

**ALTINOVA AKİFERİNİN (ANTALYA) KİRLİLİĞE DUYARLILIĞININ
DEĞERLENDİRMESİ**

**ASSESSMENT OF VULNERABILITY TO CONTAMINATION IN ALTINOVA
AQUIFER (ANTALYA)**

AYŞENUR AMİL

PROF. DR. N. NUR ÖZYURT
Tez Danışmanı

DR. PINAR AVCI
Tez Eş Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü
YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

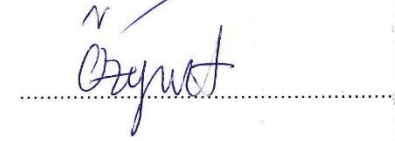
2018

AYŞENUR AMİL'in hazırladığı "**Altınova akiferinin (Antalya) kirliliğe duyarlılığının değerlendirilmesi**" adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof.Dr. C. Serdar BAYARI
Başkan



Prof.Dr.N.Nur ÖZYURT
Danışman



Prof.Dr. Mehmet ÇELİK
Üye



Prof.Dr. Murat ERCANOĞLU
Üye



Dr.Öğretim Üyesi Emrah PEKKAN
Üye



Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Menemşe GÜMÜŞDERELİOĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Babama,

EXO'ya

ve Yıkılan Dünyada Ezilmemiş Tüm Petunyalara...

YAYINLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/raporumun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

- ☒ **Tezimin/Raporumun tamamı dünya çapında erişime açılabilir ve bir kısmı veya tamamının fotokopisi alınabilir.**
(Bu seçenekle teziniz arama motorlarında indekslenebilecek, daha sonra tezinizin erişim statüsünün değiştirilmesini talep etmeniz ve kütüphane bu talebinizi yerine getirirse bile, tezinin arama motorlarının önbelleklerinde kalmaya devam edebilecektir.)
- ☐ **Tezimin/Raporumun tarihine kadar erişime açılmasını ve fotokopi alınmasını (İç Kapak, Özet, İçindekiler ve Kaynakça hariç) istemiyorum.**
(Bu sürenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım takdirde, tezimin/raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir, kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı ve ya tamamının fotokopisi alınabilir)
- ☐ **Tezimin/Raporumun tarihine kadar erişime açılmasını istemiyorum, ancak kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı veya tamamının fotokopisinin alınmasını onaylıyorum.**
- ☐ **Serbest Seçenek/Yazarın Seçimi**

30. / 05. / 2018

(İmza)

Öğrencinin Adı Soyadı

Ayşenur Amil


ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarında uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- tez içindeki tüm bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversitede veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

04/05/2018

AYŞENUR AMİL



ÖZET

ALTINOVA AKİFERİNİN (ANTALYA) KİRLİLİĞE DUYARLILIĞININ DEĞERLENDİRMESİ

AYŞENUR AMİL

Yüksek Lisans, Jeoloji Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Prof. Dr. N. Nur ÖZYURT

Tez Eş Danışmanı: Dr. Pınar AVCI

Mayıs 2018, 157 sayfa

Antropojenik etkiler ile yeraltısularının kirlenmesi ve bu kirliliğin önlenmesi, sürdürülebilir yeraltısuyu yönetimi açısından oldukça önemlidir. Tarımsal faaliyetlerinin yoğun olduğu alanlarda bilinçsiz kullanılan tarım ilaçları ve gübreler yetiştirilen üründe, bölgedeki toprak ve sularda çeşitli kirleticilerin birikmesine neden olmaktadır. Bu kirleticilerin kimyasal derişimleri ulusal ve uluslararası organizasyonlar tarafından önerilen limit değerleri aştığında, insan sağlığı açısından önemli tehdit oluşturmaktadır. Kirleticilerin yeraltısuyundaki bulunurlukları ve bollukları topoğrafik, jeolojik, hidrojeolojik, hidrolojik ve pedolojik olarak çok sayıda parametreye bağlıdır. Bu parametrelerin kirletici taşınımı üzerindeki etkilerinin değerlendirildiği yöntemler yeraltısuyunun belirlenen kirleticiye karşı

duyarlılığının belirlenmesi için kullanılmaktadır. Duyarlılık haritalama yaklaşımlarında genellikle değerlendirilmeyen arazi kullanımı, yeraltısuyu beslenme süreçlerini etkilediğinden önemli bir değişken olarak ortaya çıkmaktadır.

