,060	0,070
44	23	<0,114	0,769	<5	0,926	5,055	52,820	0,030	0,010	34,840	46,960	0,070
45	24	<0,114	1,028	<5	0,188	2,385	95,790	0,050	0,010	18,400	38,180	0,110
48	25	<0,114	2,833	<5	0,192	34,711	7,980	0,070	0,010	10,310	26,030	0,030

Çizelge 7.9. 18-19 Kasım 2015 tarihine ait toprak analizi sonuçları.

Kuyu No.	İzleme No.	pH		Tuzluluk (%)		Doygunluk (%)		İnfiltrasyon Hızı (cm/saat)	
		Analiz Sonucu	Değerlendirme	Analiz Sonucu	Değerlendirme	Analiz Sonucu	Değerlendirme	Analiz Sonucu	Değerlendirme
1	1	7,5	Hafif Alkali	0,056	Tuzsuz	49	Tınlı	2,00-6,35	Orta geçirgen
2	2	7,5	Hafif Alkali	0,069	Tuzsuz	48	Tınlı	2,00-6,35	Orta geçirgen
3	3	7,4	Hafif Alkali	0,258	Hafif tuzlu	53	Killi Tın	0,5-2,00	Orta yavaş geçirgen
5	4	7,3	Hafif Alkali	0,198	Hafif tuzlu	57	Killi Tın	0,5-2,00	Orta yavaş geçirgen
7	5	7,5	Hafif Alkali	0,073	Tuzsuz	52	Killi Tın	0,5-2,00	Orta yavaş geçirgen
10	6	7,7	Hafif Alkali	0,142	Tuzsuz	61	Killi Tın	0,13-0,50	Yavaş geçirgen
14	7	7,2	Hafif Alkali	0,168	Hafif tuzlu	58	Killi Tın	0,5-2,00	Orta yavaş geçirgen
15	8	7,4	Hafif Alkali	0,066	Tuzsuz	50	Killi Tın	0,5-2,00	Orta yavaş geçirgen
16	9	7,3	Hafif Alkali	0,132	Tuzsuz	50	Killi Tın	0,5-2,00	Orta yavaş geçirgen
17	10	7,2	Hafif Alkali	0,175	Hafif tuzlu	55	Killi Tın	0,5-2,00	Orta yavaş geçirgen
20	11	7,5	Hafif Alkali	0,090	Tuzsuz	67	Killi Tın	0,13-0,50	Yavaş geçirgen
22	12	7,3	Hafif Alkali	0,133	Tuzsuz	55	Killi Tın	0,5-2,00	Orta yavaş geçirgen
24	13	7,4	Hafif Alkali	0,058	Tuzsuz	55	Killi Tın	0,5-2,00	Orta yavaş geçirgen
26	14	7,4	Hafif Alkali	0,133	Tuzsuz	59	Killi Tın	0,5-2,00	Orta yavaş geçirgen
27	15	7,3	Hafif Alkali	0,133	Tuzsuz	56	Killi Tın	0,5-2,00	Orta yavaş geçirgen
29	16	7,7	Hafif Alkali	0,007	Tuzsuz	59	Killi Tın	0,5-2,00	Orta yavaş geçirgen
31	17	7,7	Hafif Alkali	0,011	Tuzsuz	54	Killi Tın	0,5-2,00	Orta yavaş geçirgen
33	18	7,4	Hafif Alkali	0,107	Tuzsuz	63	Killi Tın	0,13-0,50	Yavaş geçirgen
35	19	7,3	Hafif Alkali	0,050	Tuzsuz	43	Tınlı	6,35-12,70	Orta hızlı geçirgen
36	20	7,7	Hafif Alkali	0,076	Tuzsuz	51	Killi Tın	0,5-2,00	Orta yavaş geçirgen
39	21	7,8	Hafif Alkali	0,015	Tuzsuz	68	Killi Tın	0,13-0,50	Yavaş geçirgen
41	22	7,1	Hafif Alkali	0,028	Tuzsuz	52	Killi Tın	0,5-2,00	Orta yavaş geçirgen
44	23	7,9	Hafif Alkali	0,026	Tuzsuz	60	Killi Tın	0,5-2,00	Orta yavaş geçirgen
45	24	7,7	Hafif Alkali	0,053	Tuzsuz	47	Tınlı	2,00-6,35	Orta geçirgen
48	25	7,3	Hafif Alkali	0,171	Hafif tuzlu	58	Killi Tın	0,5-2,0	Orta yavaş geçirgen

Çizelge 7.8'in devamı.

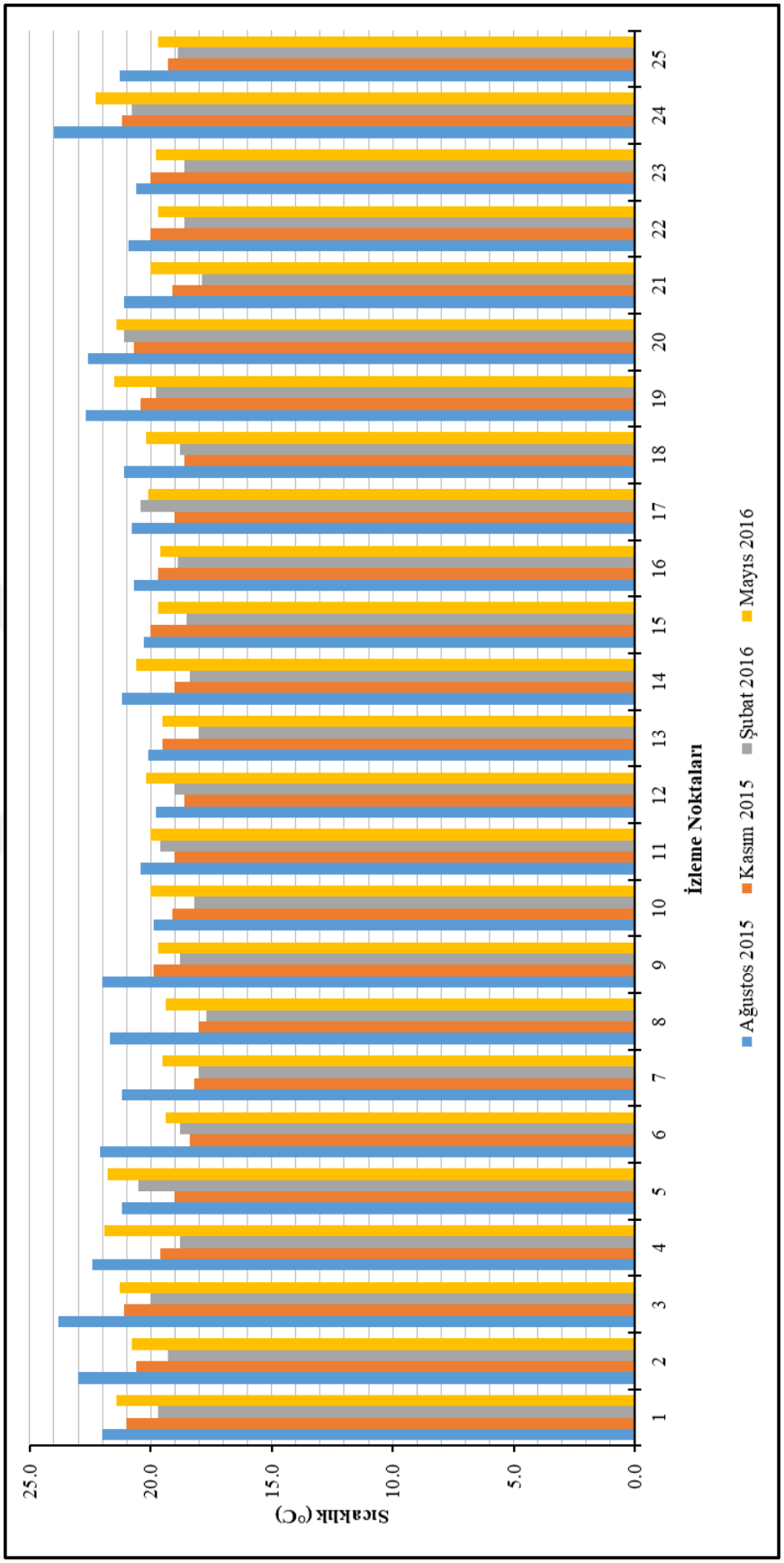
Kuyu No.	İzleme No.	Organik Madde (%)		Toplam N (%)		NH_4-N (%)		NO_3-N (%)	
		Analiz Sonucu	Değerlendirme	Analiz Sonucu	Değerlendirme	Analiz Sonucu	Değerlendirme	Analiz Sonucu	Değerlendirme
1	1	0,72	Çok az	0,108	Orta	0,041	--	0,033	--
2	2	0,96	Çok az	0,130	Çok iyi	0,046	--	0,036	--
3	3	1,35	Az	0,207	Çok iyi	0,049	--	0,052	--
5	4	1,98	Az	0,281	Çok iyi	0,077	--	0,080	--
7	5	1,50	Az	0,130	Çok iyi	0,045	--	0,058	--
10	6	1,56	Az	0,208	Çok iyi	0,064	--	0,063	--
14	7	2,28	Orta	0,311	Çok iyi	0,053	--	0,056	--
15	8	1,98	Az	0,196	Çok iyi	0,040	--	0,088	--
16	9	2,10	Orta	0,306	Çok iyi	0,070	--	0,064	--
17	10	3,35	İyi	0,371	Çok iyi	0,088	--	0,062	--
20	11	1,89	Az	0,214	Çok iyi	0,049	--	0,039	--
22	12	1,38	Az	0,220	Çok iyi	0,054	--	0,086	--
24	13	2,28	Az	0,212	Çok iyi	0,057	--	0,042	--
26	14	0,96	Az	0,148	Çok iyi	0,043	--	0,045	--
27	15	1,86	Az	0,215	Çok iyi	0,050	--	0,045	--
29	16	4,07	İyi	0,290	Çok iyi	0,077	--	0,084	--
31	17	1,44	Az	0,162	Çok iyi	0,038	--	0,051	--
33	18	1,44	Az	0,157	Çok iyi	0,045	--	0,041	--
35	19	0,90	Çok az	0,113	İyi	0,036	--	0,036	--
36	20	1,02	Az	0,149	Çok iyi	0,070	--	0,049	--
39	21	3,83	İyi	0,310	Çok iyi	0,048	--	0,062	--
41	22	1,38	Az	0,158	Çok iyi	0,040	--	0,062	--
44	23	2,64	Orta	0,204	Çok iyi	0,049	--	0,050	--
45	24	0,60	Çok az	0,084	Az	0,017	--	0,028	--
48	25	2,28	Orta	0,261	Çok iyi	0,055	--	0,052	--

Çizelge 7.10. 10-11 Mayıs 2016 tarihine ait toprak analizi sonuçları.

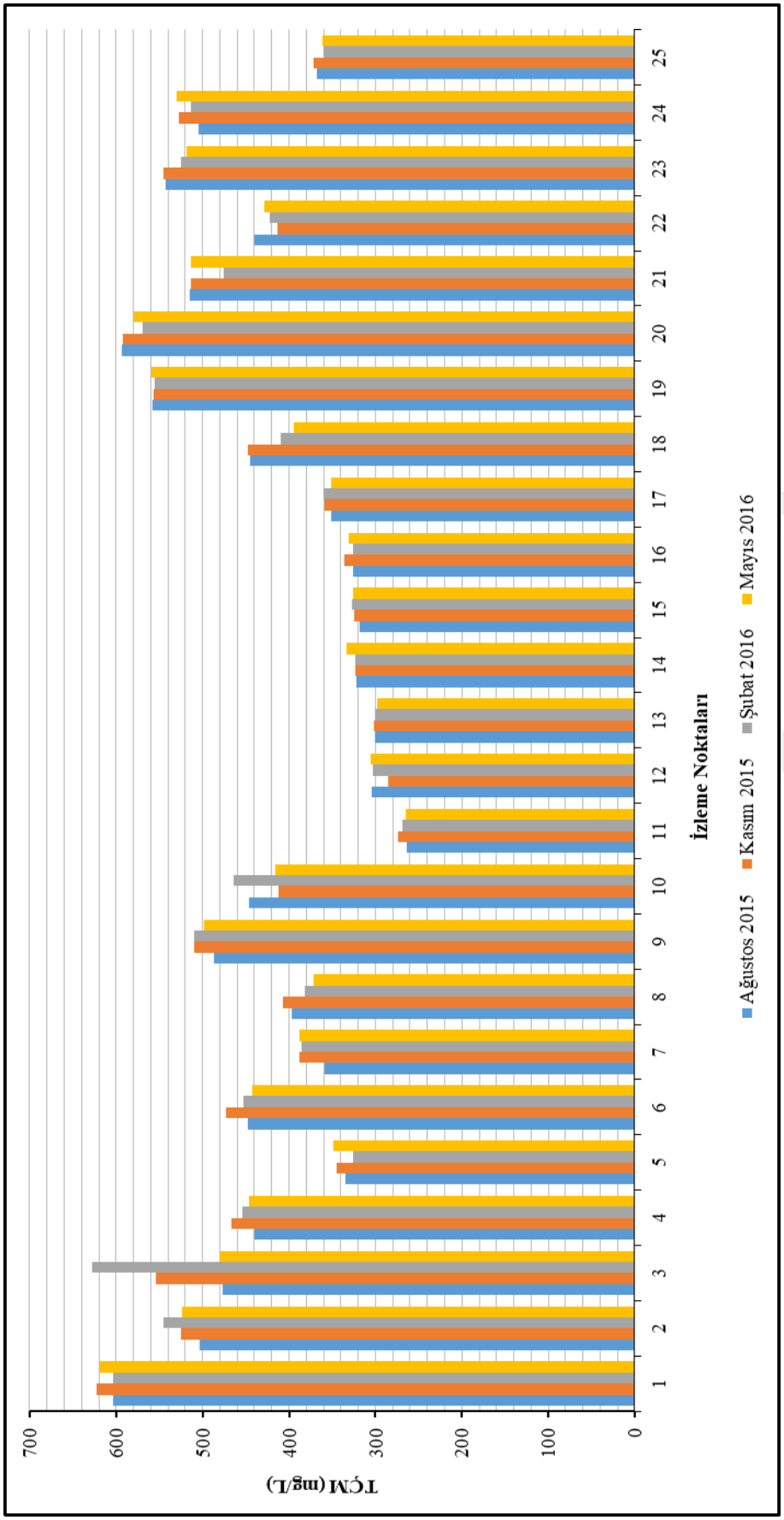
Kuyu No.	İzleme No.	pH		Tuzluluk (%)		Doygunluk (%)		İnfiltrasyon Hızı (cm/saat)	
		Analiz Sonucu	Değerlendirme	Analiz Sonucu	Değerlendirme	Analiz Sonucu	Değerlendirme	Analiz Sonucu	Değerlendirme
1	1	7,5	Hafif Alkali	0,070	Tuzsuz	52	Killi Tın	0.5-2.00	Orta Yavaş Geçirgen
2	2	7,6	Hafif Alkali	0,081	Tuzsuz	58	Killi Tın	0.5-2.00	Orta Yavaş Geçirgen
3	3	7,7	Hafif Alkali	0,052	Tuzsuz	58	Killi Tın	0.5-2.00	Orta Yavaş Geçirgen
5	4	7,1	Hafif Alkali	0,175	Hafif Tuzlu	61	Killi Tın	0.13-0.50	Yavaş Geçirgen
7	5	7,5	Hafif Alkali	0,108	Tuzsuz	61	Killi Tın	0.13-0.50	Yavaş Geçirgen
10	6	7,5	Hafif Alkali	0,168	Hafif Tuzlu	59	Killi Tın	0.5-2.00	Orta Yavaş Geçirgen
14	7	7,1	Hafif Alkali	0,186	Hafif Tuzlu	59	Killi Tın	0.5-2.00	Orta Yavaş Geçirgen
15	8	7,2	Hafif Alkali	0,198	Hafif Tuzlu	52	Killi Tın	0.5-2.00	Orta Yavaş Geçirgen
16	9	7,5	Hafif Alkali	0,085	Tuzsuz	50	Killi Tın	0.5-2.00	Yavaş Geçirgen
17	10	7,1	Hafif Alkali	0,181	Hafif Tuzlu	55	Killi Tın	0.5-2.00	Orta Yavaş Geçirgen
20	11	7,2	Hafif Alkali	0,160	Hafif Tuzlu	70	Killi	0.13<	Çok Yavaş Geçirgen
22	12	7,2	Hafif Alkali	0,189	Hafif Tuzlu	63	Killi Tın	0.13-0.50	Yavaş Geçirgen
24	13	7,3	Hafif Alkali	0,140	Hafif Tuzlu	57	Killi Tın	0.5-2.00	Orta Yavaş Geçirgen
26	14	7,4	Hafif Alkali	0,109	Tuzsuz	55	Killi Tın	0.5-2.00	Orta Yavaş Geçirgen
27	15	7,2	Hafif Alkali	0,106	Tuzsuz	48	Tınlı	2.00-6.35	Orta Geçirgen
29	16	7,9	Hafif Alkali	0,010	Tuzsuz	71	Killi	0.13<	Çok Yavaş Geçirgen
31	17	7,7	Hafif Alkali	0,012	Tuzsuz	58	Killi Tın	0.5-2.00	Orta Yavaş Geçirgen
33	18	7,1	Hafif Alkali	0,275	Hafif Tuzlu	68	Killi Tın	0.13-0.50	Yavaş Geçirgen
35	19	7,5	Hafif Alkali	0,026	Tuzsuz	39	Tınlı	6.35-12.70	Orta Hızlı Geçirgen
36	20	7,6	Hafif Alkali	0,060	Tuzsuz	56	Killi Tın	0.5-2.00	Orta Yavaş Geçirgen
39	21	8,0	Kuvvetli Alkali	0,010	Tuzsuz	53	Killi Tın	0.5-2.00	Orta Yavaş Geçirgen
41	22	7,3	Hafif Alkali	0,199	Hafif Tuzlu	57	Killi Tın	0.5-2.00	Orta Yavaş Geçirgen
44	23	8,0	Kuvvetli Alkali	0,015	Tuzsuz	57	Killi Tın	0.5-2.00	Orta Yavaş Geçirgen
45	24	7,5	Hafif Alkali	0,065	Tuzsuz	53	Killi Tın	0.5-2.00	Orta Yavaş Geçirgen
48	25	7,3	Hafif Alkali	0,156	Hafif Tuzlu	64	Killi Tın	0.13-0.50	Yavaş Geçirgen

Çizelge 7.9'un devamı.

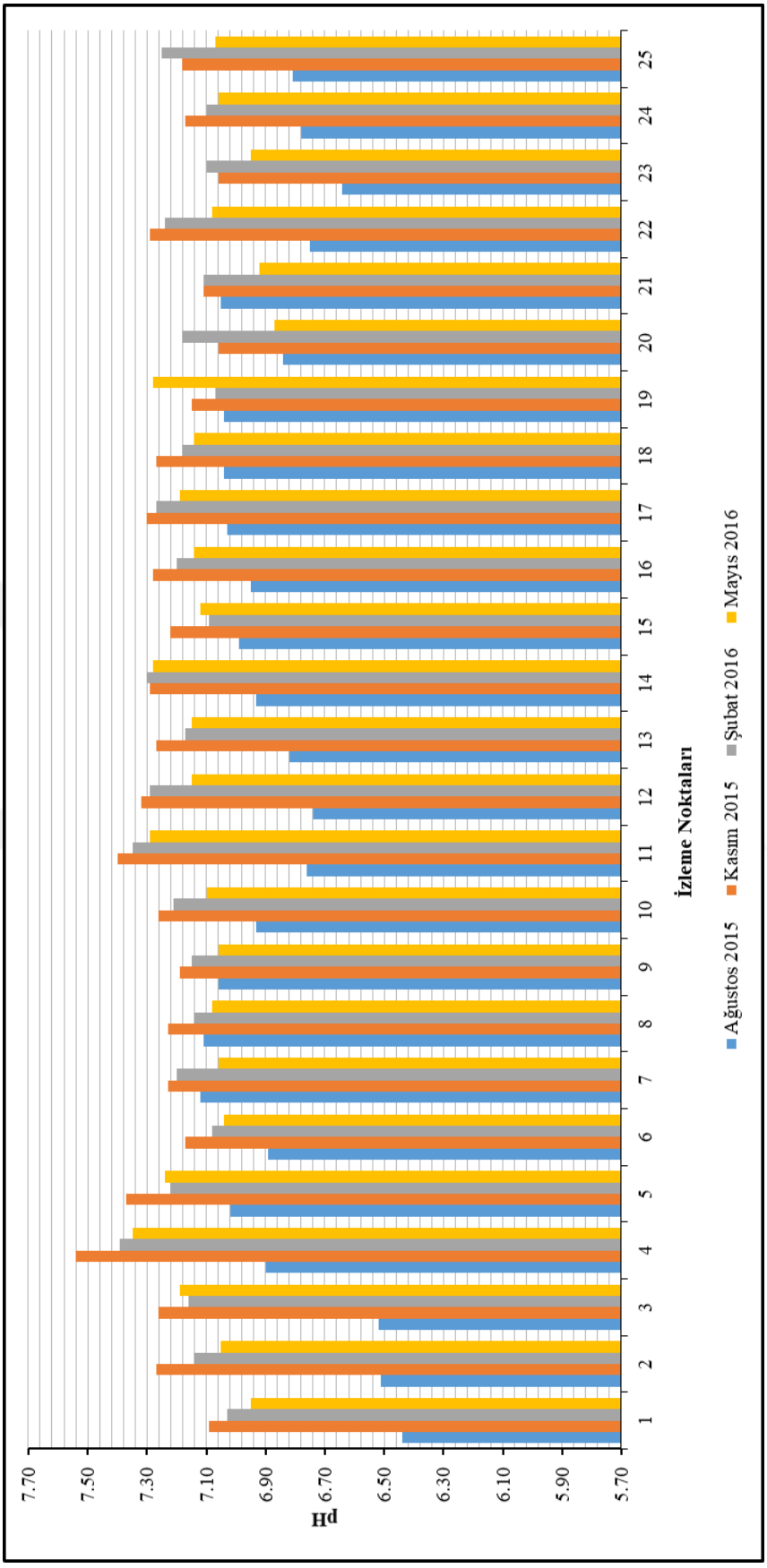
Kuyu No.	İzleme No.	Organik Madde (%)		Toplam N (%)		NH_4-N (%)		NO_3-N (%)		Bünye (%)			
		Analiz Sonucu	Değerlendirme	Analiz Sonucu	Değerlendirme	Analiz Sonucu	Değerlendirme	Analiz Sonucu	Değerlendirme	Kum (%)	Silt (%)	Kil (%)	Değerlendirme
1	1	1,68	Az	0,103	Orta	0,018	--	0,029	--	63,1	34,0	2,9	Kumlu Tın
2	2	2,57	Orta	0,177	Çok İyi	0,041	--	0,035	--	49,0	44,4	6,6	Kumlu Tın
3	3	2,54	Orta	0,197	Çok İyi	0,045	--	0,036	--	37,2	40,3	22,5	Tınlı
5	4	2,79	Orta	0,252	Çok İyi	0,035	--	0,032	--	46,1	50,7	3,2	Milli Tın
7	5	1,28	Az	0,155	Çok İyi	0,046	--	0,038	--	38,2	40,6	21,2	Tınlı
10	6	2,36	Orta	0,216	Çok İyi	0,059	--	0,081	--	52,8	33,5	13,7	Kumlu Tın
14	7	1,94	Az	0,268	Çok İyi	0,066	--	0,110	--	48,5	47,6	3,9	Kumlu Tın
15	8	2,10	Orta	0,282	Çok İyi	0,035	--	0,084	--	48,8	47,6	3,6	Kumlu Tın
16	9	2,05	Az	0,193	Çok İyi	0,064	--	0,056	--	52,5	33,7	13,8	Tınlı
17	10	3,19	İyi	0,279	Çok İyi	0,064	--	0,142	--	52,4	43,7	3,9	Kumlu Tın
20	11	2,62	Orta	0,258	Çok İyi	0,064	--	0,084	--	36,8	37,5	25,7	Milli Tın
22	12	1,54	Az	0,258	Çok İyi	0,050	--	0,049	--	46,7	49,5	3,8	Milli Tın
24	13	2,51	Orta	0,215	Çok İyi	0,057	--	0,052	--	58,7	37,5	3,8	Kumlu Tın
26	14	1,37	Az	0,134	Çok İyi	0,050	--	0,052	--	48,5	47,7	3,8	Kumlu Tın
27	15	1,65	Az	0,150	Çok İyi	0,055	--	0,056	--	56,6	29,6	13,8	Kumlu Tın
29	16	5,92	Çok İyi	0,246	Çok İyi	0,101	--	0,056	--	44,5	31,6	23,9	Tınlı
31	17	1,65	Az	0,164	Çok İyi	0,057	--	0,039	--	26,5	35,7	37,8	Killi Tın
33	18	1,93	Az	0,221	Çok İyi	0,041	--	0,034	--	51,0	46,1	2,9	Kumlu Tın
35	19	1,51	Az	0,086	Az	0,038	--	0,038	--	68,4	18,4	13,2	Kumlu Tın
36	20	1,84	Az	0,115	İyi	0,029	--	0,034	--	60,1	14,9	25,0	Kumlu Killi Tın
39	21	3,13	İyi	0,174	Çok İyi	0,039	--	0,045	--	56,7	29,6	13,7	Kumlu Tın
41	22	2,96	Orta	0,292	Çok İyi	0,042	--	0,052	--	40,4	56,4	3,2	Milli Tın
44	23	3,24	İyi	0,159	Çok İyi	0,028	--	0,043	--	38,2	36,6	25,2	Tınlı
45	24	0,84	Çok Az	0,090	Az	0,028	--	0,034	--	61,8	13,0	25,2	Kumlu Killi Tın
48	25	2,04	Az	0,190	Çok İyi	0,110	--	0,056	--	42,5	39,6	17,9	Tınlı



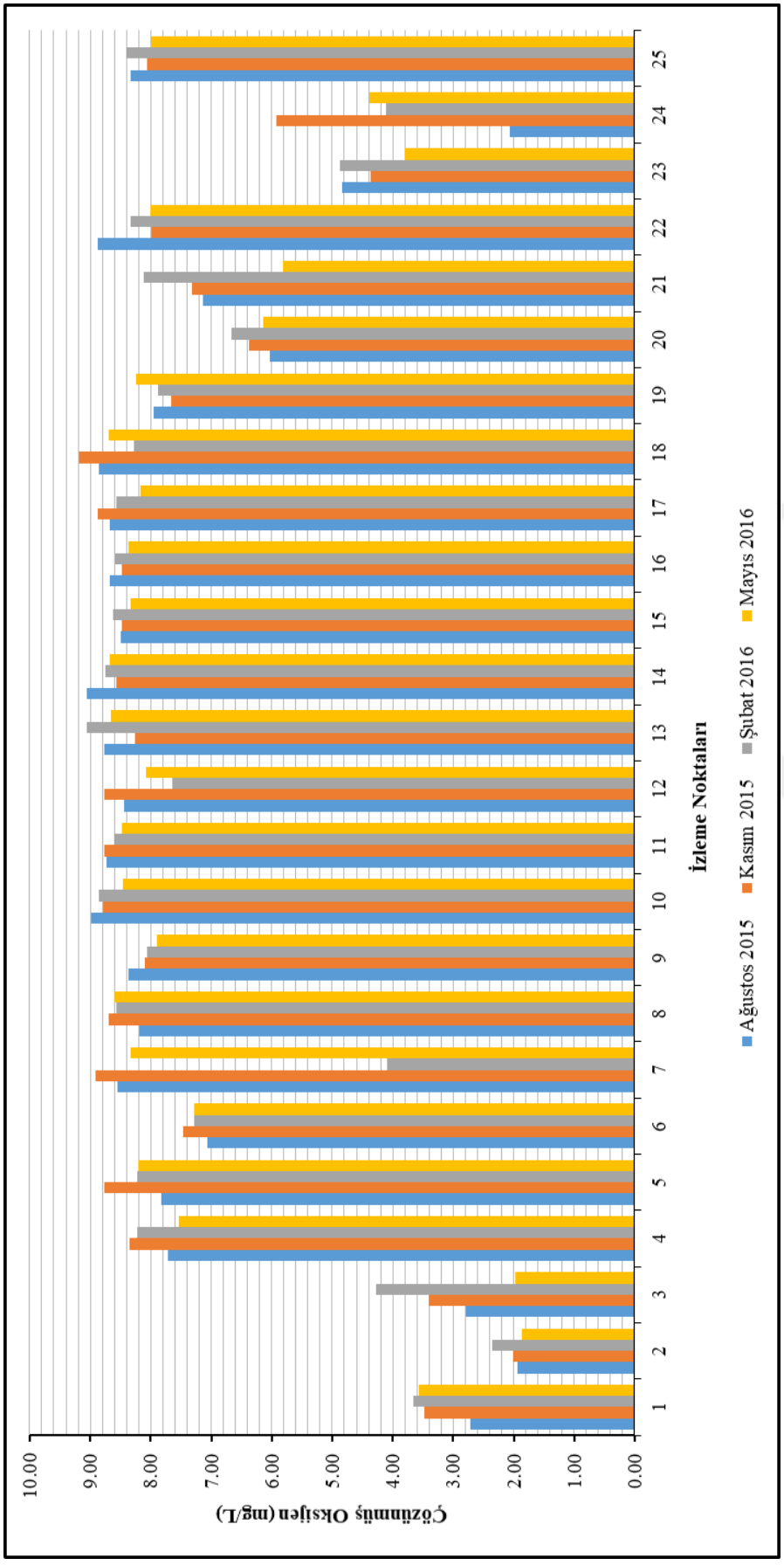
Şekil 7.1. Dört izleme çalışmasında sahada ölçülen sıcaklık değerleri.



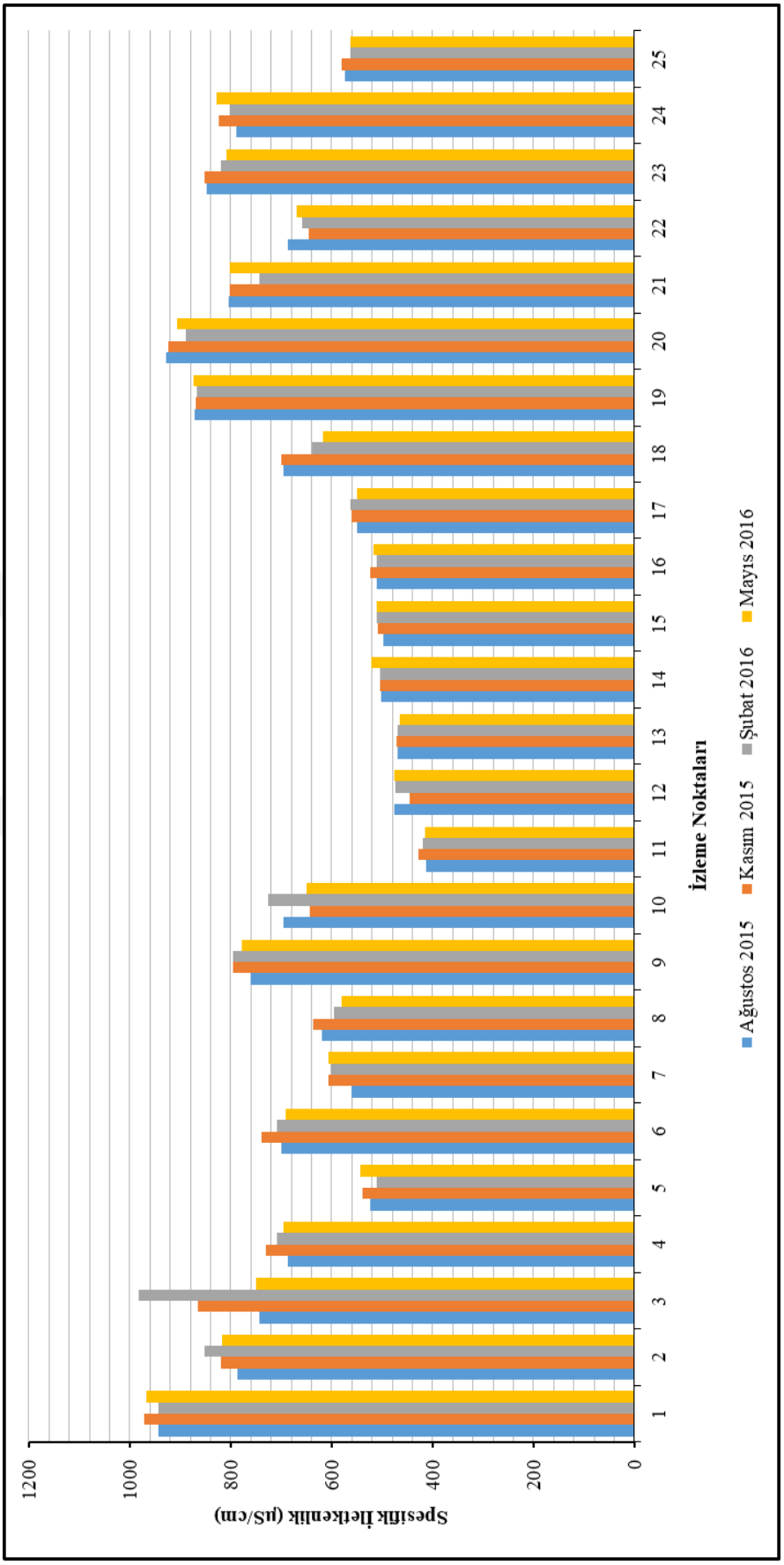
Şekil 7.2. Dört izleme çalışmasında sahada ölçülen toplam çözünmüş madde (TÇM) değerleri.



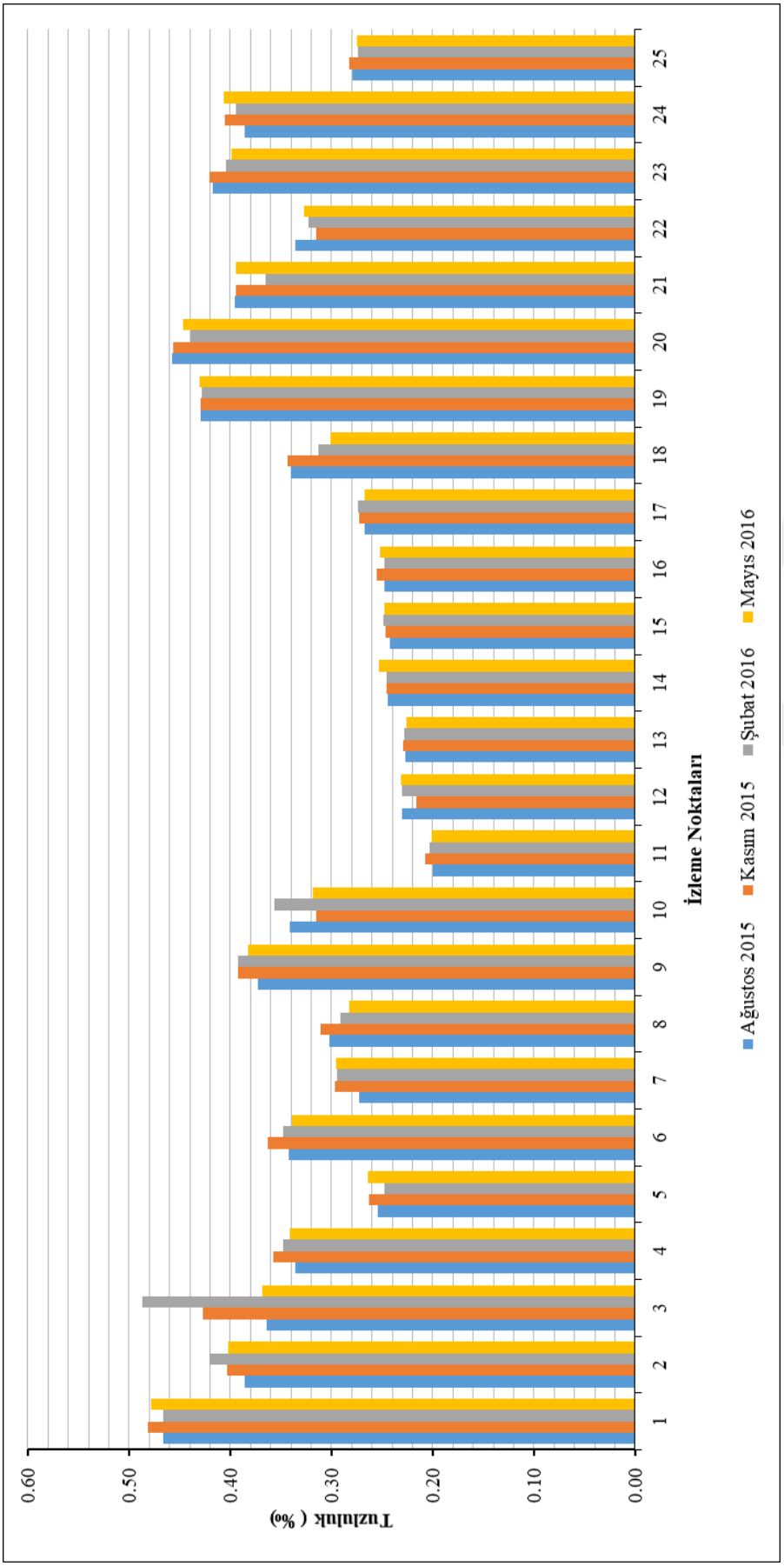
Şekil 7.3. Dört izleme çalışmasında sahada ölçülen pH değerleri.



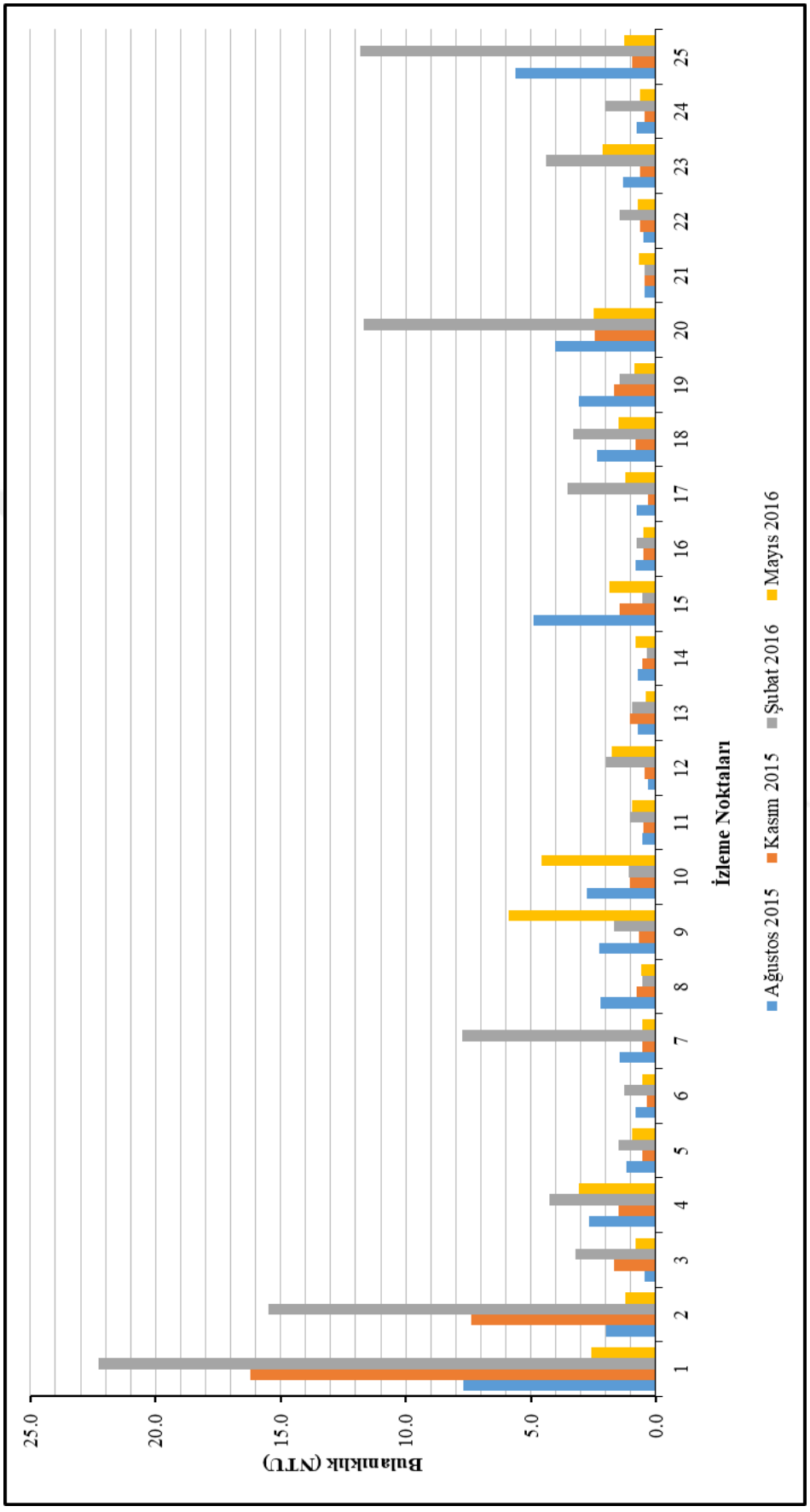
Şekil 7.4. Dört izleme çalışmasında sahada ölçülen çözünmüş oksijen değerleri.



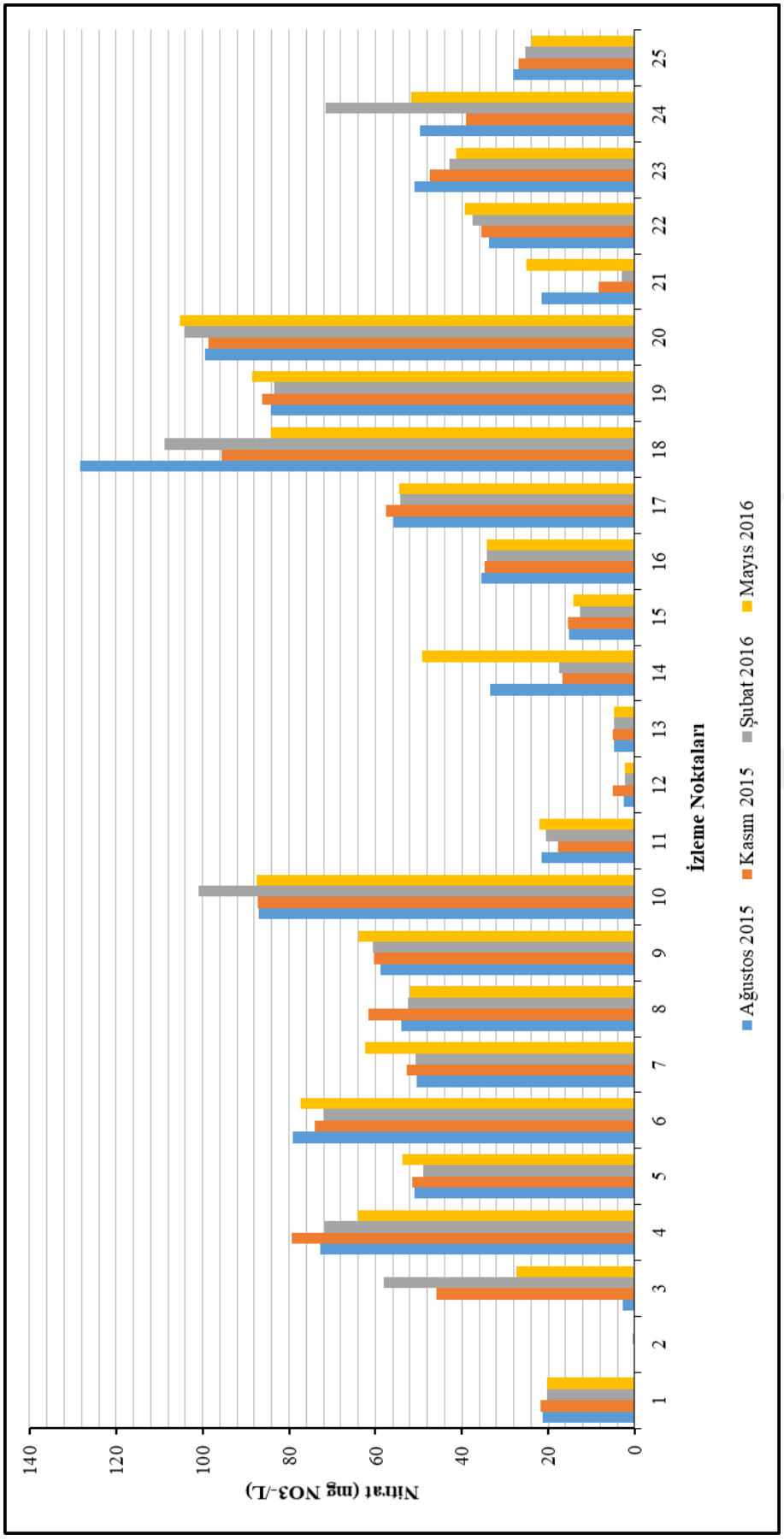
Şekil 7.5. Dört izleme çalışmasında sahada ölçülen spesifik iletkenlik değerleri.