Antalya Traverten Platosu'nda yer alan Altınova Bölgesinde örtü altı yetiştiriciliğin devamlılığı için yeraltısuyu dışında herhangi bir tatlısu kaynağı bulunmamaktadır. Travertenden oluşan yüksek iletkenlikli akiferde, yoğun tarımsal faaliyet nedeni ile yeraltısuyu kirlenmeye oldukça açıktır. Bu koşullar altında akifere ait özellikleri dikkate alan kirlilik duyarlılık haritalarının oluşturulması ve elde edilen duyarlılık yayılımının gelecek arazi kullanımı ve tarım uygulamalarının planlanmasında temel bilgi olarak kullanılması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında DRASTIC, SINTACS, EPIK, COP ve PI yöntemleri kullanılarak Altınova akiferinin yeraltısuyu duyarlılık haritaları oluşturulmuş ve tarımsal kökenli kirleticilerin yeraltısuyuna etkisi incelenmiştir. Çalışma kapsamında değerlendirmeye eklenen arazi kullanımının (örtü altı yetiştiricilik yapılan alanlar) duyarlılık haritalarında büyük farklılıklar oluşturduğu gözlenmiştir.

Bu çalışmada yeraltısuyu duyarlılığının belirlenmesi için kullanılan yöntemler ve yöntemlerin doğrulanması için kullanılan iyon ve element derişimleri birlikte değerlendirildiğinde; SINTACS, COP ve EPIK yöntemlerinin akifer duyarlılığının belirlenmesinde daha doğru sonuçlar ürettiği belirlenmiştir. DRASTIC yönteminin karst akiferleri için özelleştirilmiş versiyonu olan SINTACS yöntemi, Altınova akiferinin yeraltısuyu duyarlılığının belirlenmesinde kullanabilecek bir yöntem olarak öne çıkmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Antalya Traverten Platosu, duyarlılık haritası, yeraltısuyu kirliliği, karst akiferi.

ABSTRACT

ASSESSMENT OF VULNERABILITY TO CONTAMINATION IN ALTINOVA AQUIFER (ANTALYA)

AYŞENUR AMİL

Master of Science, Geological Engineering Department

Supervisor: Prof. Dr. N. NUR ÖZYURT

Co-Supervisor: Dr. Pınar AVCI

May 2018, 157 pages

Pollution by anthropogenic impacts and its prevention are very important in sustainable groundwater management. Unconscious use of agrochemicals like pesticides and fertilizers particularly in areas where agricultural production is concentrated, results in accumulation of various pollutants in soil and water. When chemical concentrations of these pollutants exceed the guideline limits recommended by national and international organizations, they pose a significant threat to human health. Presence and abundance of contaminants in groundwater depends on a large number of topographical, geological, hydrogeological, hydrological and pedological parameters. Methods for assessing the effects of these parameters on contaminant transport are used to determine the vulnerability of the groundwater to pollution. Land use, which is not generally evaluated in

vulnerability mapping approaches, appears to be an important factor in groundwater pollution.

In the Altınova region of Antalya Travertine Plateau, there is no water resource other than the groundwater for the sustainability of greenhouse farming. The travertine aquifer possessing high hydraulic conductivity is very vulnerable to groundwater pollution due to percolation of irrigation return water and flushing of soil by recharge from surface. Under these conditions, it is necessary to establish pollution vulnerability maps which take into account the characteristics of the aquifer and to use the obtained sensitivity distribution as a basis in planning future land use and agricultural practices. In this study, Altınova aquifer vulnerability maps are developed using the methods of DRASTIC, SINTACS, EPIK, COP and PI and the effect of agricultural origin pollutants on groundwater are evaluated. It was observed that the inclusion of land use particularly, the greenhouse cultivation areas, results in significant differences in vulnerability maps.

In this study, the methods used to determine the groundwater vulnerability and the ion and element concentrations used to verify the methods are evaluated together. It has been determined that SINTACS, COP and EPIK methods produce accurate results in determining the vulnerability of the aquifer. The SINTACS method which is a customized version of the DRASTIC method for karst aquifers, emerges as a method that can be used to determine the groundwater vulnerability of the Altınova aquifer.

Keywords: Antalya Travertine Plateau, vulnerability map, groundwater contamination, karst aquifer.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde engin bilgi ve tecrübeleri ile bana yol gösterici olan değerli tez danışmanım Prof. Dr. N. Nur ÖZYURT'a (HÜ) ve Prof. Dr. C. Serdar BAYARI'ya (HÜ) çok teşekkür ederim.

Çalışmam boyunca yardımlarını esirgemeyen, sabrı ve destek veren sözleri için tanıdığım en güzel Petunyalardan olan tez eş danışmanım Dr. Pınar AVCI'ya (HÜ) çok teşekkür ederim.

Tez metninin son halini almasında katkıda bulunan değerli hocalarım Prof.Dr. Mehmet ÇELİK'e (Ankara Ü), Prof.Dr. Murat ERCANOĞLU'na (HÜ) ve Dr.Öğretim Üyesi Emrah PEKKAN'a (Anadolu Ü) teşekkür ederim.

Bu çalışmaya Hacettepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından (Proje no: FHD-2015-8936 ve FYL-2018-17095) ve TÜBİTAK tarafından (Proje no: 114Y696) ile finansal destek sağlanmıştır. Hacettepe BAP yetkililerine ve TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

Sayın Prof. Dr. Ayşe MUHAMMETOĞLU'na (Akdeniz Ü) ve Çevre Yüksek Mühendisi Ahmet ÇİL'e teşekkür ederim.

Majör iyon, iz element ve trityum analizlerini gerçekleştiren Prof. Dr. N. Nur ÖZYURT'a (HÜ), Kimya Müh. Füsün MUSLU'ya (HÜ) ve Kimyager Esin ORHAN'a (HÜ) teşekkür ederim.

DSİ Antalya XIII. Bölge Müdürlüğü Yeraltısuları ve Jeoteknik Hizmetler Şube Müdürlüğü çalışanlarına ve Altınova sera sahiplerine teşekkürlerimi sunarım.

Arazi ve ofis çalışmalarında yardımcı olan Dr. Gizem ERKAN'a (HÜ), Harita-Kadastro Teknikeri Bülent TOPUZ'a (HÜ), Hidrojeoloji Yüksek Mühendisi Çağlar BOZAN'a teşekkür ederim.

Benim için dünyayı, gerçek olmayan köpükten bir baloncuğa dönüştüren, hayatımın en güzel dönüm noktası, fay kırığım EXO'ya; Kim Junmyeon, Park Chanyeol, Byun Baekhyun, Oh Sehun, Kim Jongin, Do Kyungsoo, Kim Jongdae, Kim Minseok ve Yixing Zhang, çok teşekkür ederim. EXO-L olmaktan gurur duyuyorum. Çünkü BİZ BİRİZ.

10 Ocak 2015'ten beri yürüdüğüm tüm yolları çiçek bahçesine çeviren, yüreğimi mutlulukla dolduran güneş ışığım, mektup arkadaşım Meltem ÇELİK'e (KaiSu'ma) bana olan sonsuz inancı ve desteği için çok teşekkür ederim.