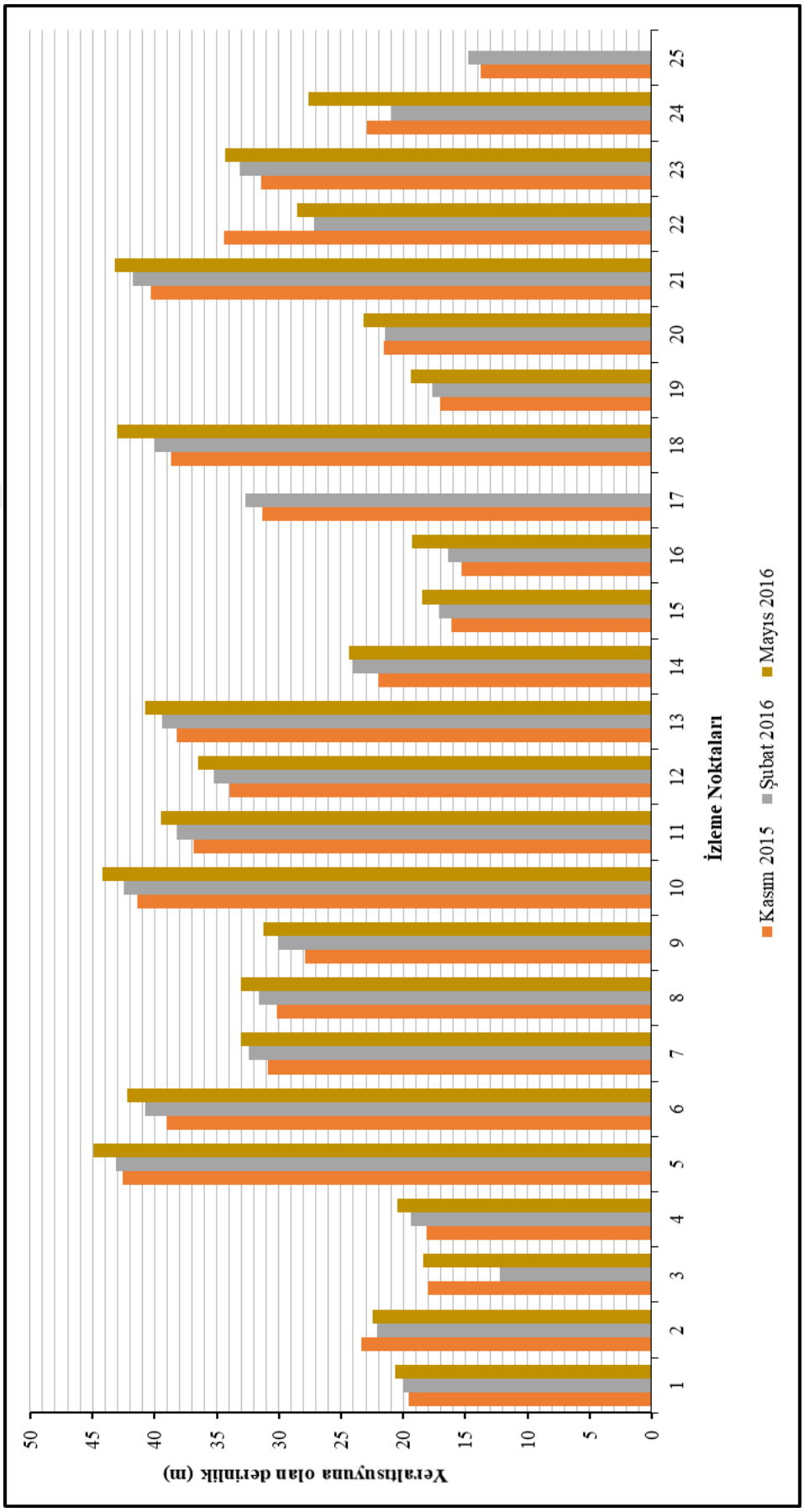
Şekil 7.6. Dört izleme çalışmasında sahada ölçülen tuzluluk değerleri.



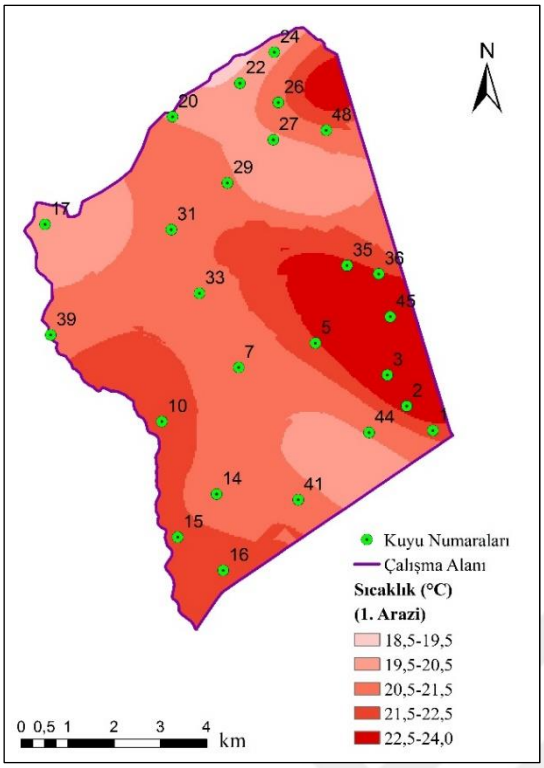
Şekil 7.7. Dört izleme çalışmasında sahada ölçülen bulanıklık değerleri.



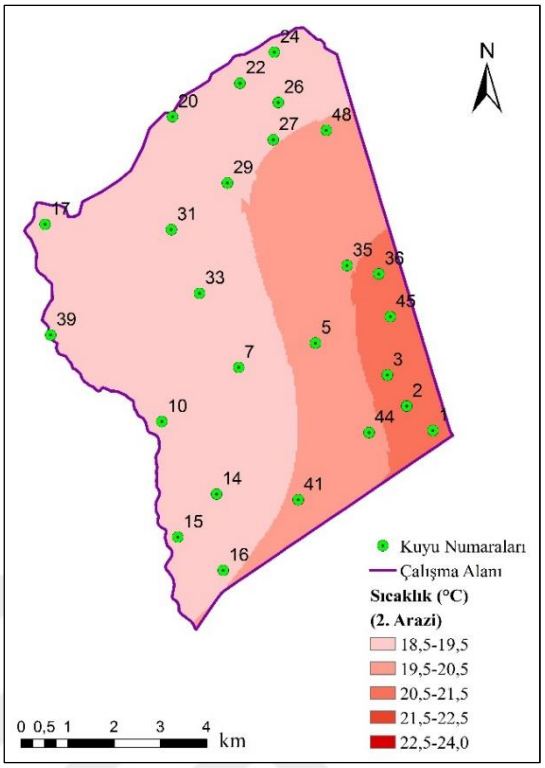
Şekil 7.8. Dört izleme çalışmasında laboratuvarda analiz edilen nitrat değerleri.



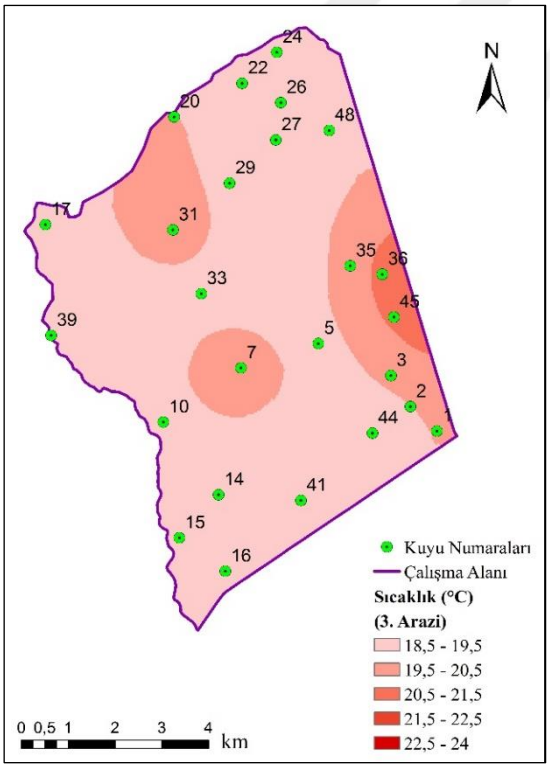
Şekil 7.9. Üç izleme çalışmasında sahada ölçülen YAS'a olan derinlik değerleri.



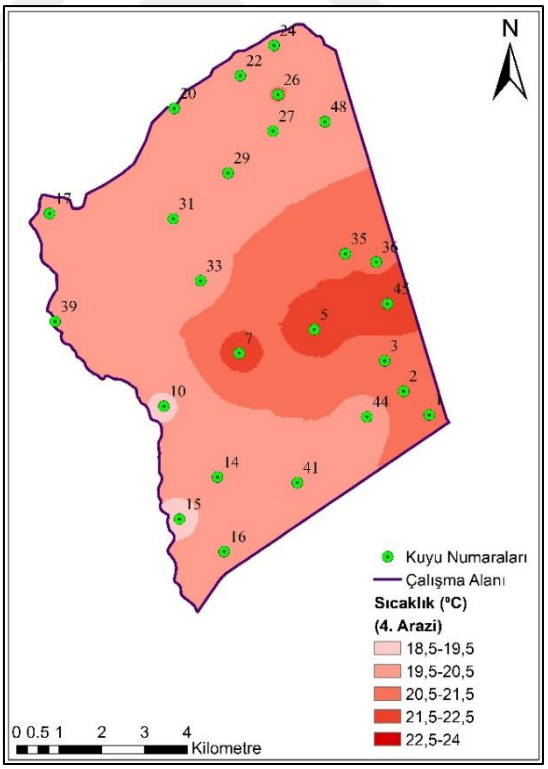
1. İzleme Çalışması (6-7 Ağustos 2015)



2. İzleme Çalışması (18-19 Kasım 2015)

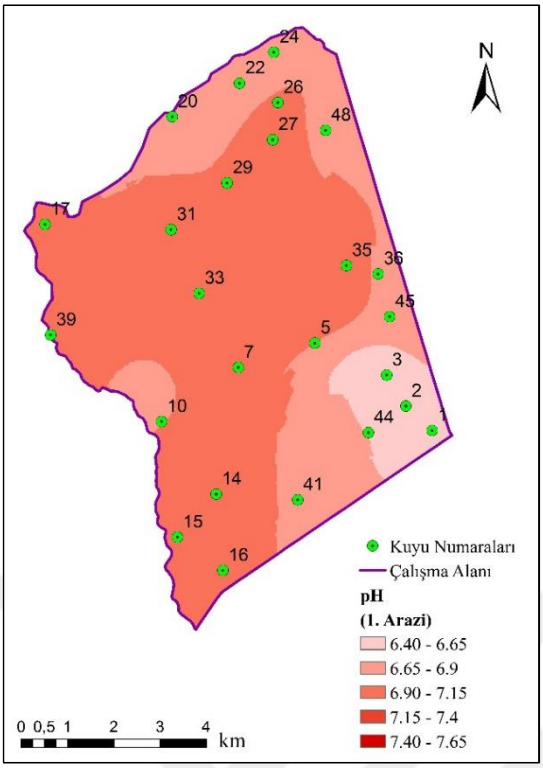


3. İzleme Çalışması (9-10 Şubat 2016)

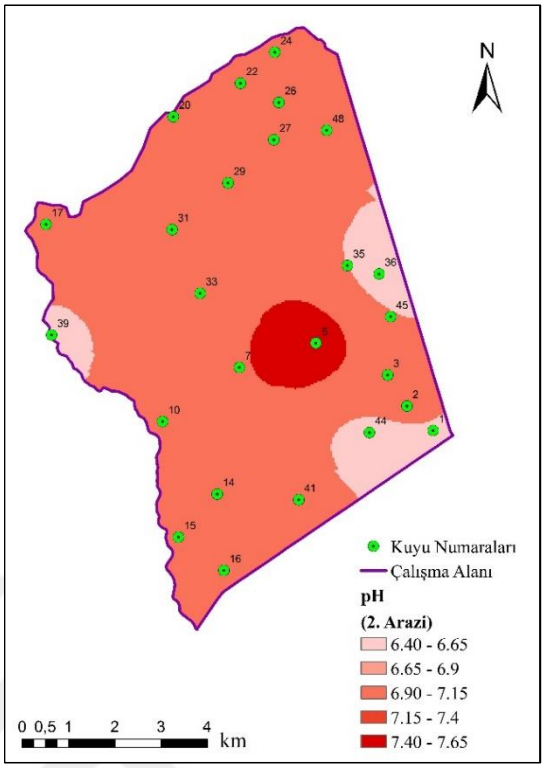


4. İzleme Çalışması (10-11 Mayıs 2016)

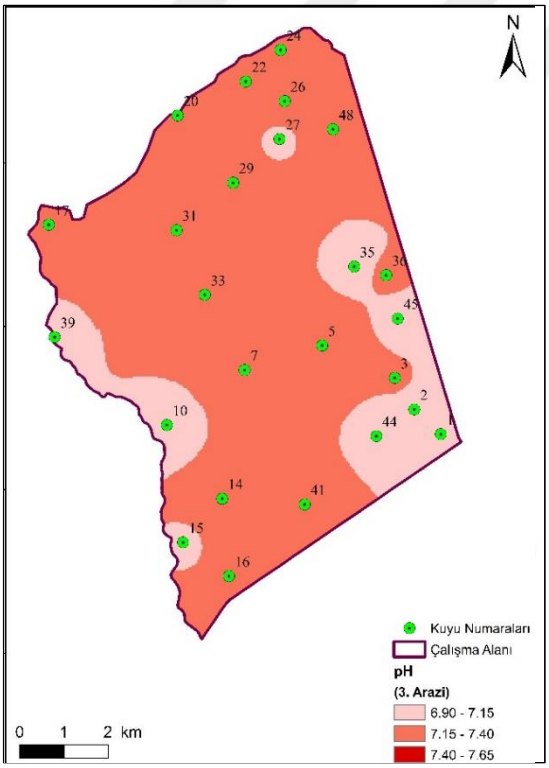
Şekil 7.10. Dört izleme çalışmasında ölçülen sıcaklık değerlerinin mekânsal dağılımı.



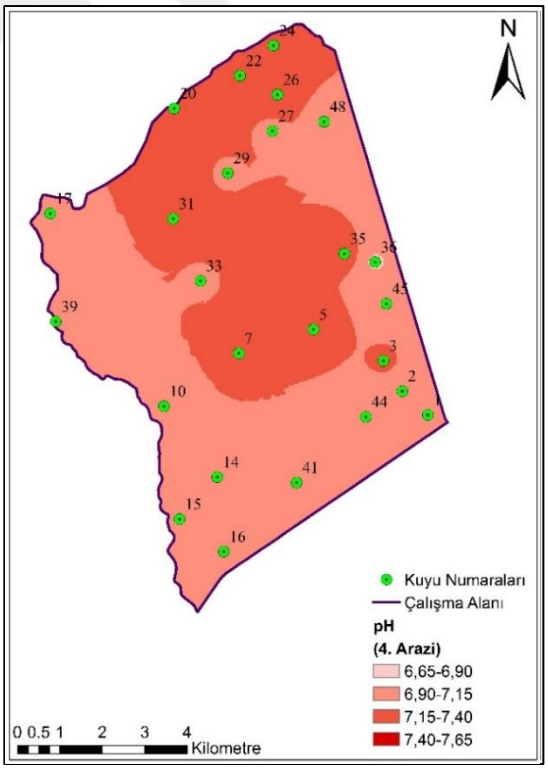
1. İzleme Çalışması (6-7 Ağustos 2015)



2. İzleme Çalışması (18-19 Kasım 2015)

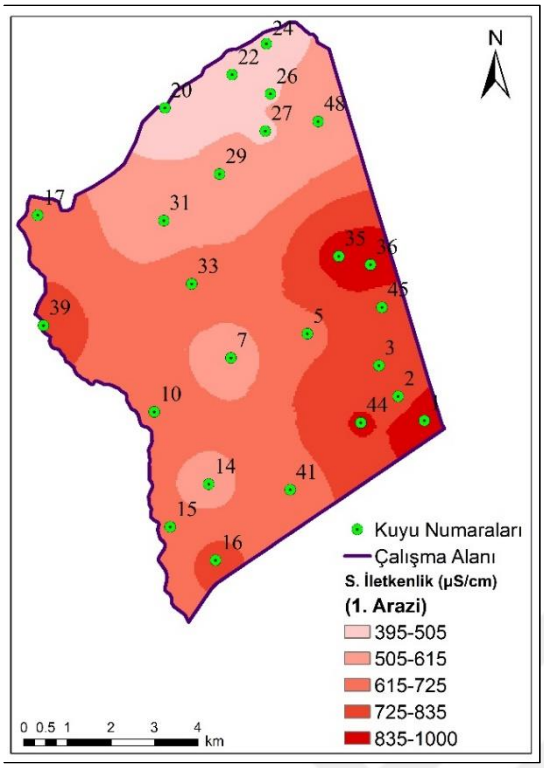


3. İzleme Çalışması (9-10 Şubat 2016)

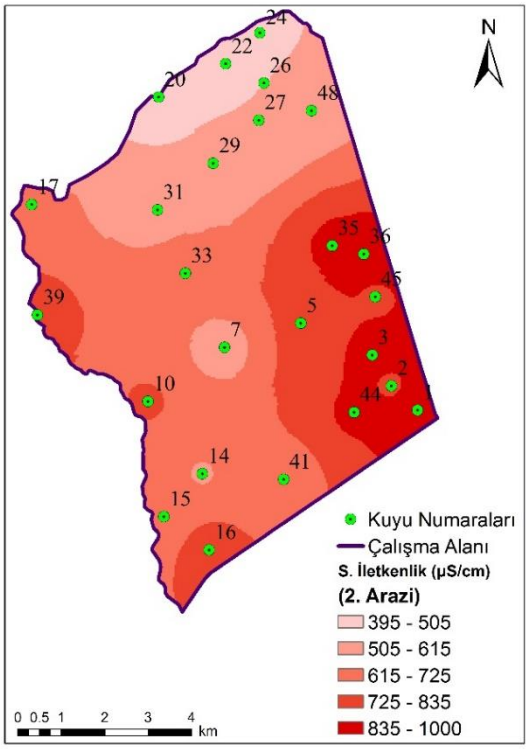


4. İzleme Çalışması (10-11 Mayıs 2016)

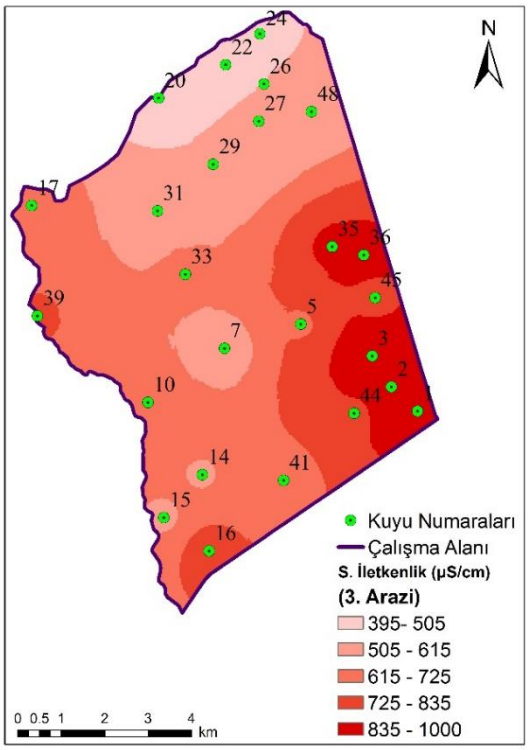
Şekil 7.11. Dört izleme çalışmasında ölçülen pH değerlerinin mekânsal dağılımı.