Savaşçı yürekler, kırılan döngüler, ölü olmadığımızın göstergesi kımıl kımıllar ve en çokta ezilmeyen Petunyalar için HoneySeizen'a, içinde yaşayabileceğim bir paralel evren yaratmamı sağlayan BoiPoi'ye, kitap ekürim Fatma Baltacı'ya, kütüphanemi paylaşmaktan mutluluk duyduğum Cansu Karslı'ya ve Organization Team aileme (Özlem Taş, Sema Koç, Cansu Yılmaz, Amine Sert) çok teşekkür ederim.

Son olarak sevgi ve destekleriyle her daim yanımda olan babam Hüseyin AMİL, annem Hacer AMİL, ablalarım Tuğba AMİL, Fatma ÇOBAN, eniştem Mustafa ÇOBAN, kardeşim Murat AMİL ve evimizin neşesi Tuncay'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELER	x
ŞEKİLLER	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xvi
1. GİRİŞ	1
1.1. Gerekçe	1
1.2. Amaç ve Kapsam	2
1.3. Önceki Çalışmalar	3
1.3.1. DRASTIC Yöntemi ile Yapılan Çalışmalar	4
1.3.2. EPIK, COP ve PI Metodu ile Yapılan Çalışmalar	7
1.3.3. ATP Yapılan Çalışmalar	10
2. ÇALIŞMA ALANI	15
2.1. Coğrafi Konum ve Genel Özellikler	15
2.2. Arazi Kullanımı	18
2.3. Jeoloji	20
2.4. Hidroloji	27
2.4.1. İklim	27
2.4.2. Akarsular	29
2.4.3. Su Noktaları	29
2.5. Hidrojeoloji	34
3. YÖNTEM ve UYGULAMALAR	40
3.1. DRASTIC YÖNTEMİ	40
3.1.1. Yeraltısuyu Derinliği (D)	41
3.1.2. Net Beslenme (R)	44
3.1.3. Akifer Ortamı (A)	46
3.1.4. Toprak Türü (S)	48
3.1.5. Eğim (T)	50

3.1.6. Vadoz Zon (I).....	52
3.1.7. Hidrolik İletkenlik Katsayısı (C).....	53
3.1.8. DRASTIC Yöntemi YAS Duyarlılık Haritası	54
3.2. SINTACS YÖNTEMİ.....	57
3.2.1. Yeraltısuyu Derinliği (S).....	58
3.2.2. Etkin Süzülme (I)	59
3.2.3. Vadoz Zonun Sönümlene Kapasitesi (N) ve Akifer Ortamı (A)	61
3.2.4. Akifer Ortamı (A)	64
3.2.5. Toprak Sönümlene Kapasitesi (T)	66
3.2.6. Hidrolik İletkenlik Katsayısı (C).....	68
3.2.7. Eğim (S)	70
3.2.8. SINTACS Yöntemi YAS Duyarlılık Haritası	73
3.3. COP YÖNTEMİ	78
3.3.1. O Faktörü (Örtü tabakalar)	78
3.3.2. C Faktörü (Akış yoğunluğu).....	86
3.3.3. P Faktörü (Yağış)	91
3.3.4. COP Yöntemi YAS Duyarlılık Haritası	95
3.4. EPIK YÖNTEMİ	98
3.4.1. Epikarst (E).....	98
3.4.2. Koruyucu Örtü (P)	100
3.4.3. Süzülme Koşulları (I)	101
3.4.4. Karst Ağı Gelişimi (K)	103
3.4.5. EPIK Yöntemi YAS Duyarlılık Haritası.....	105
3.5. PI YÖNTEMİ.....	108
3.5.1. Koruyucu Örtü (P)	108
3.5.2. Süzülme koşulları (I).....	118
3.5.3. PI Yöntemi YAS Duyarlılık Haritası	121
4. YERALTISUYU DUYARLILIK HARİTALARININ KARŞILAŞTIRILMASI VE DOĞRULANMASI	123
4.1. Yeraltısuyu Duyarlılık Haritalarının Karşılaştırılması	123
4.2. YAS Duyarlılık Haritalarının Doğrulanması.....	127
4.2.1. Sulama Suyu Standartlarına Göre YAS Duyarlılık Alanlarının Belirlenmesi	133