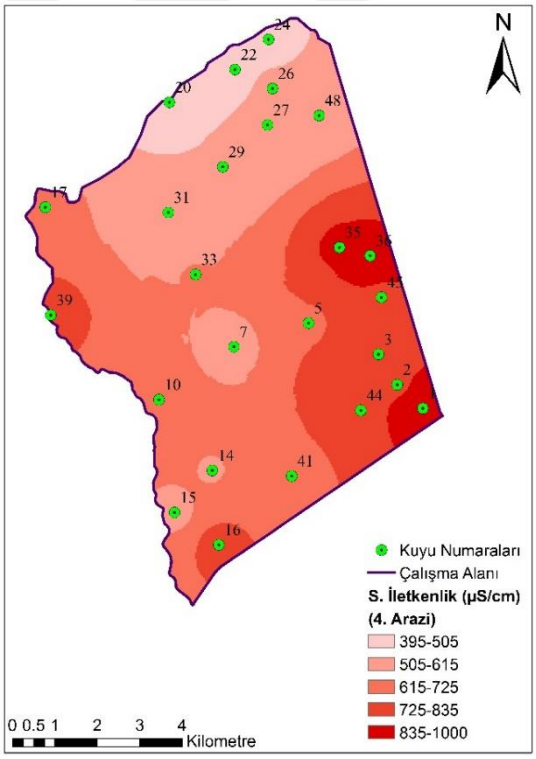
1. İzleme Çalışması (6-7 Ağustos 2015)



2. İzleme Çalışması (18-19 Kasım 2015)

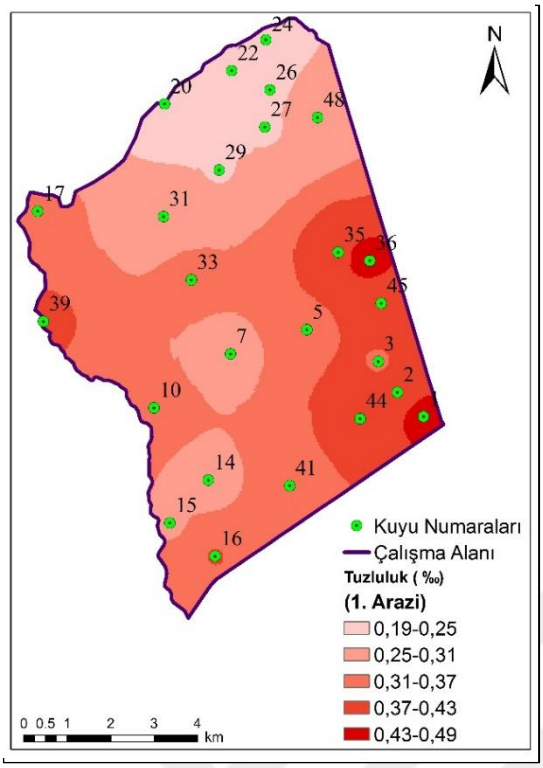


3. İzleme Çalışması (9-10 Şubat 2016)

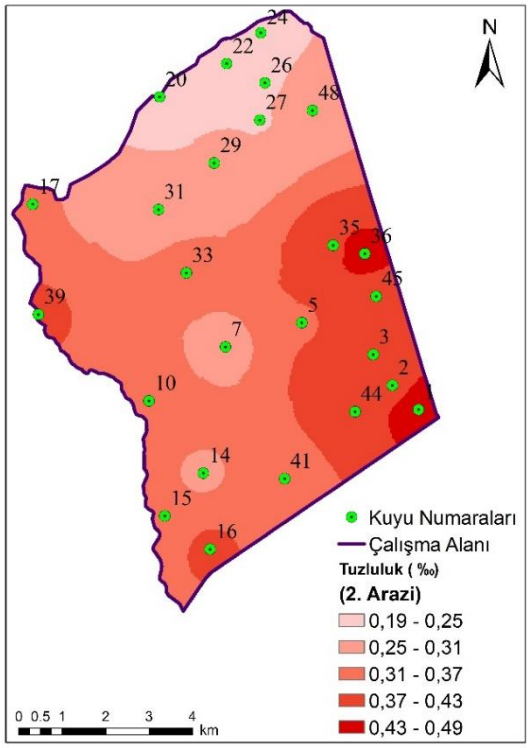


4. İzleme Çalışması (10-11 Mayıs 2016)

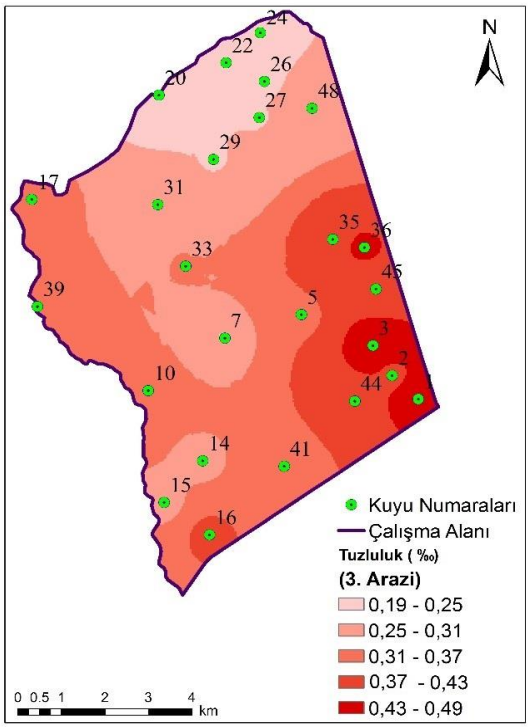
Şekil 7.12. Dört izleme çalışmasında ölçülen spesifik iletkenlik değerlerinin mekânsal dağılımı.



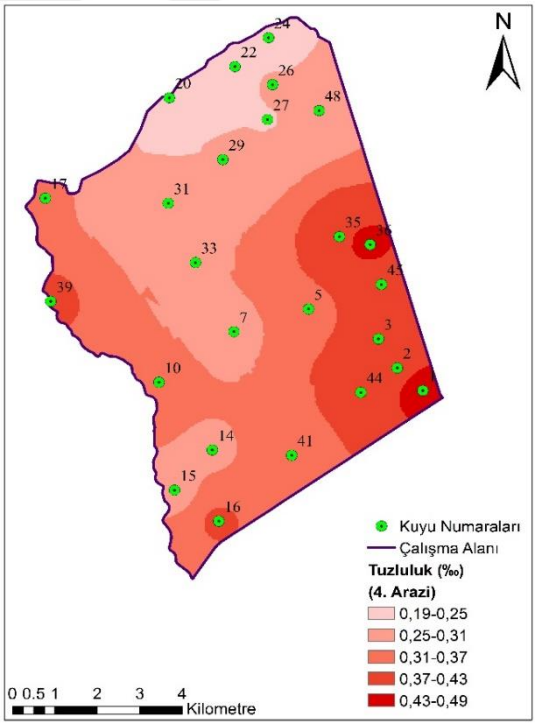
1. İzleme Çalışması (6-7 Ağustos 2015)



2. İzleme Çalışması (18-19 Kasım 2015)

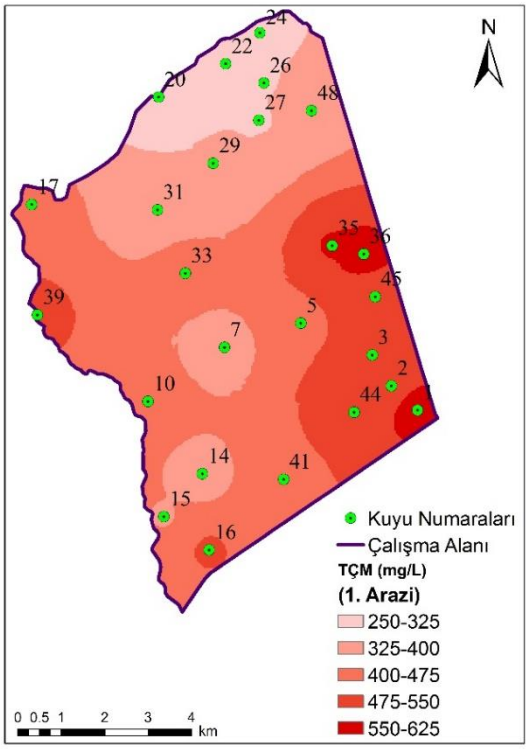


3. İzleme Çalışması (9-10 Şubat 2016)

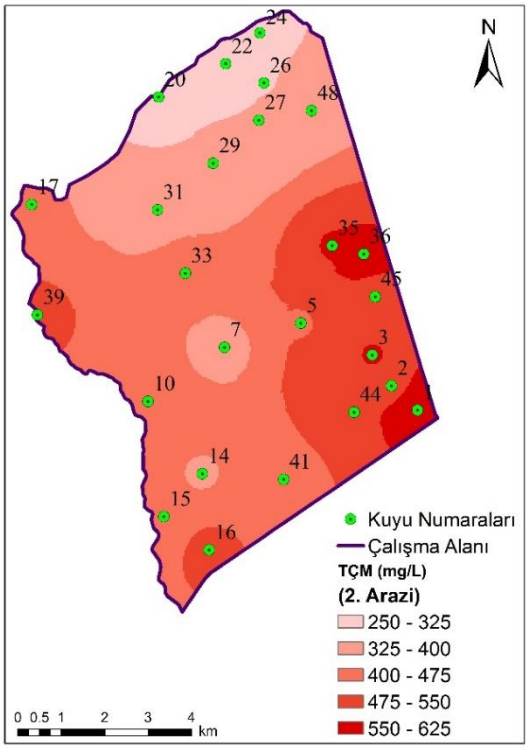


4. İzleme Çalışması (10-11 Mayıs 2016)

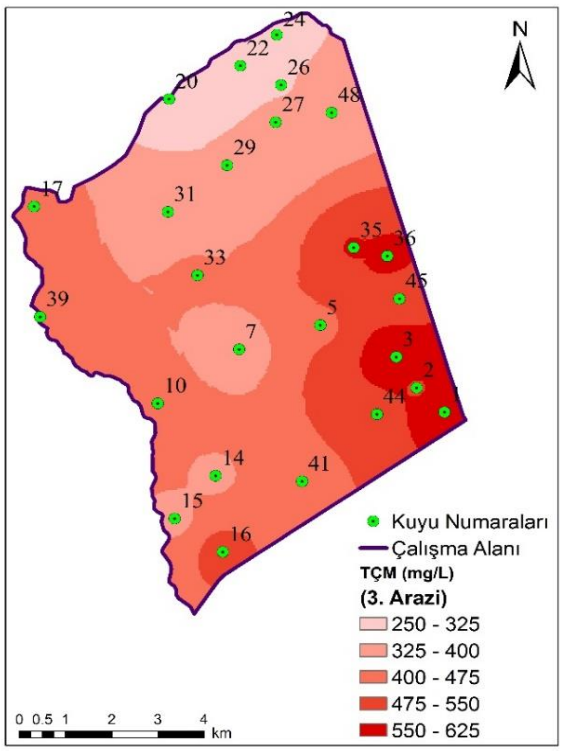
Şekil 7.13. Dört izleme çalışmasında ölçülen tuzluluk değerlerinin mekânsal dağılımı.



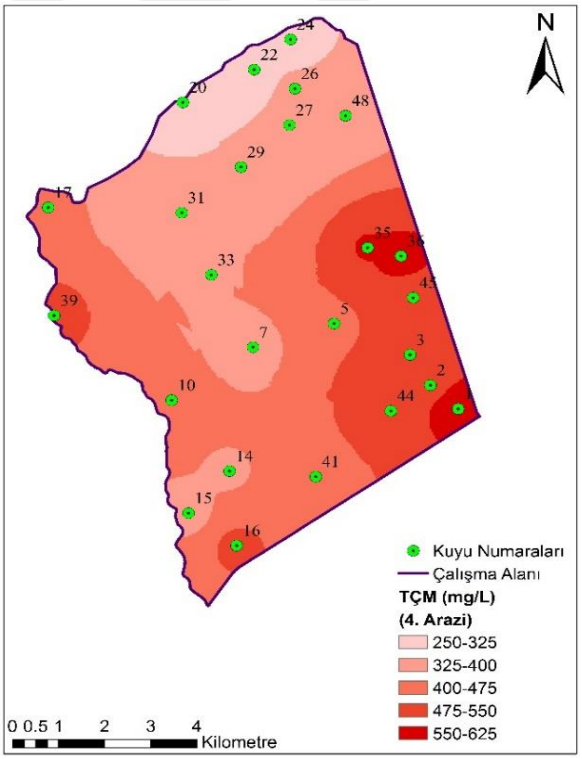
1. İzleme Çalışması (6-7 Ağustos 2015)



2. İzleme Çalışması (18-19 Kasım 2015)

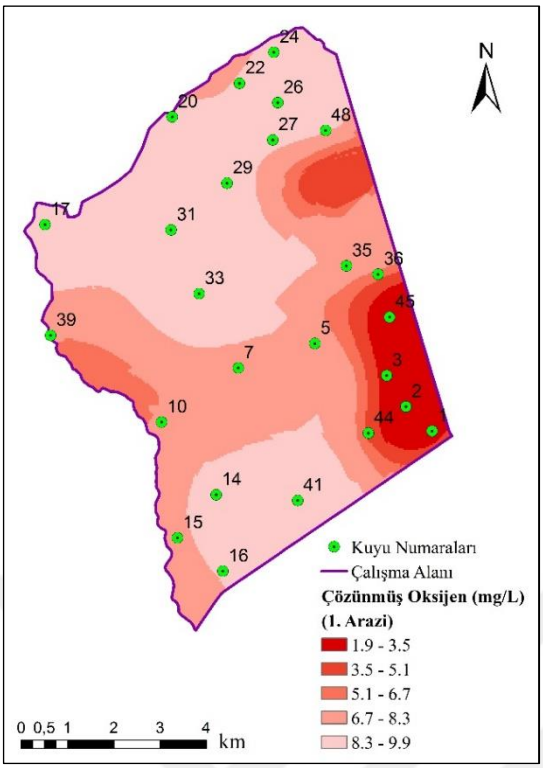


3. İzleme Çalışması (9-10 Şubat 2016)

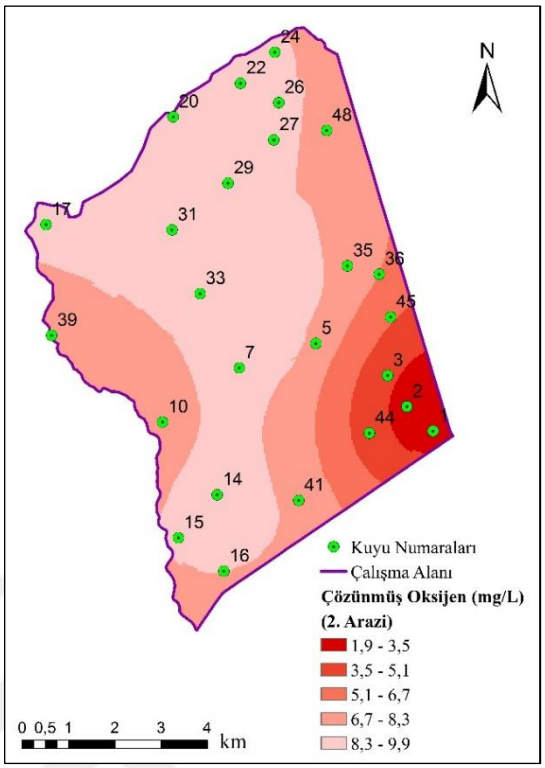


4. İzleme Çalışması (10-11 Mayıs 2016)

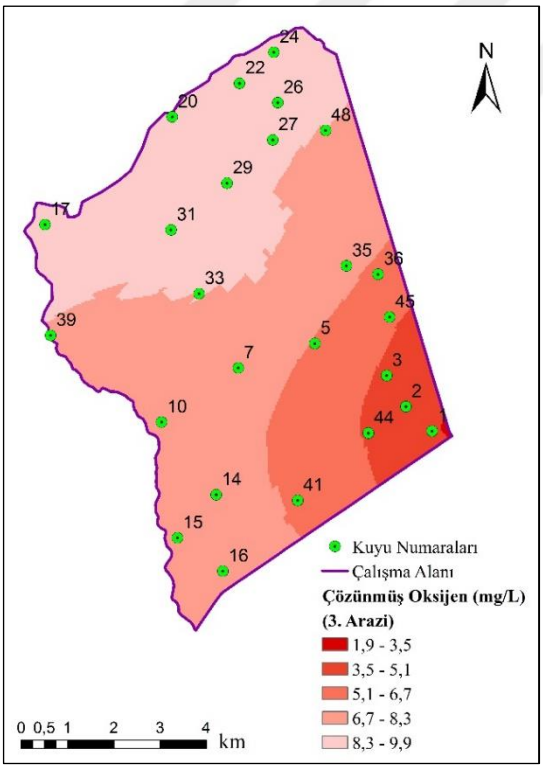
Şekil 7.14. Dört izleme çalışmasında ölçülen TÇM değerlerinin mekânsal dağılımı.



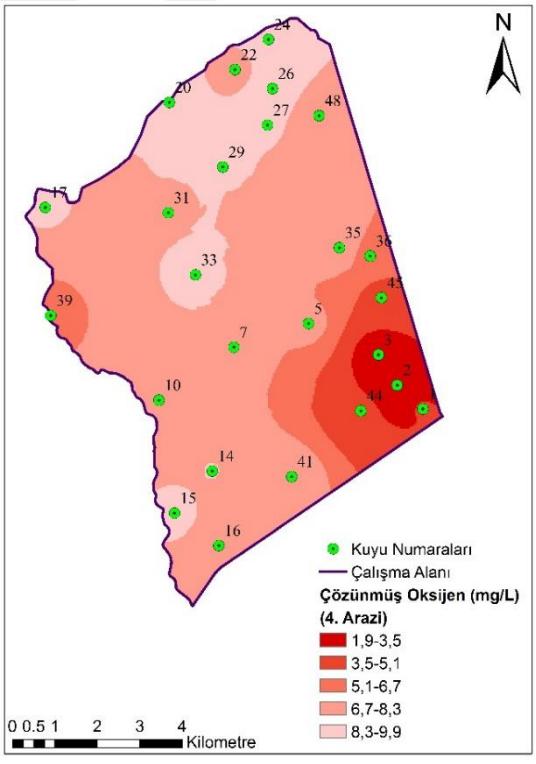
1. İzleme Çalışması (6-7 Ağustos 2015)



2. İzleme Çalışması (18-19 Kasım 2015)

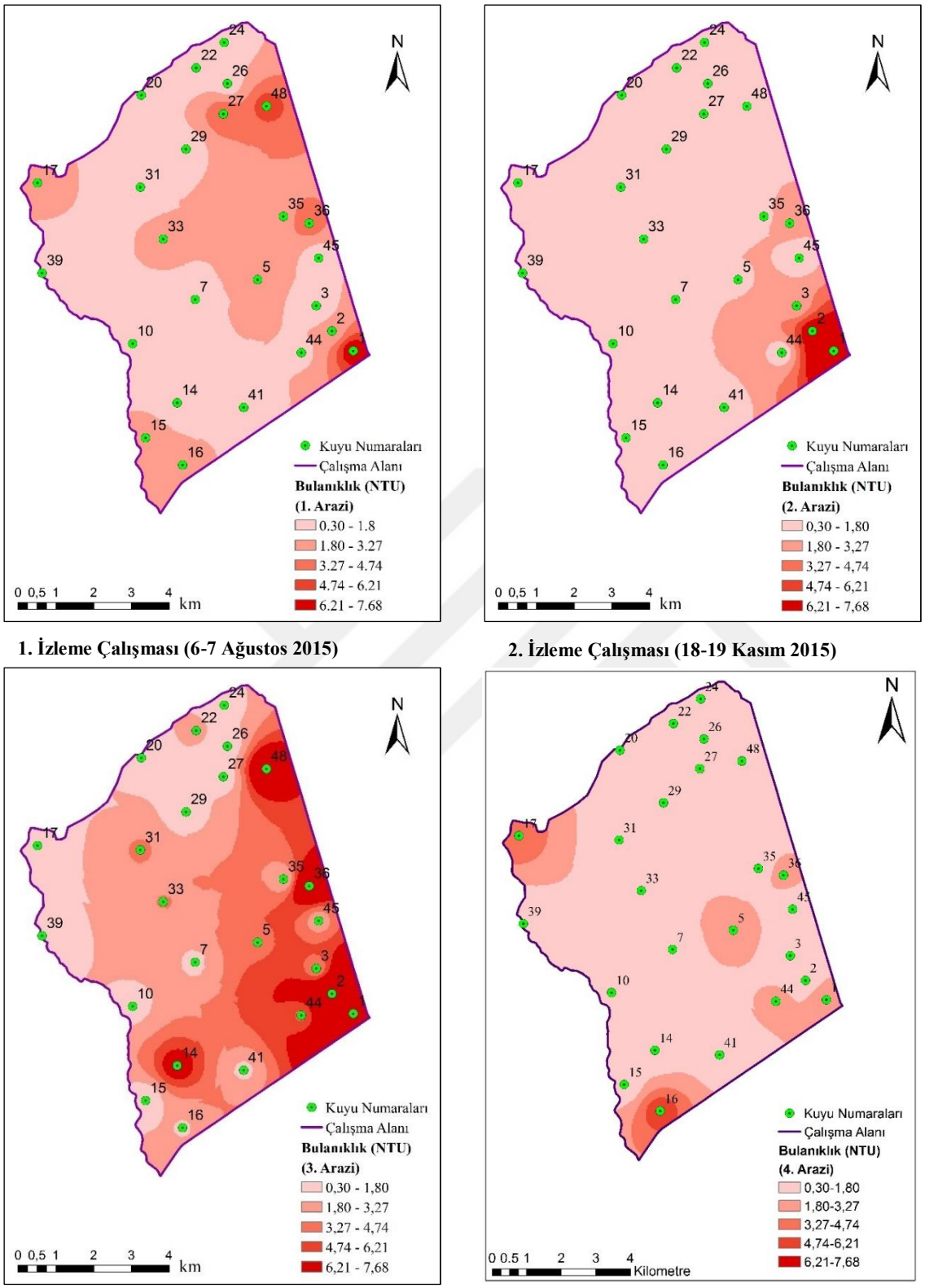


3. İzleme Çalışması (9-10 Şubat 2016)



4. İzleme Çalışması (10-11 Mayıs 2016)

Şekil 7.15. Dört izleme çalışmasında ölçülen çözünmüş oksijen değerlerinin mekânsal dağılımı.