4.2.2. İçme Suyu Standartlarına Göre YAS Duyarlılık Alanlarının Belirlenmesi..	137
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	146
KAYNAKLAR.....	150
ÖZGEÇMİŞ	156



ÇİZELGELER

Sayfa

Çizelge-2.1 ATP'de açılmış kuyulara ait lokasyon bilgisi ve traverten kalınlığı.....	23
Çizelge-2.2. Yıllık gerçek buharlaşma-terleme miktarının hesaplanması.	28
Çizelge-2.3. Ölçüm yapılan su noktalarının koordinatları (UTM zon 36)	33
Çizelge-2.4. Altınova yeraltısuyu kotu ölçümleri	34
Çizelge-3.1. DY parametreleri ve ağırlık değerleri [41]	41
Çizelge-3.2. Yeraltısuyu derinliği ve derecelendirme katsayıları	42
Çizelge-3.3. Net beslenme sınıfları ve derecelendirme katsayıları	45
Çizelge-3.4. Akifer Ortamı parametreleri ve derecelendirme katsayıları	47
Çizelge-3.5. Toprak türü sınıfları ve derecelendirme katsayıları.....	49
Çizelge-3.6. Eğim sınıfları ve derecelendirme katsayıları.....	51
Çizelge-3.7. Vadoz zon sınıfları ve derecelendirme katsayıları	53
Çizelge-3.8. Hidrolik İletkenlik katsayısı sınıfları ve derecelendirme katsayıları ...	54
Çizelge-3.9. DRASTIC yöntemi uygulamasında kullanılan tüm parametre dereceleri ve ağırlık katsayıları	55
Çizelge-3.10. SINTACS yöntemi için hidrojeolojik koşullar ve ağırlık katsayıları ..	58
Çizelge-3.11. Yeraltısuyu derinliği ve derecelendirme katsayıları	58
Çizelge-3.12. Etkin süzülme ve derecelendirme katsayıları	60
Çizelge-3.13. Vadoz Zonun sönümlleme kapasitesi ile Akifer ortamı derecelendirme	62
Çizelge-3.14. Toprak sönümlleme kapasitesi ve derecelendirmeleri.....	67
Çizelge-3.15. Hidrolik İletkenlik aralıkları ve derecelendirme	69
Çizelge-3.16. Eğim sınıfları ve dereceleri.....	71
Çizelge-3.17. a) SINTACS-I yöntemi uygulamasında kullanılan tüm parametre dereceleri ve ağırlık katsayıları.....	74
Çizelge-3.17. b) SINTACS-II yöntemi uygulamasında kullanılan tüm parametre dereceleri ve ağırlık katsayıları.....	75
Çizelge-3.18. COP yöntemi duyarlılık sınıfları	78
Çizelge-3.19. Toprak yapısı.....	79
Çizelge-3.20. Toprak türü ve kalınlığının Os parametresine dönüştürülmesi	79
Çizelge-3.21. Litolojik birimler ve değerleri	80