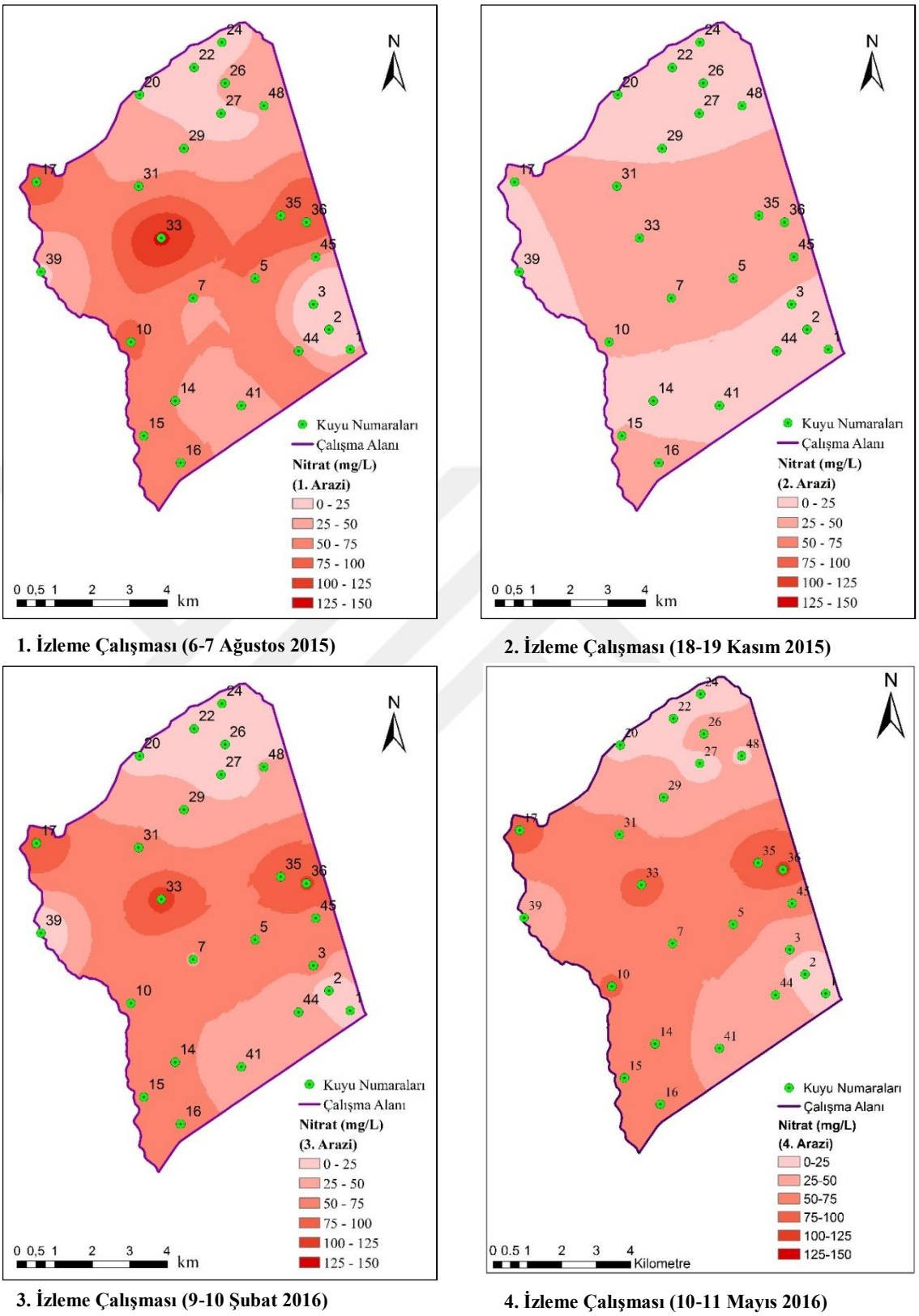
1. İzleme Çalışması (6-7 Ağustos 2015)

2. İzleme Çalışması (18-19 Kasım 2015)

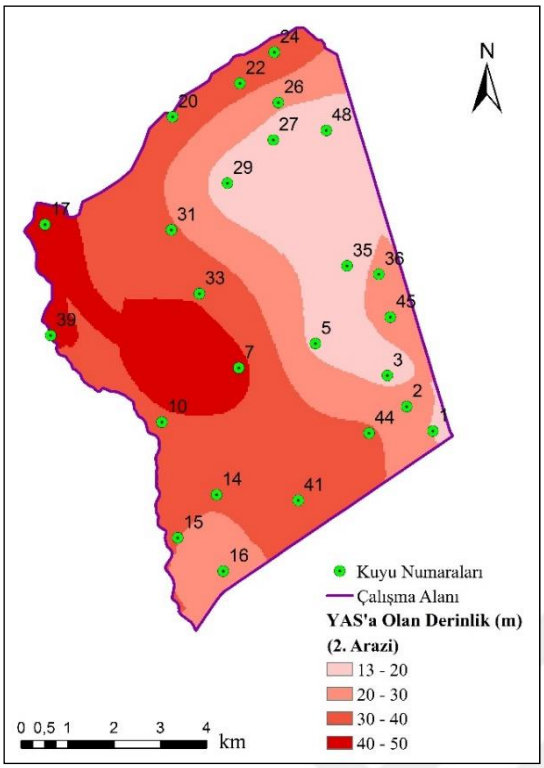
3. İzleme Çalışması (9-10 Şubat 2016)

4. İzleme Çalışması (10-11 Mayıs 2016)

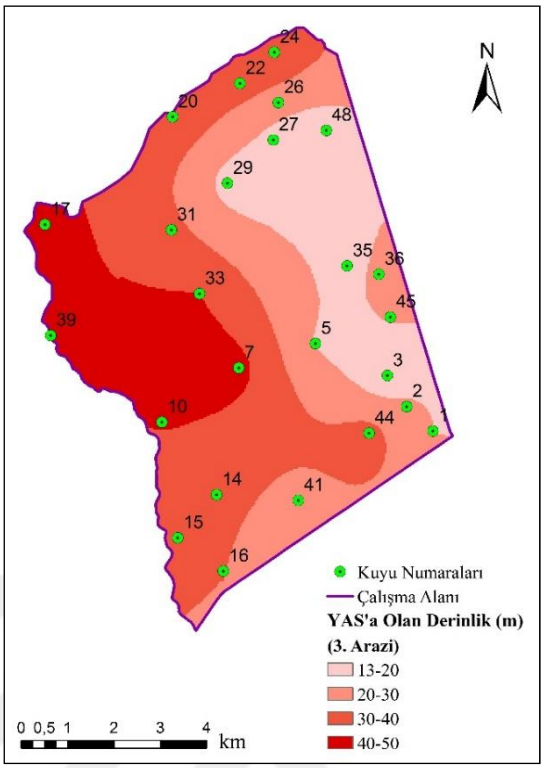
Şekil 7.16. Dört izleme çalışmasında ölçülen bulanıklık değerlerinin mekânsal dağılımı.



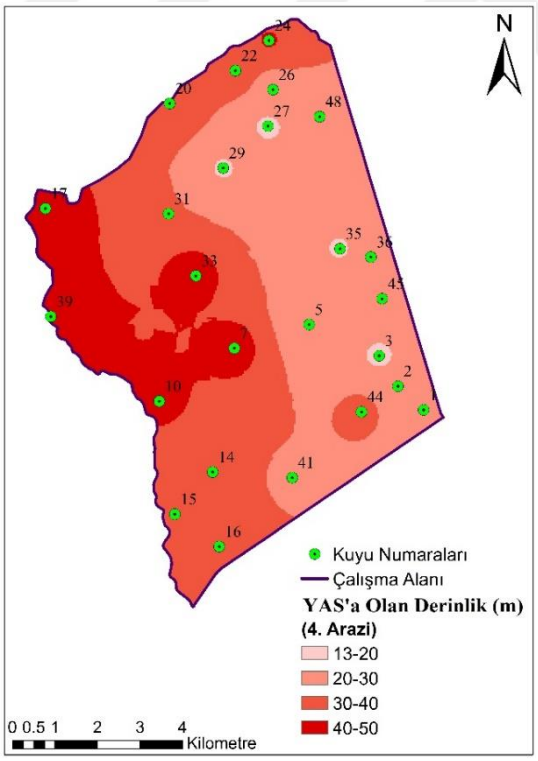
Şekil 7.17. Dört izleme çalışmasında ölçülen nitrat değerlerinin mekânsal dağılımı.



2. İzleme Çalışması (18-19 Kasım 2015)

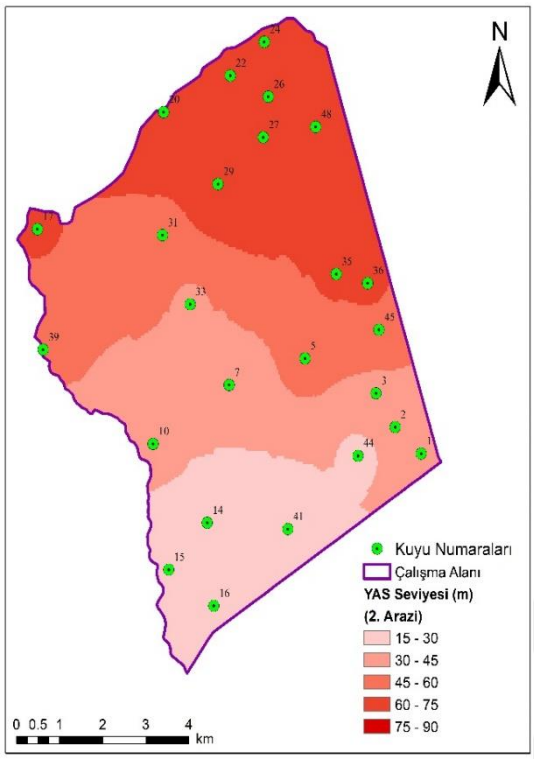


3. İzleme Çalışması (9-10 Şubat 2016)

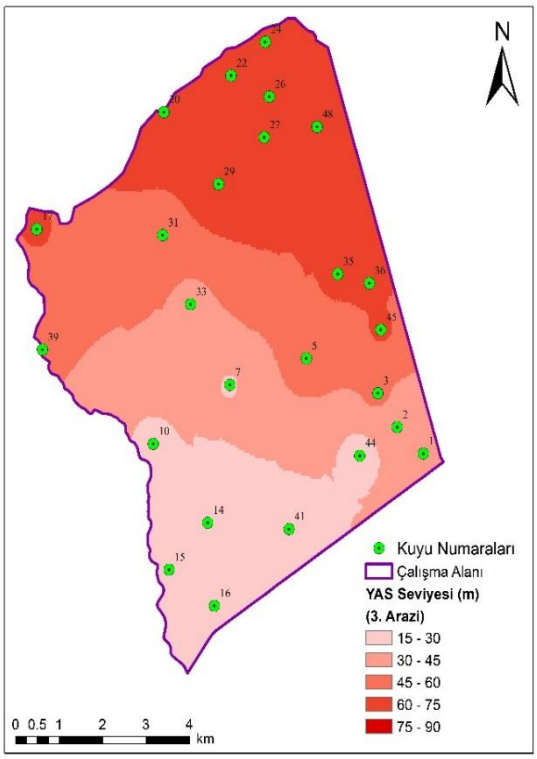


4. İzleme Çalışması (10-11 Mayıs 2016)

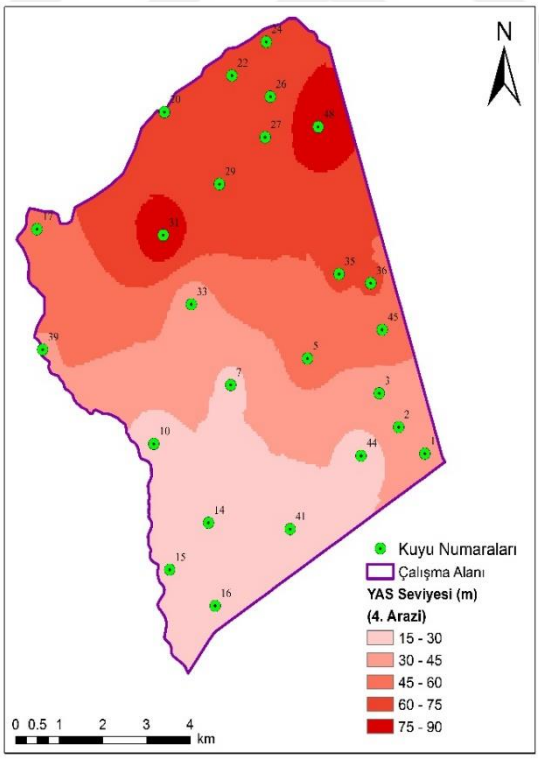
Şekil 7.18. Üç izleme çalışmasında ölçülen YAS'a olan derinlik değerlerinin mekânsal dağılımı.



2. İzleme Çalışması (18-19 Kasım 2015)

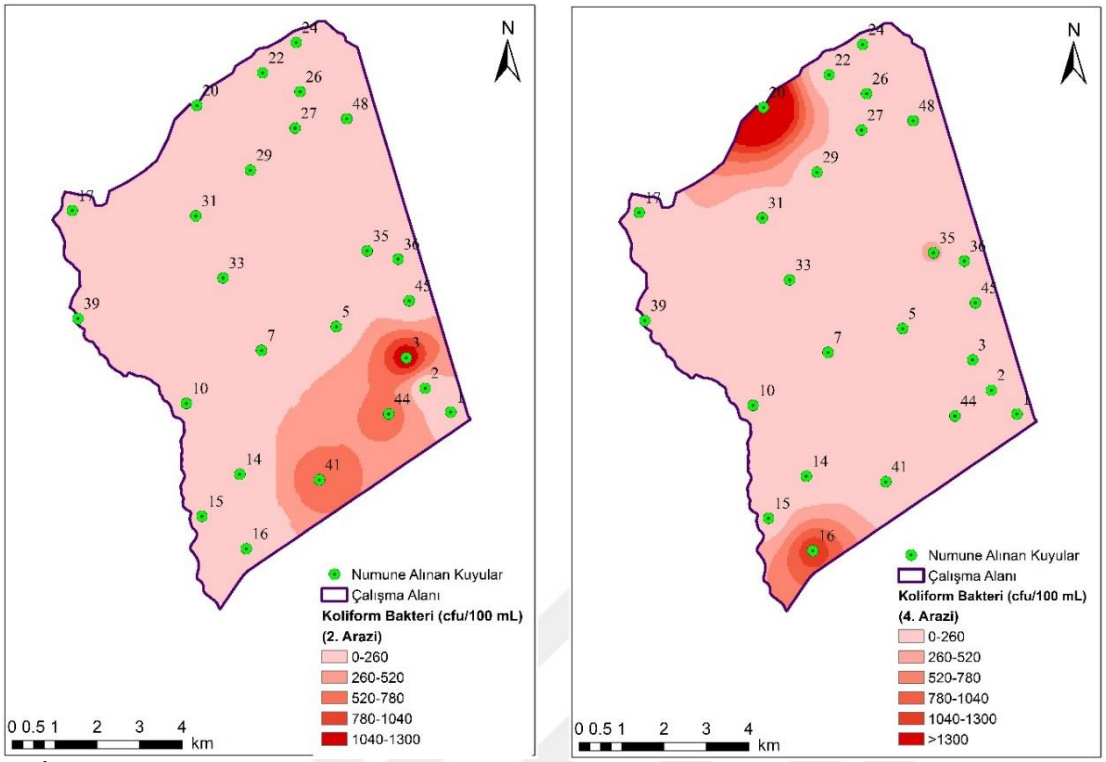


3. İzleme Çalışması (9-10 Şubat 2016)



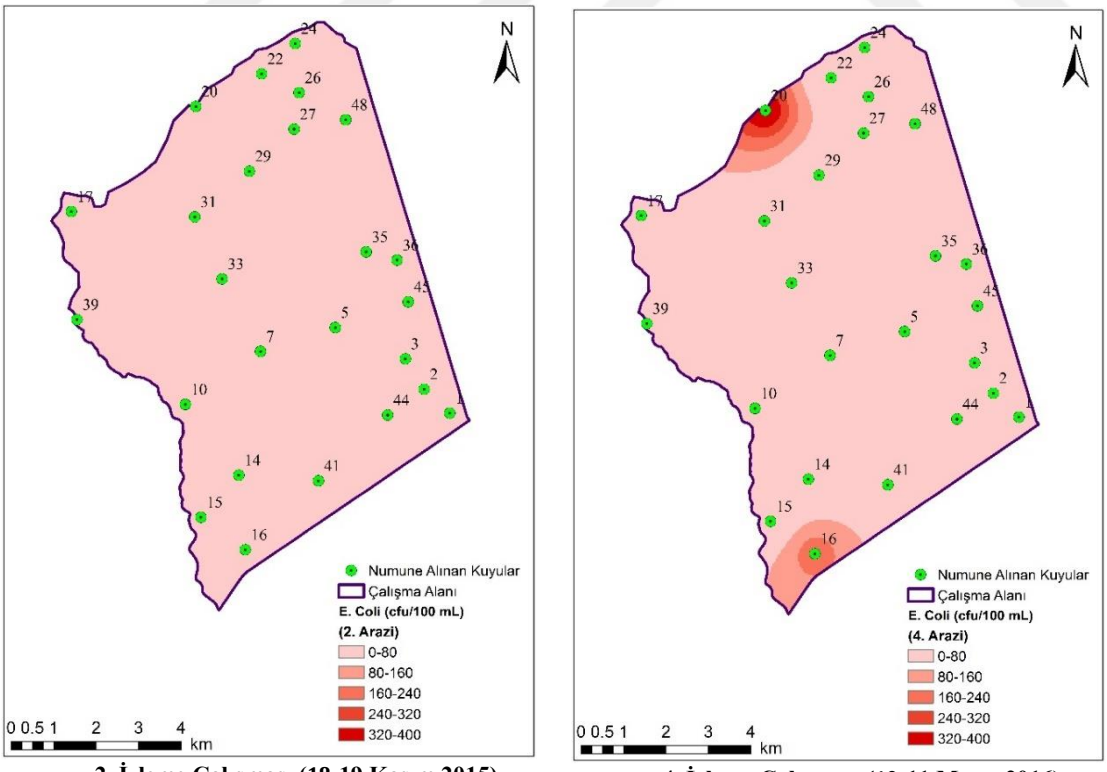
4. İzleme Çalışması (10-11 Mayıs 2016)

Şekil 7.19. YAS seviyesinin mekânsal dağılımı.



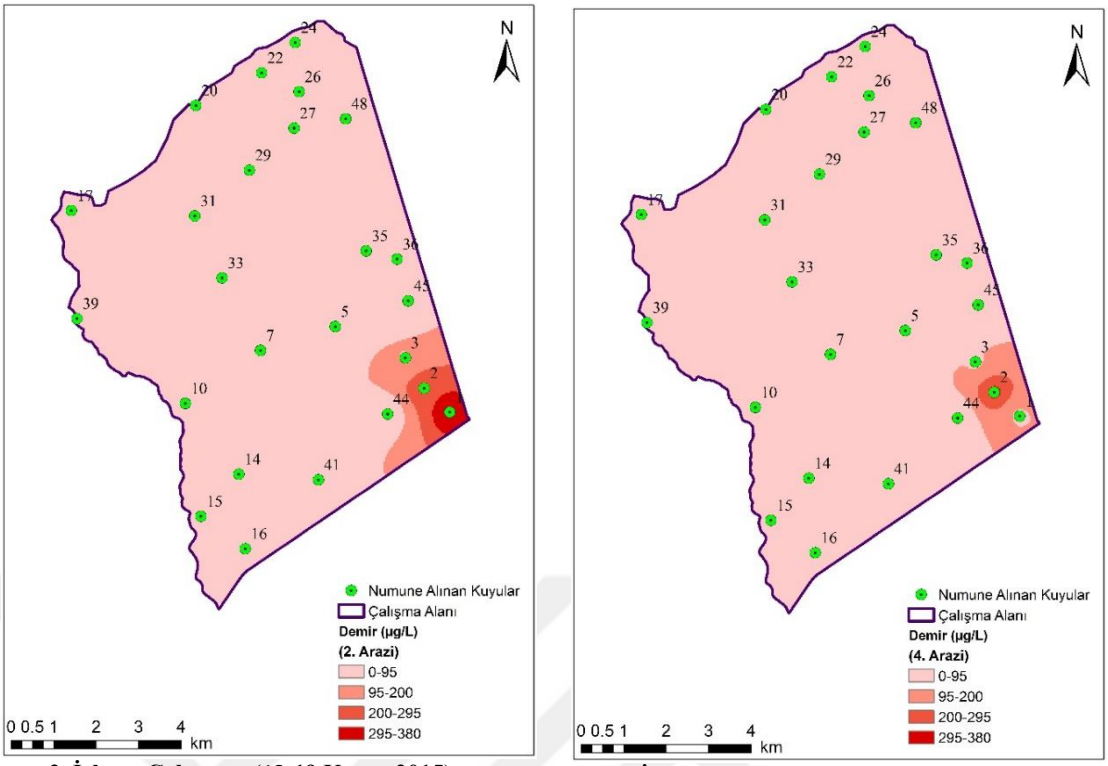
2. İzleme Çalışması (18-19 Kasım 2015) **4. İzleme Çalışması (10-11 Mayıs 2016)**

Şekil 7.20. İki izleme çalışmasına ait koliform bakteri değerlerinin mekânsal dağılımı.



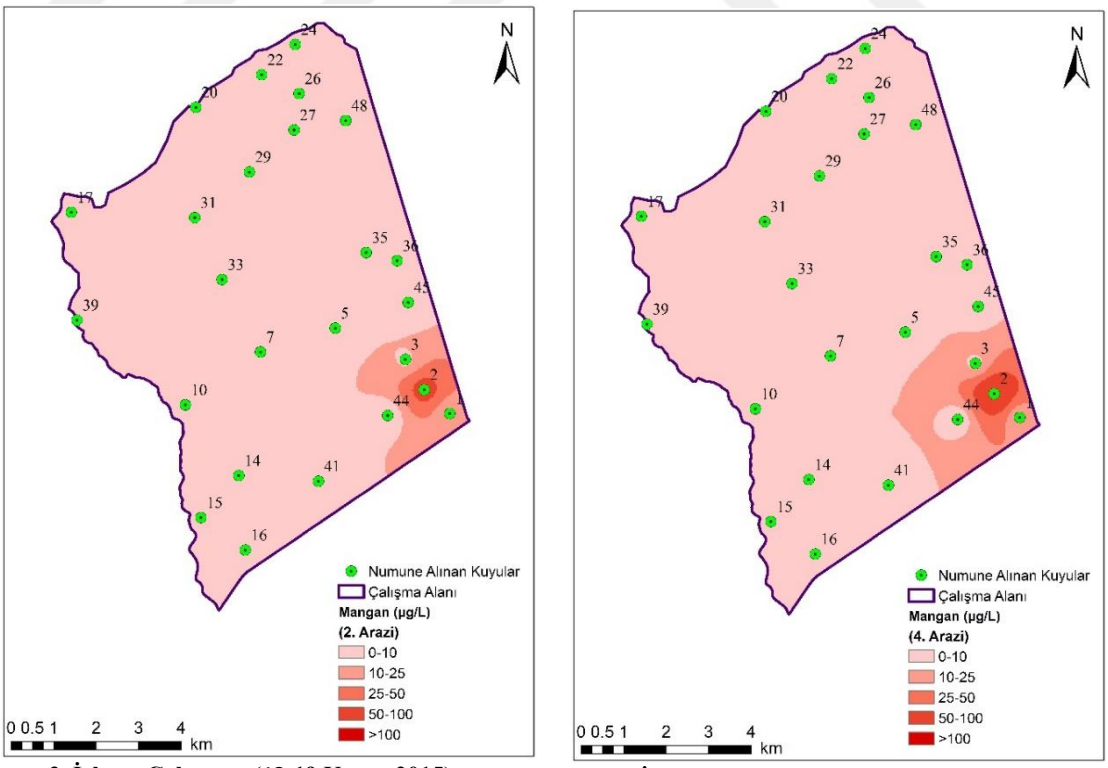
2. İzleme Çalışması (18-19 Kasım 2015) **4. İzleme Çalışması (10-11 Mayıs 2016)**

Şekil 7.21. İki izleme çalışmasına ait *Escherichia coli* değerlerinin mekânsal dağılımı.



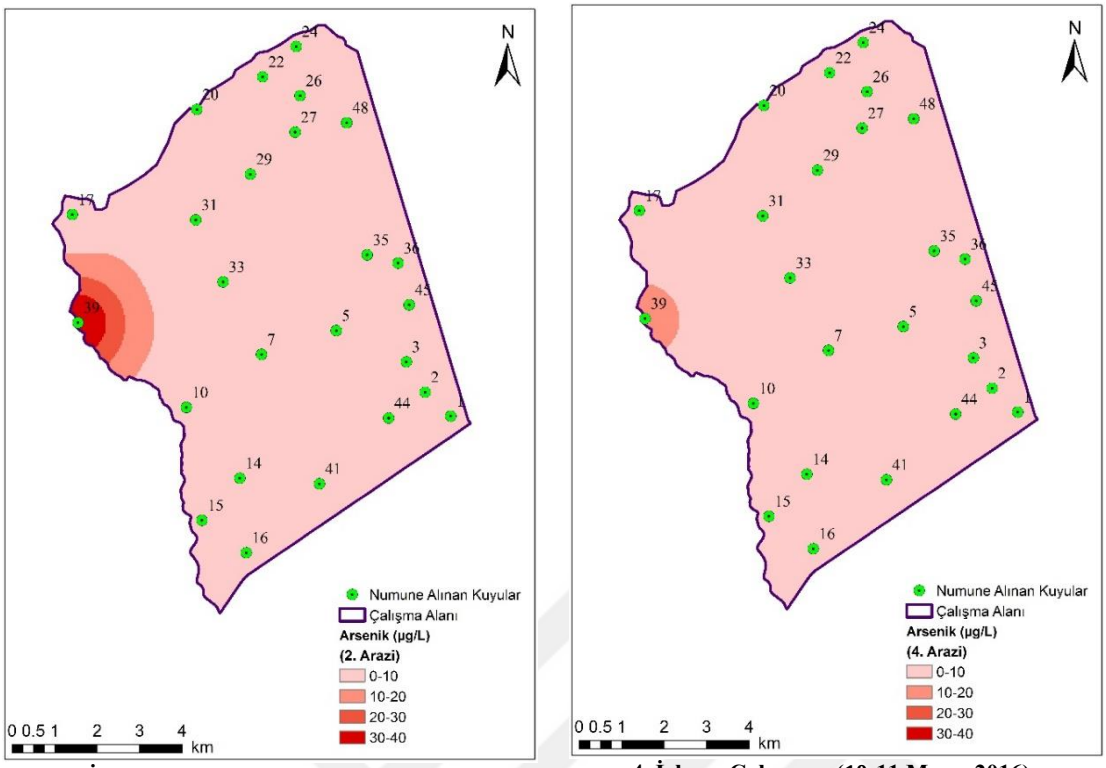
2. İzleme Çalışması (18-19 Kasım 2015) **4. İzleme Çalışması (10-11 Mayıs 2016)**

Şekil 7.22. İki izleme çalışmasına ait demir konsantrasyolarının mekânsal dağılımı.



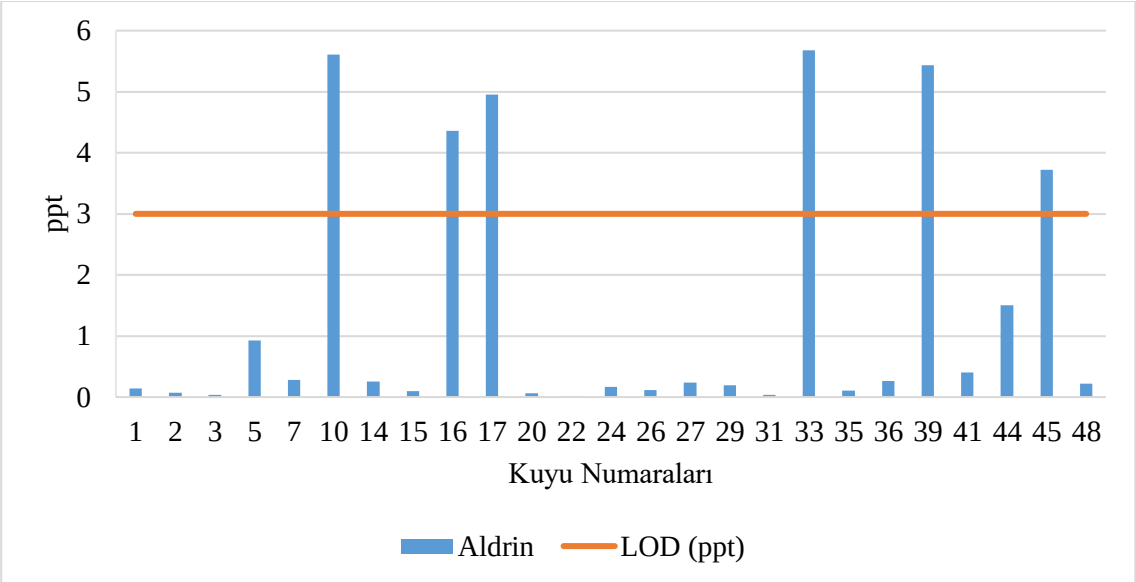
2. İzleme Çalışması (18-19 Kasım 2015) **4. İzleme Çalışması (10-11 Mayıs 2016)**

Şekil 7.23. İki izleme çalışmasına ait mangan konsantrasyonlarının mekânsal dağılımı.

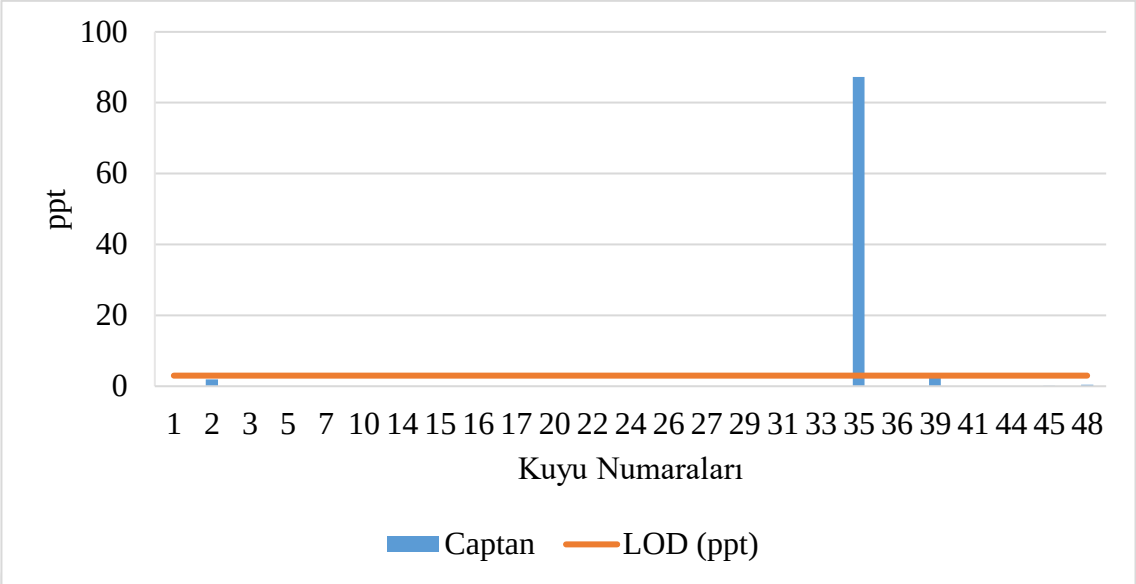


2. İzleme Çalışması (18-19 Kasım 2015) **4. İzleme Çalışması (10-11 Mayıs 2016)**

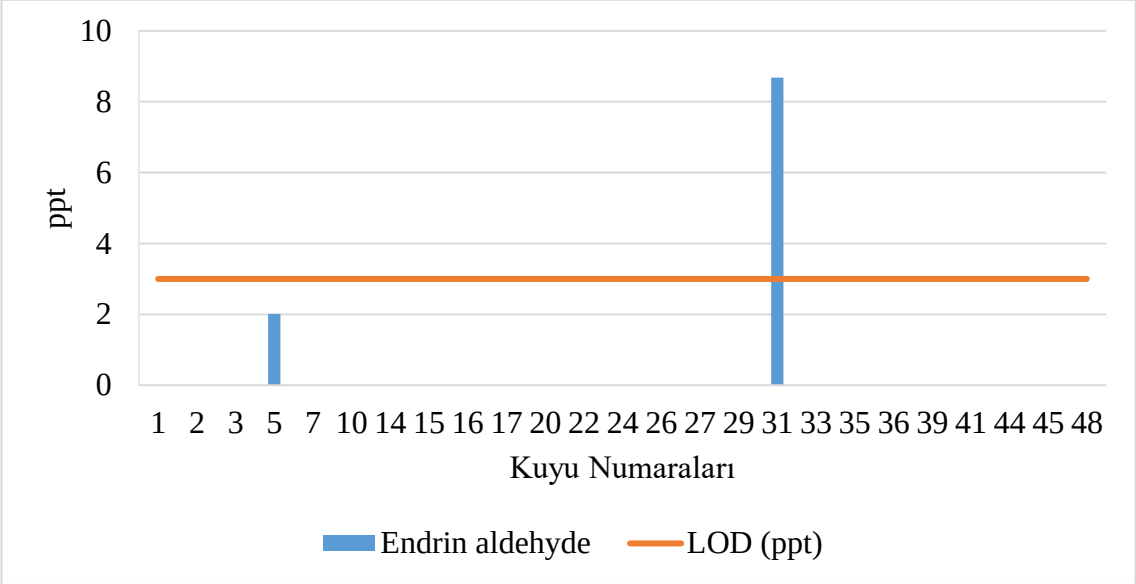
Şekil 7.24. İki izleme çalışmasına ait arsenik konsantrasyonlarının mekânsal dağılımı.



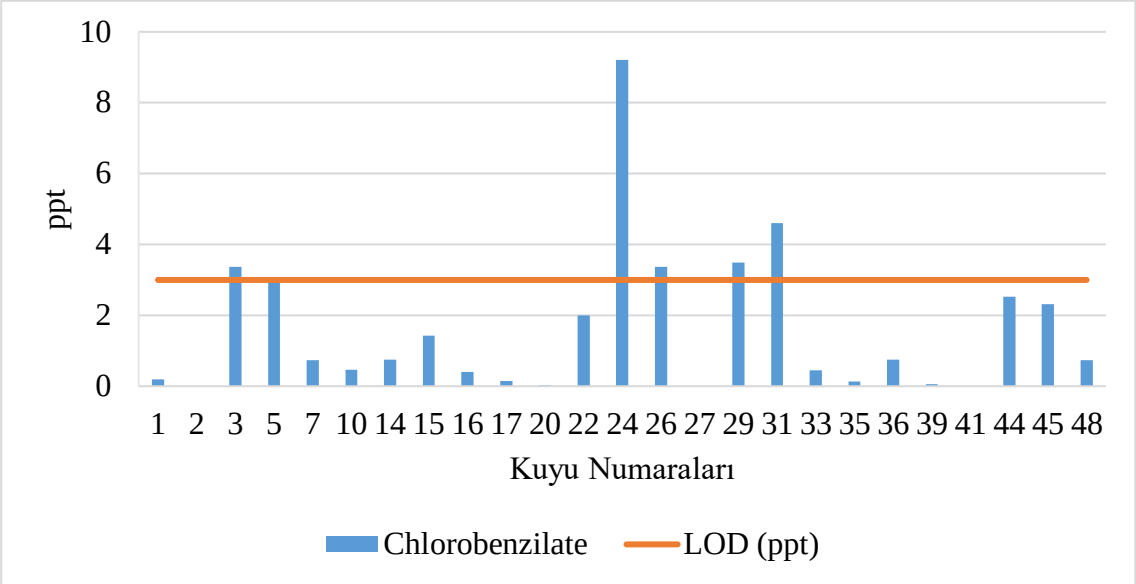
Şekil 7.25. Kuyularda ölçülen aldrin değerleri.



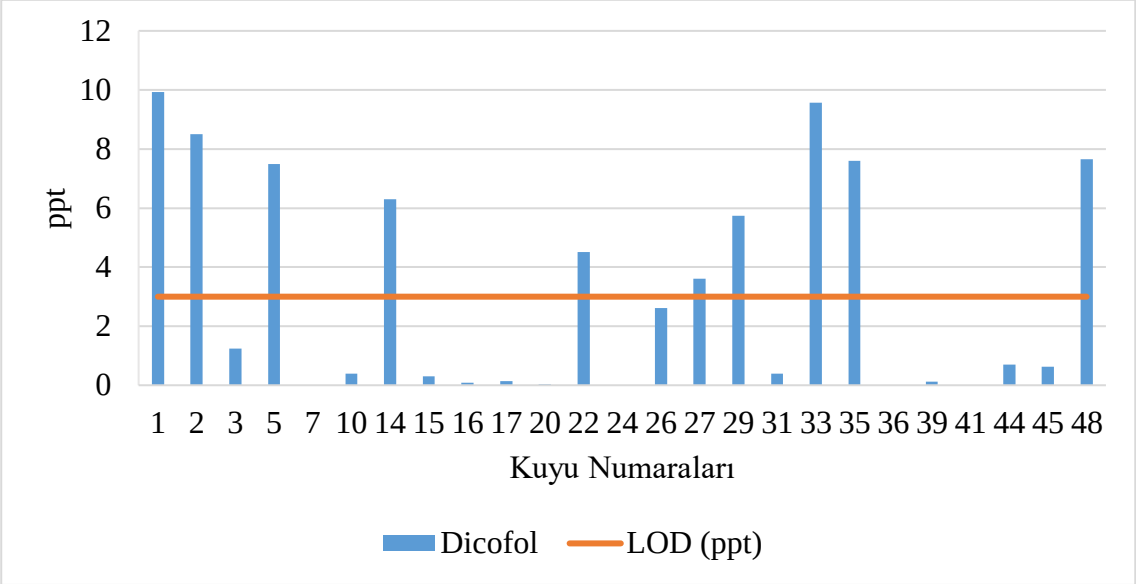
Şekil 7.26. Kuyularda ölçülen captan değerleri.



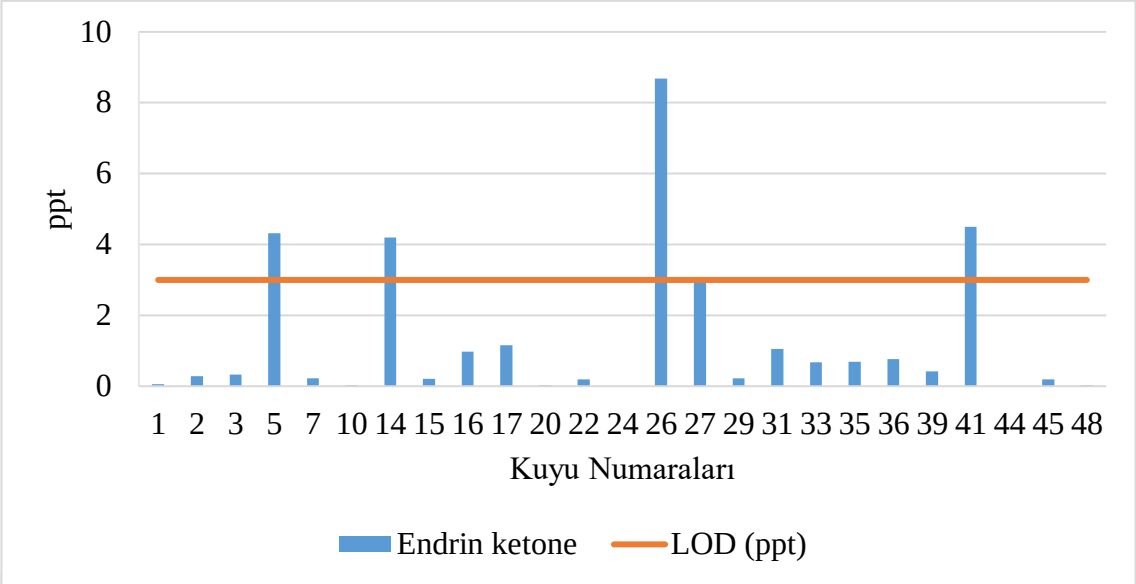
Şekil 7.27. Kuyularda ölçülen endrin aldehyde değerleri.



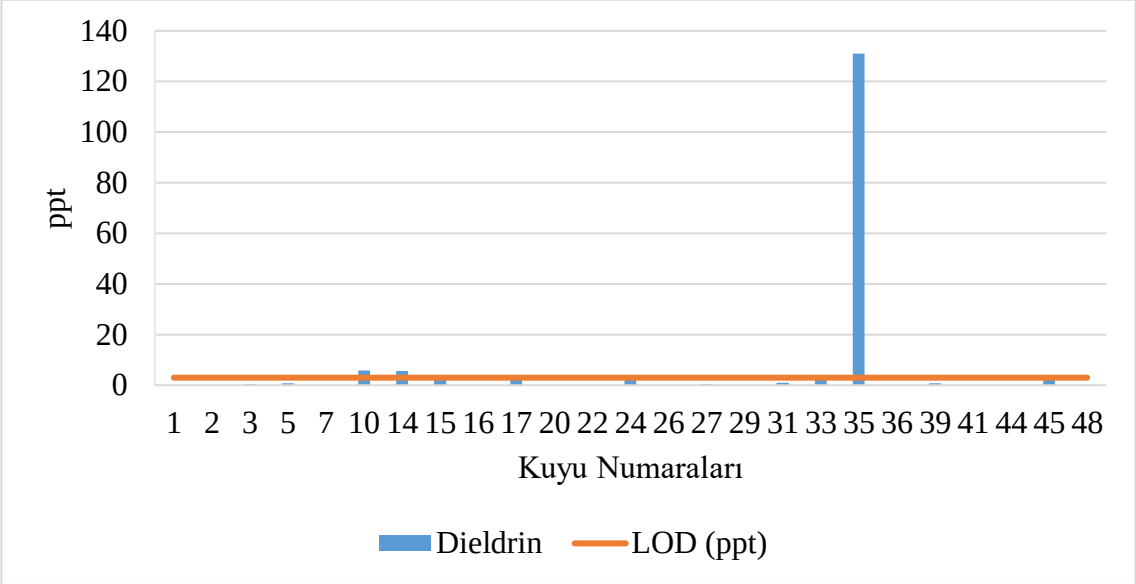
Şekil 7.28. Kuyularda ölçülen endrin aldehyde değerleri.



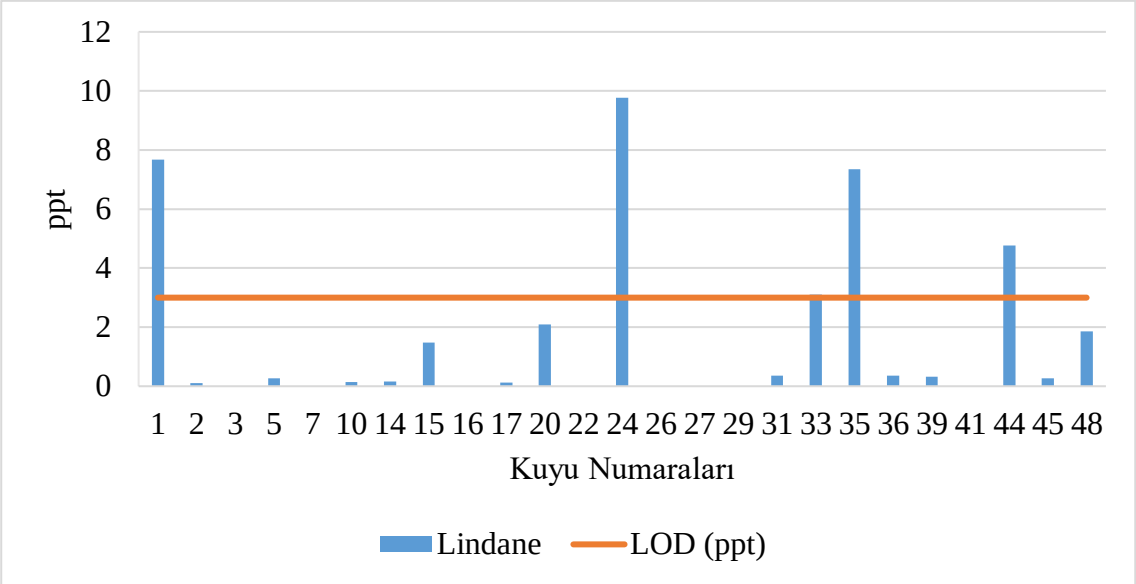
Şekil 7.29. Kuyularda ölçülen dicofol değerleri.



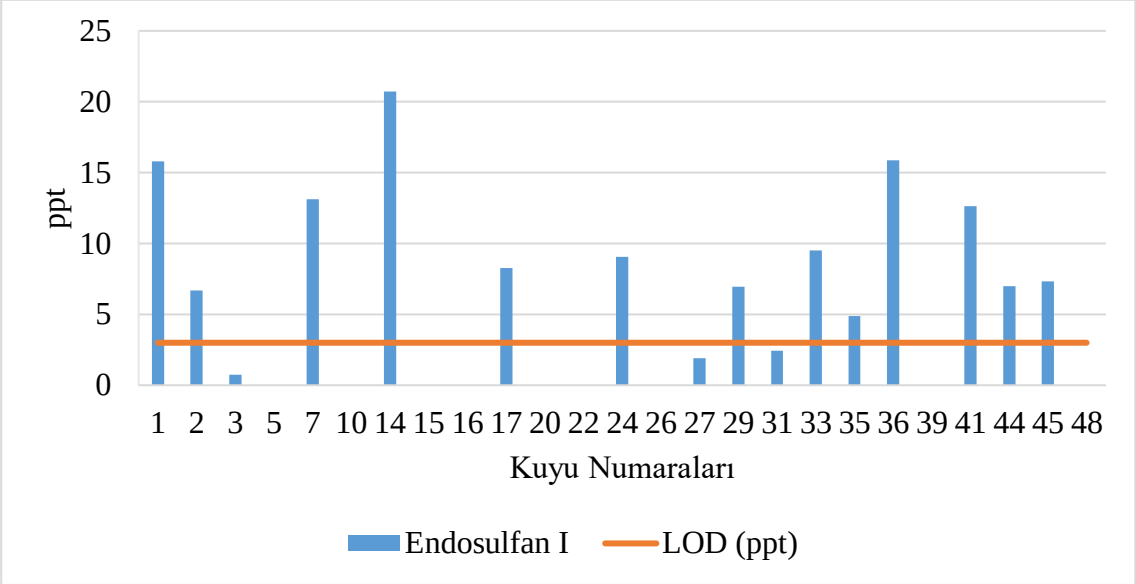
Şekil 7.30. Kuyularda ölçülen endrin ketone değerleri.



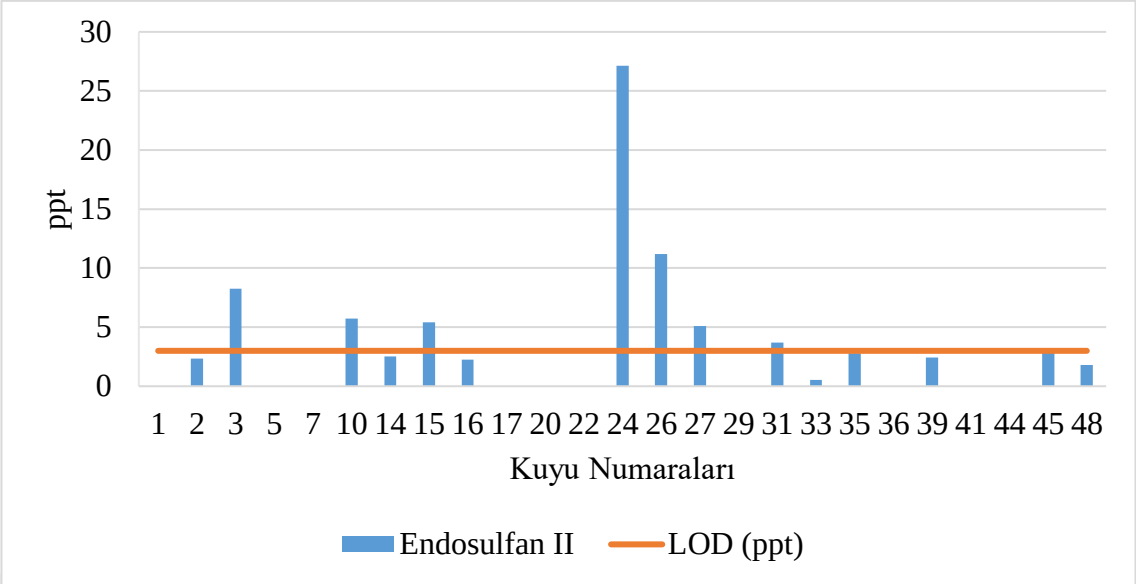
Şekil 7.31. Kuyularda ölçülen dieldrin değerleri.



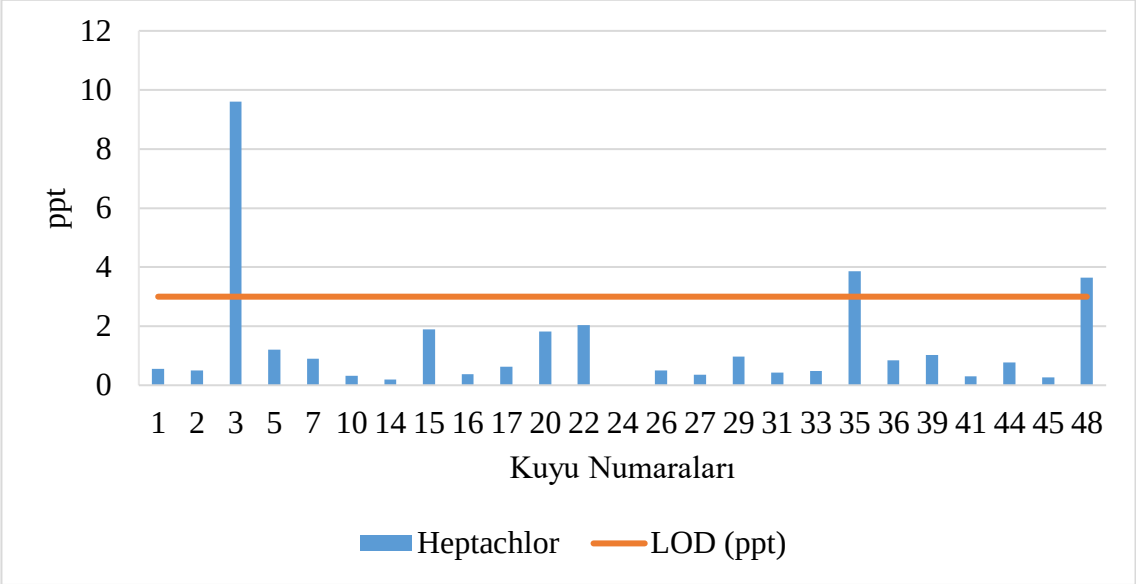
Şekil 7.32. Kuyularda ölçülen lindane değerleri.



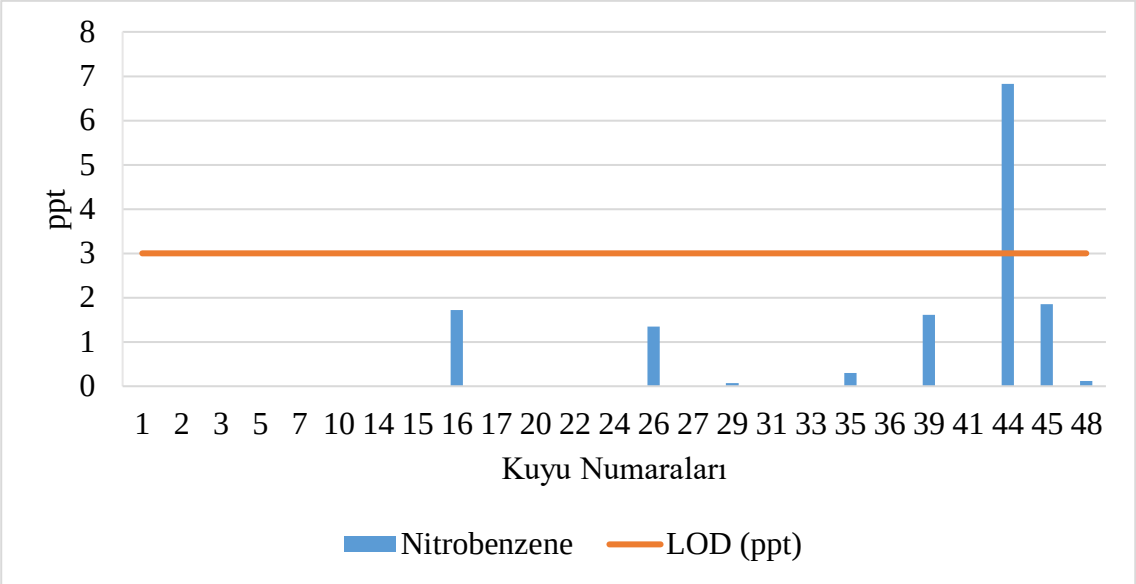
Şekil 7.33. Kuyularda ölçülen endosulfan I değerleri.



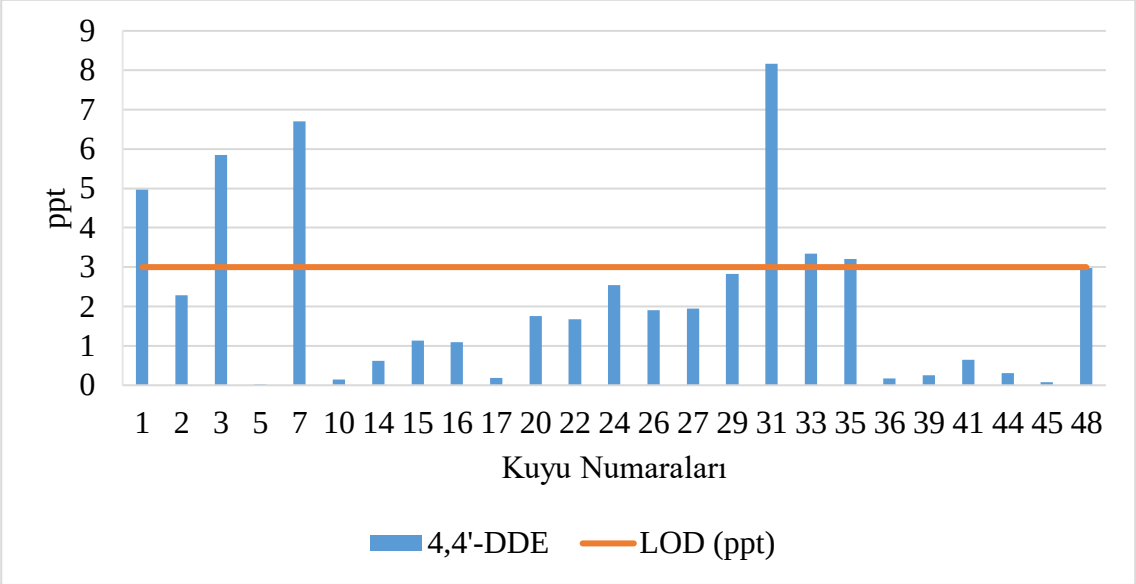
Şekil 7.34. Kuyularda ölçülen endosulfan II değerleri.



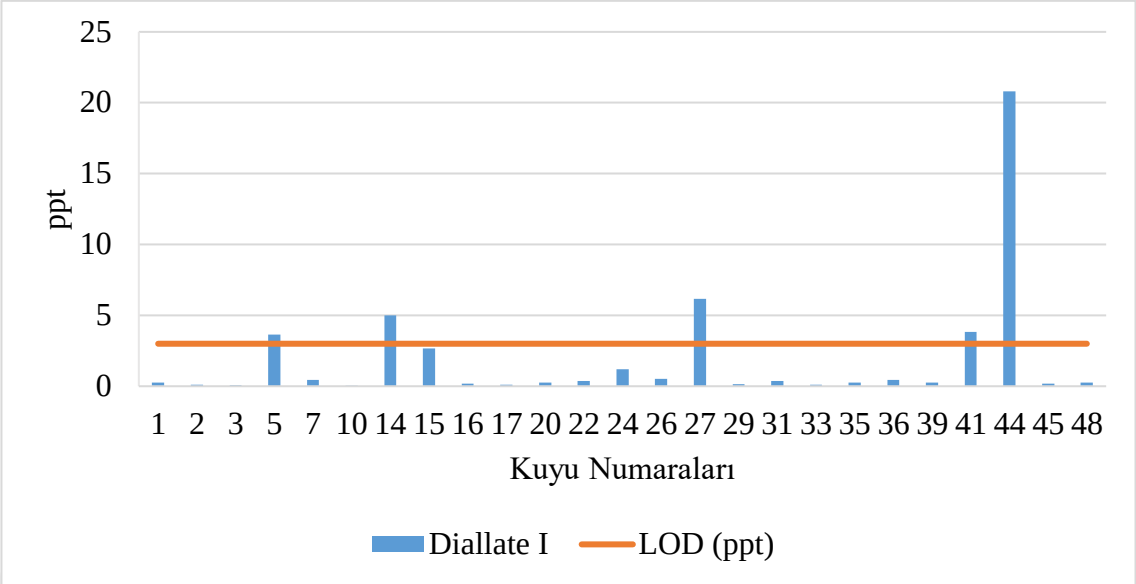
Şekil 7.35. Kuyularda ölçülen heptacholor değerleri.



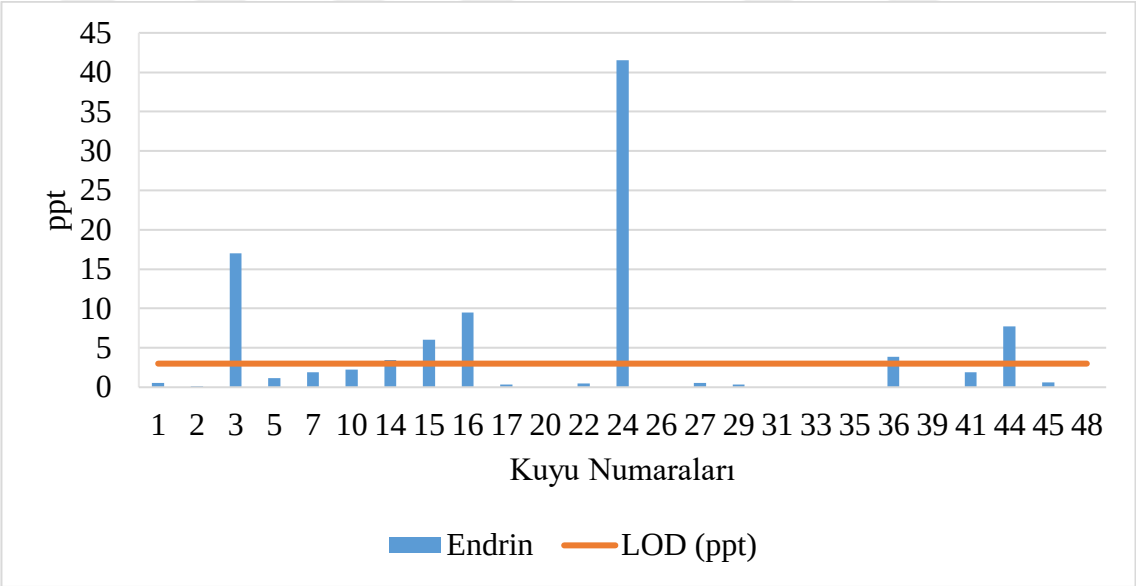
Şekil 7.36. Kuyularda ölçülen nitrobenzene değerleri.



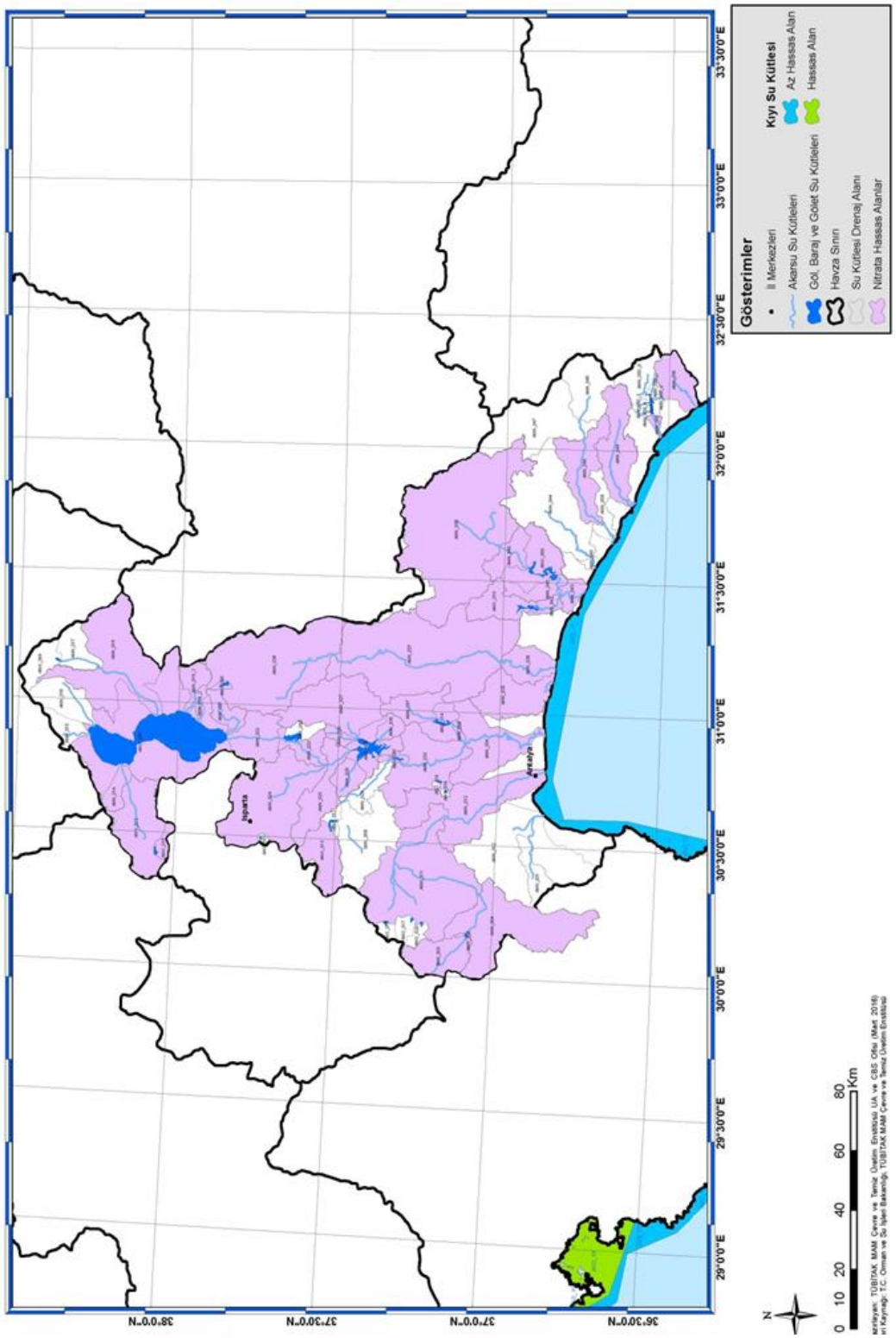
Şekil 7.37. Kuyularda ölçülen 4,4’-DDE değerleri.



Şekil 7.38. Kuyularda ölçülen Diallete I değerleri.



Şekil 7.39. Kuyularda ölçülen Endrin değerleri.



Şekil 7.40. Antalya Havzası İçin NBH'ler.

EK-2

Çizelge 7.11. DRASTIC-Genel yönteminin hesaplanması için kullanılan değerler.

Kuyu No	Dr	Dw	D İndex	Rr	Rw	R İndex	Ar	Aw	A İndex	Sr	Sw	S İndex	Tr	Tw	T İndex	Ir	Iw	I İndex	Cr	Cw	C İndex	DI
1	3	5	15	8	4	32	8	3	24	5	2	10	9	1	9	6	5	30	10	3	30	150
2	2	5	10	8	4	32	8	3	24	5	2	10	9	1	9	6	5	30	10	3	30	145
3	3	5	15	8	4	32	8	3	24	3	2	6	9	1	9	6	5	30	10	3	30	146
5	3	5	15	9	4	36	10	3	30	3	2	6	9	1	9	10	5	50	10	3	30	176
7	1	5	5	9	4	36	10	3	30	3	2	6	9	1	9	10	5	50	10	3	30	166
10	1	5	5	9	4	36	10	3	30	3	2	6	9	1	9	10	5	50	10	3	30	166
14	1	5	5	9	4	36	10	3	30	3	2	6	9	1	9	10	5	50	10	3	30	166
15	1	5	5	9	4	36	10	3	30	3	2	6	9	1	9	10	5	50	10	3	30	166
16	2	5	10	9	4	36	10	3	30	3	2	6	9	1	9	10	5	50	10	3	30	171
17	1	5	5	9	4	36	10	3	30	3	2	6	9	1	9	10	5	50	10	3	30	166
20	1	5	5	9	4	36	10	3	30	3	2	6	9	1	9	10	5	50	10	3	30	166
22	1	5	5	9	4	36	10	3	30	3	2	6	9	1	9	10	5	50	10	3	30	166
24	1	5	5	9	4	36	10	3	30	3	2	6	9	1	9	10	5	50	10	3	30	166
26	2	5	15	9	4	36	10	3	30	3	2	6	9	1	9	10	5	50	10	3	30	171
27	3	5	15	9	4	36	10	3	30	3	2	6	9	1	9	10	5	50	10	3	30	176
29	3	5	15	9	4	36	10	3	30	3	2	6	9	1	9	10	5	50	10	3	30	176
31	1	5	5	9	4	36	10	3	30	3	2	6	9	1	9	10	5	50	10	3	30	166
33	1	5	5	9	4	36	10	3	30	3	2	6	9	1	9	10	5	50	10	3	30	166
35	3	5	15	8	4	32	8	3	24	5	2	10	9	1	9	6	5	30	10	3	30	150
36	3	5	15	8	4	32	8	3	24	3	2	6	9	1	9	6	5	30	10	3	30	146
39	1	5	5	9	4	36	10	3	30	3	2	6	9	1	9	10	5	50	10	3	30	166
41	1	5	5	9	4	36	10	3	30	3	2	6	9	1	9	10	5	50	10	3	30	166
44	1	5	5	9	4	36	10	3	30	3	2	6	9	1	9	10	5	50	10	3	30	166
45	2	5	10	8	4	32	8	3	24	5	2	10	9	1	9	6	5	30	10	3	30	145
48	5	5	25	9	4	36	10	3	30	3	2	6	9	1	9	10	5	50	10	3	30	186

Çizelge 7.12. DRASTIC-Pestisit yönteminin hesaplanması için kullanılan değerler.

Kuyu No	Dr	Dw	D İndex	Rr	Rw	R index	Ar	Aw	A index	Sr	Sw	S index	Tr	Tw	T index	Ir	Iw	I index	Cr	Cw	C index	DI
1	3	5	15	8	4	32	8	3	24	6	5	30	9	3	27	6	4	24	10	2	20	172
2	2	5	10	8	4	32	8	3	24	6	5	30	9	3	27	6	4	24	10	2	20	167
3	3	5	15	8	4	32	8	3	24	5	5	25	9	3	27	6	4	24	10	2	20	167
5	3	5	15	9	4	36	10	3	30	4	5	20	9	3	27	10	4	40	10	2	20	188
7	1	5	5	9	4	36	10	3	30	5	5	25	9	3	27	10	4	40	10	2	20	183
10	1	5	5	9	4	36	10	3	30	6	5	30	9	3	27	10	4	40	10	2	20	188
14	1	5	5	9	4	36	10	3	30	6	5	30	9	3	27	10	4	40	10	2	20	188
15	1	5	5	9	4	36	10	3	30	6	5	30	9	3	27	10	4	40	10	2	20	188
16	2	5	10	9	4	36	10	3	30	5	5	25	9	3	27	10	4	40	10	2	20	188
17	1	5	5	9	4	36	10	3	30	6	5	30	9	3	27	10	4	40	10	2	20	188
20	1	5	5	9	4	36	10	3	30	4	5	20	9	3	27	10	4	40	10	2	20	178
22	1	5	5	9	4	36	10	3	30	4	5	20	9	3	27	10	4	40	10	2	20	178
24	1	5	5	9	4	36	10	3	30	6	5	30	9	3	27	10	4	40	10	2	20	188
26	2	5	15	9	4	36	10	3	30	6	5	30	9	3	27	10	4	40	10	2	20	193
27	3	5	15	9	4	36	10	3	30	6	5	30	9	3	27	10	4	40	10	2	20	198
29	3	5	15	9	4	36	10	3	30	5	5	25	9	3	27	10	4	40	10	2	20	193
31	1	5	5	9	4	36	10	3	30	3	5	15	9	3	27	10	4	40	10	2	20	173
33	1	5	5	9	4	36	10	3	30	6	5	30	9	3	27	10	4	40	10	2	20	188
35	3	5	15	8	4	32	8	3	24	6	5	30	9	3	27	6	4	24	10	2	20	172
36	3	5	15	8	4	32	8	3	24	6	5	30	9	3	27	6	4	24	10	2	20	172
39	1	5	5	9	4	36	10	3	30	6	5	30	9	3	27	10	4	40	10	2	20	188
41	1	5	5	9	4	36	10	3	30	4	5	20	9	3	27	10	4	40	10	2	20	178
44	1	5	5	9	4	36	10	3	30	5	5	25	9	3	27	10	4	40	10	2	20	183
45	2	5	10	8	4	32	8	3	24	6	5	30	9	3	27	6	4	24	10	2	20	167
48	5	5	25	9	4	36	10	3	30	5	5	25	9	3	27	10	4	40	10	2	20	203

Çizelge 7.13. SINTACS yönteminde Senaryo-1 için kullanılan değerler.

Kuyu No	Dr	Dw	D İndex	Rr	Rw	R index	Ar	Aw	A index	Sr	Sw	S index	Tr	Tw	T index	Ir	Iw	I index	Cr	Cw	C index	DI
1	3,5	2	7,0	7,5	5	37,5	6,5	1	6,5	4,5	3	13,5	6,5	5	32,5	3,4	5	17	8,6	5	43,0	157,0
2	3,1	2	6,2	7,5	5	37,5	6,5	1	6,5	4,5	3	13,5	6,5	5	32,5	3,4	5	17	8,7	5	43,5	156,7
3	4,0	2	8,0	7,5	5	37,5	6,5	1	6,5	2,5	3	7,5	6,5	5	32,5	3,4	5	17	8,9	5	44,5	153,5
5	3,6	2	7,2	4,5	5	22,5	9	1	9	2,5	3	7,5	9,5	5	47,5	5	5	25	8,7	5	43,5	162,2
7	1,9	2	3,8	4,5	5	22,5	9	1	9	2,5	3	7,5	9,5	5	47,5	5	5	25	9,5	5	47,5	162,8
10	2,0	2	4,0	4,5	5	22,5	9	1	9	2,5	3	7,5	9,5	5	47,5	5	5	25	8,9	5	44,5	160,0
14	2,25	2	4,5	4,5	5	22,5	9	1	9	2,5	3	7,5	9,5	5	47,5	5	5	25	8,9	5	44,5	160,5
15	2,3	2	4,6	4,5	5	22,5	9	1	9	2,5	3	7,5	9,5	5	47,5	5	5	25	8,8	5	44,0	160,1
16	2,4	2	4,8	4,5	5	22,5	9	1	9	2,5	3	7,5	9,5	5	47,5	5	5	25	8,9	5	44,5	160,8
17	1,95	2	3,9	4,5	5	22,5	9	1	9	2,5	3	7,5	9,5	5	47,5	5	5	25	8,7	5	43,5	158,9
20	2,05	2	4,1	4,5	5	22,5	9	1	9	2,5	3	7,5	9,5	5	47,5	5	5	25	7,5	5	37,5	153,1
22	2,1	2	4,2	4,5	5	22,5	9	1	9	2,5	3	7,5	9,5	5	47,5	5	5	25	9,0	5	45,0	160,7
24	2,0	2	4,0	4,5	5	22,5	9	1	9	2,5	3	7,5	9,5	5	47,5	5	5	25	8,9	5	44,5	160,0
26	3,2	2	6,4	4,5	5	22,5	9	1	9	2,5	3	7,5	9,5	5	47,5	5	5	25	9,4	5	47,0	164,9
27	3,65	2	7,3	4,5	5	22,5	9	1	9	2,5	3	7,5	9,5	5	47,5	5	5	25	9,0	5	45,0	163,8
29	3,7	2	7,4	4,5	5	22,5	9	1	9	2,5	3	7,5	9,5	5	47,5	5	5	25	9,3	5	46,5	165,4
31	2,2	2	4,4	4,5	5	22,5	9	1	9	2,5	3	7,5	9,5	5	47,5	5	5	25	9,4	5	47,0	162,9
33	2,0	2	4,0	4,5	5	22,5	9	1	9	2,5	3	7,5	9,5	5	47,5	5	5	25	9,0	5	45,0	160,5
35	3,6	2	7,2	7,5	5	37,5	6,5	1	6,5	4,5	3	13,5	6,5	5	32,5	3,4	5	17	9,0	5	45,0	159,2
36	3,4	2	6,8	7,5	5	37,5	6,5	1	6,5	2,5	3	7,5	6,5	5	32,5	3,4	5	17	9,4	5	47,0	154,8
39	1,99	2	3,98	4,5	5	22,5	9	1	9	2,5	3	7,5	9,5	5	47,5	5	5	25	8,6	5	43,0	158,5
41	2,5	2	5,0	4,5	5	22,5	9	1	9	2,5	3	7,5	9,5	5	47,5	5	5	25	8,7	5	43,5	160,0
44	2,3	2	4,6	4,5	5	22,5	9	1	9	2,5	3	7,5	9,5	5	47,5	5	5	25	9,0	5	45,0	161,1
45	2,3	2	4,6	7,5	5	37,5	6,5	1	6,5	4,5	3	13,5	6,5	5	32,5	3,4	5	17	8,7	5	43,5	155,1
48	4,2	2	8,4	4,5	5	22,5	9	1	9	2,5	3	7,5	9,5	5	47,5	5	5	25	9,4	5	47,0	166,9

Çizelge 7.14. SINTACS yönteminde Senaryo-2 için kullanılan değerler.

Kuyu No	Dr	Dw	D İndex	Rr	Rw	R index	Ar	Aw	A index	Sr	Sw	S index	Tr	Tw	T index	Ir	Iw	I index	Cr	Cw	C index	DI
1	3,5	5	17,5	7,5	5	37,5	6,5	4	26	4,5	5	22,5	6,5	3	19,5	3,4	2	6,8	8,6	2	17,2	147,0
2	3,1	5	15,5	7,5	5	37,5	6,5	4	26	4,5	5	22,5	6,5	3	19,5	3,4	2	6,8	8,7	2	17,4	145,2
3	4,0	5	20,0	7,5	5	37,5	6,5	4	26	2,5	5	12,5	6,5	3	19,5	3,4	2	6,8	8,9	2	17,8	140,1
5	3,6	5	18,0	4,5	5	22,5	9	4	36	2,5	5	12,5	9,5	3	28,5	5	2	10	8,7	2	17,4	144,9
7	1,9	5	9,5	4,5	5	22,5	9	4	36	2,5	5	12,5	9,5	3	28,5	5	2	10	9,5	2	19,0	138,0
10	2,0	5	10,0	4,5	5	22,5	9	4	36	2,5	5	12,5	9,5	3	28,5	5	2	10	8,9	2	17,8	137,3
14	2,25	5	11,25	4,5	5	22,5	9	4	36	2,5	5	12,5	9,5	3	28,5	5	2	10	8,9	2	17,8	138,6
15	2,3	5	11,5	4,5	5	22,5	9	4	36	2,5	5	12,5	9,5	3	28,5	5	2	10	8,8	2	17,6	138,6
16	2,4	5	12,0	4,5	5	22,5	9	4	36	2,5	5	12,5	9,5	3	28,5	5	2	10	8,9	2	17,8	139,3
17	1,95	5	9,75	4,5	5	22,5	9	4	36	2,5	5	12,5	9,5	3	28,5	5	2	10	8,7	2	17,4	136,7
20	2,05	5	10,25	4,5	5	22,5	9	4	36	2,5	5	12,5	9,5	3	28,5	5	2	10	7,5	2	15,0	134,8
22	2,1	5	10,5	4,5	5	22,5	9	4	36	2,5	5	12,5	9,5	3	28,5	5	2	10	9,0	2	18,0	138,0
24	2,0	5	10,0	4,5	5	22,5	9	4	36	2,5	5	12,5	9,5	3	28,5	5	2	10	8,9	2	17,8	137,3
26	3,2	5	16,0	4,5	5	22,5	9	4	36	2,5	5	12,5	9,5	3	28,5	5	2	10	9,4	2	18,8	144,3
27	3,65	5	18,25	4,5	5	22,5	9	4	36	2,5	5	12,5	9,5	3	28,5	5	2	10	9,0	2	18,0	145,8
29	3,7	5	18,5	4,5	5	22,5	9	4	36	2,5	5	12,5	9,5	3	28,5	5	2	10	9,3	2	18,6	146,6
31	2,2	5	11,0	4,5	5	22,5	9	4	36	2,5	5	12,5	9,5	3	28,5	5	2	10	9,4	2	18,8	139,3
33	2,0	5	10,0	4,5	5	22,5	9	4	36	2,5	5	12,5	9,5	3	28,5	5	2	10	9,0	2	18,0	137,5
35	3,6	5	18,0	7,5	5	37,5	6,5	4	26	4,5	5	22,5	6,5	3	19,5	3,4	2	6,8	9,0	2	18,0	148,3
36	3,4	5	17,0	7,5	5	37,5	6,5	4	26	2,5	5	12,5	6,5	3	19,5	3,4	2	6,8	9,4	2	18,8	138,1
39	1,99	5	9,95	4,5	5	22,5	9	4	36	2,5	5	12,5	9,5	3	28,5	5	2	10	8,6	2	17,2	136,7
41	2,5	5	12,5	4,5	5	22,5	9	4	36	2,5	5	12,5	9,5	3	28,5	5	2	10	8,7	2	17,4	139,4
44	2,3	5	11,5	4,5	5	22,5	9	4	36	2,5	5	12,5	9,5	3	28,5	5	2	10	9,0	2	18,0	139,0
45	2,3	5	11,5	7,5	5	37,5	6,5	4	26	4,5	5	22,5	6,5	3	19,5	3,4	2	6,8	8,7	2	17,4	141,2
48	4,2	5	21,0	4,5	5	22,5	9	4	36	2,5	5	12,5	9,5	3	28,5	5	2	10	9,4	2	18,8	149,3

Çizelge 7.15. Çalışma alanı için hesaplanan COP metodu parametreleri ve COP indeksi.

Kuyu No	O Faktörü			C Faktörü			P faktörü			
	O_S	O_L	O_{Skoru}	Sf	Sv	C_{Skoru}	P_Q	P_I	P_{Skoru}	COP indeksi
1	1	4	5	1,0	0,75	0,750	0,3	0,40	0,70	2,625
2	1	4	5	1,0	0,75	0,750	0,3	0,40	0,70	2,625
3	1	4	5	1,0	0,75	0,750	0,3	0,40	0,70	2,625
5	1	1	2	0,5	0,75	0,375	0,3	0,40	0,70	0,525
7	1	1	2	0,5	0,75	0,375	0,3	0,40	0,70	0,525
10	1	1	2	0,5	0,75	0,375	0,3	0,40	0,70	0,525
14	1	1	2	0,5	0,75	0,375	0,3	0,40	0,70	0,525
15	1	1	2	0,5	0,75	0,375	0,3	0,40	0,70	0,525
16	1	1	2	0,5	0,75	0,375	0,3	0,40	0,70	0,525
17	1	1	2	0,5	0,75	0,375	0,3	0,40	0,70	0,525
20	1	1	2	0,5	0,75	0,375	0,3	0,40	0,70	0,525
22	1	1	2	0,5	0,75	0,375	0,3	0,40	0,70	0,525
24	1	1	2	0,5	0,75	0,375	0,3	0,40	0,70	0,525
26	1	1	2	0,5	0,75	0,375	0,3	0,40	0,70	0,525
27	1	1	2	0,5	0,75	0,375	0,3	0,40	0,70	0,525
29	1	1	2	0,5	0,75	0,375	0,3	0,40	0,70	0,525
31	3	1	4	0,5	0,75	0,375	0,3	0,40	0,70	1,05
33	1	1	2	0,5	0,75	0,375	0,3	0,40	0,70	0,525
35	1	4	5	1,0	0,75	0,750	0,3	0,40	0,70	2,625
36	1	4	5	1,0	0,75	0,750	0,3	0,40	0,70	2,625
39	1	1	2	0,5	0,75	0,375	0,3	0,40	0,70	0,525
41	1	1	2	0,5	0,75	0,375	0,3	0,40	0,70	0,525
44	1	1	2	0,5	0,75	0,375	0,3	0,40	0,70	0,525
45	1	4	5	1,0	0,75	0,750	0,3	0,40	0,70	2,625
48	1	1	2	0,5	0,75	0,375	0,3	0,40	0,70	0,525

Çizelge 7.16. Çalışma alanı için P faktörünün hesaplanması.

Kuyu No	T	S	L	F	B	M	B*M	R	A	P_{TS}	P faktörü
1	10	0	5	4	20	150	3000	1,50	0	4515	4
2	10	0	5	4	20	150	3000	1,50	0	4515	4
3	10	0	5	4	20	150	3000	1,50	0	4515	4
5	10	0	5	0,3	1,5	60	90	0,75	0	75	2
7	10	0	5	0,3	1,5	60	90	0,75	0	75	2
10	10	0	5	0,3	1,5	100	150	0,75	0	120	3
14	10	0	5	0,3	1,5	60	90	0,75	0	75	2
15	10	0	5	0,3	1,5	80	120	0,75	0	97,5	2
16	10	0	5	0,3	1,5	60	90	0,75	0	75	2
17	10	0	5	0,3	1,5	155	232,5	0,75	0	181,875	3
20	10	0	5	0,3	1,5	110	165	0,75	0	131,25	3
22	10	0	5	0,3	1,5	90	135	0,75	0	108,75	3
24	10	0	5	0,3	1,5	80	120	0,75	0	97,5	2
26	10	0	5	0,3	1,5	70	105	0,75	0	86,25	2
27	10	0	5	0,3	1,5	70	105	0,75	0	86,25	2
29	10	0	5	0,3	1,5	90	135	0,75	0	108,75	3
31	10	0	5	0,3	1,5	110	165	0,75	0	131,25	3
33	10	0	5	0,3	1,5	90	135	0,75	0	108,75	3
35	10	0	5	4	20	150	3000	1,50	0	4515	4
36	10	0	5	4	20	150	3000	1,50	0	4515	4
39	10	0	5	0,3	1,5	140	210	1,50	0	330	3
41	10	0	5	0,3	1,5	60	90	0,75	0	75	2
44	10	0	5	0,3	1,5	60	90	0,75	0	75	2
45	10	0	5	4	20	150	3000	1,50	0	4515	4
48	10	0	5	0,3	1,5	60	90	0,75	0	75	2

Çizelge 7.17. I faktörünün hesaplanması.

Kuyu No	Toprak Özellikleri	Eğim (%)	I' Faktörü	I Faktörü
1	E	3,84	0,4	0,80
2	E	3,69	0,4	0,80
3	E	3,42	0,8	1,00
5	D	3,73	0,4	0,80
7	D	2,79	0,6	1,00
10	D	3,57	0,4	0,80
14	D	3,47	0,6	1,00
15	D	3,66	0,4	0,80
16	D	3,49	0,6	1,00
17	D	3,06	0,8*	1,00
20	D	5,92	0,4	0,80
22	D	3,14	0,6	1,00
24	D	3,44	0,6	1,00
26	D	2,68	0,6	1,00
27	D	2,97	0,6	1,00
29	D	2,56	0,6	1,00
31	D	2,69	0,6	1,00
33	D	2,93	0,6	1,00
35	E	2,89	0,8	1,00
36	E	2,69	0,8	1,00
39	D	3,89	0,8*	1,00
41	D	3,74	0,4	0,80
44	D	2,94	0,8*	1,00
45	E	3,35	0,8	1,00
48	D	2,63	0,6	1,00

*yerleşim alanları için I’ faktörü 0,8 olarak alınmıştır

Çizelge 7.18. EPIK metodunda kullanılan parametreler ve hassasiyet değerinin hesaplanması.

Kuyu No	α	E	α*E	β	P	β*P	Y	I	Y*I	δ	K	δ*K	Fp
1	3	4	12	1	1	1	3	3	9	2	3	6	28
2	3	4	12	1	1	1	3	3	9	2	3	6	28
3	3	4	12	1	1	1	3	3	9	2	3	6	28
5	3	1	3	1	1	1	3	3	9	2	1	2	15
7	3	1	3	1	1	1	3	3	9	2	1	2	15
10	3	1	3	1	1	1	3	3	9	2	1	2	15
14	3	1	3	1	1	1	3	3	9	2	1	2	15
15	3	1	3	1	1	1	3	3	9	2	1	2	15
16	3	1	3	1	1	1	3	3	9	2	1	2	15
17	3	1	3	1	1	1	3	3	9	2	1	2	15
20	3	1	3	1	1	1	3	3	9	2	1	2	15
22	3	1	3	1	1	1	3	3	9	2	1	2	15
24	3	1	3	1	1	1	3	3	9	2	1	2	15
26	3	1	3	1	1	1	3	3	9	2	1	2	15
27	3	1	3	1	1	1	3	3	9	2	1	2	15
29	3	1	3	1	1	1	3	3	9	2	1	2	15
31	3	1	3	1	1	1	3	3	9	2	1	2	15
33	3	1	3	1	1	1	3	3	9	2	1	2	15
35	3	4	12	1	1	1	3	3	9	2	3	6	28
36	3	4	12	1	1	1	3	3	9	2	3	6	28
39	3	1	3	1	1	1	3	3	9	2	1	2	15
41	3	1	3	1	1	1	3	3	9	2	1	2	15
44	3	1	3	1	1	1	3	3	9	2	1	2	15
45	3	4	12	1	1	1	3	3	9	2	3	6	28
48	3	1	3	1	1	1	3	3	9	2	1	2	15

ÖZGEÇMİŞ



AHMET ÇİL

ahmetcil07@gmail.com

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans 2015-devam ediyor	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Antalya
Lisans 2010-2015	Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Antalya

MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

TÜBİTAK Proje Bursiyeri 2015-2017	Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü Antalya

ESERLER:

Ulusal hakemli dergilerde yayımlanan makaleler

1- Can-Güven E. ÇİL A. Oğuz B. Tezcan D. Gedik K. Kurt-Karakuş P.B. (2016) "Zararlılarla mücadele adı altında semt pazarlarında satılan biyosidal ürünlerin aktif içeriğinin incelenmesi" Türk Hijyen Deneysel Biyoloji Dergisi. 73(4), 311-322. Doi: 10.5505/TurkHijyen.2016.55823

Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler

1- Çil A. Azzi Y. Amil A. Yenilmez F. Muhammetoğlu A.Özyurt N. N. Ali Essahlaoul Abdellah El Hmaidi, Abdelhadi El Ouali, Muhammetoğlu H. (2017) "Groundwater Vulnerability to Agricultural Pollution for Two Karstic Aquifers in Turkey and Morocco" the Sixth International Conference on Environmental Management, Engineering, Planning and Economics (CEMEPE) and to the SECOTOX Conference, Thessaloniki, Greece.

2- Çil A. Amil A. Yenilmez F. Özyurt N. N. Muhammetoğlu A. Muhammetoğlu H. (2017) "Assessment of Groundwater Vulnerability in a Karstic Aquifer Using Index-Based Methods: Altınova-Turkey Case Study" International Interdisciplinary Conference on Land Use and Water Quality Effect of Agriculture on the Environment (LuWQ2017), The Hague, The Netherlands, 29 May – 1 June 2017.

3- Çil A. Keyikoğlu R. Yenilmez F. Muhammetoğlu A. Muhammetoğlu H. (2016) "Agricultural Nitrate Pollution of Groundwater in Antalya – Turkey" Protection and Restoration of the Environment XIII, , Myconos Island, Greece