Çizelge-3.22. Litolojik birim ve tabaka kalınlığına bağlı tabaka indeksi ve değerleri	81
Çizelge-3.23. Akifer türü ve değerleri	81
Çizelge-3.24. O faktörü puanı ve koruma sınıfları	81
Çizelge-3.25. Düdene olan uzaklık aralıkları ve değerleri	87
Çizelge-3.26. Batan nehre uzaklık aralıkları ve değerleri	87
Çizelge-3.27. Eğim ve bitki örtüsü değerleri	88
Çizelge-3.28. Yüzey özellikleri ve değerleri	89
Çizelge-3.29. Eğim/bitki örtüsü ve değerleri	89
Çizelge-3.30. C parametresi duyarlılık sınıfı	89
Çizelge-3.31. Yağış miktarı ve karşılık gelen değerler	92
Çizelge-3.32. Yağış yoğunluğu ve karşılık gelen değerler	92
Çizelge-3.33. P faktörü duyarlılık sınıfları	93
Çizelge-3.34. Yağışlı gün sayısı	93
Çizelge-3.35. COP yönteminde kullanılan parametreler ve değerleri	96
Çizelge-3.36. EPIK yöntemi koruma faktörü ve duyarlılık sınıfı	98
Çizelge-3.37. EPIK parametreleri için standart ağırlık katsayıları	98
Çizelge-3.38. Epikarst parametresinin sınıfları ve derecelendirme katsayıları	99
Çizelge-3.39. Koruyucu örtü parametresinin sınıfları ve derecelendirme katsayıları	101
Çizelge-3.40. Süzülme koşulları parametresinin sınıfları ve derecelendirme katsayıları	102
Çizelge-3.41. Karst ağı gelişimi sınıfları cv derecelendirme katsayıları	104
Çizelge-3.42. EPIK yönteminde kullanılan parametreler ve değerleri	106
Çizelge-3.43. PI yöntemi için duyarlılık sınıfları	108
Çizelge-3.44. Üst toprak (T) alt parametresi derecelendirmesi	109
Çizelge-3.45. Alt toprak (S) alt parametresi derecelendirmesi	110
Çizelge-3.46. Net Beslenim (R) alt parametresi derecelendirmesi	110
Çizelge-3.47. Litoloji (L) alt parametresi derecelendirmesi	110
Çizelge-3.48. Kırık-çatlak yoğunluğu (F) alt parametresi derecelendirmesi	111
Çizelge-3.49. Koruyucu örtü toplam puanı (Pts) ve P-faktör sınıfları	111
Çizelge-3.50. Yüzeysel akışın belirlenmesi	119
Çizelge-3.51. I' faktörünün belirlenmesi	119

Çizelge-3.52. I faktörünün belirlenmesi	119
Çizelge-3.53. PI yönteminde kullanılan parametreler ve değerleri	121
Çizelge-4.1. YAS duyarlılık sınıflarına karşılık tanımlanan alanlar	123
Çizelge-4.2. Duyarlılık haritaları üretilirken kullanılan parametreler ve bu parametrelerin kullanıldığı yöntemler	124
Çizelge-4.3. İçme-kullanma ve sulama suları için limit değerler ve analiz sonuçları	128
Çizelge-4.4. Kirlilik limit değeri aşan alanlar	131
Çizelge-4.5. Sulama suyunda NO_3^- iyonu için YAS duyarlılık alanları	133
Çizelge-4.6. İçme-kullanma suyunda NO_3^- iyonu ve Bor ve Demir elementleri için YAS duyarlılık alanları	137



ŞEKİLLER

Sayfa

Şekil 2.1. Çalışma alanı yer bulduru haritası	16
Şekil 2.2. Çalışma alanı sayısal yükseklik modeli.....	17
Şekil 2.3. ATP’de arazi kullanımı (Corine 2006’dan [35] düzenlenerek).....	19
Şekil 2.4. Çalışma alanında örtü altı tarım yapılan alanlar.	20
Şekil 2.5. Çalışma alanı jeoloji haritası.....	21
Şekil 2.6. ATP üst plato genel görünüm (bakış yönü: Kuzey).....	22
Şekil 2.7. ATP Karst morfolojisi haritası	24
Şekil 2.8. Traverten kalınlık haritası.	25
Şekil 2.9. Çalışma alanında yüzeyleyen Belkıs konglomasından bir görünüm .	26
Şekil 2.10. Düdenbaşı şelalesi ve kaynağı (bakış yönü: Kuzey).....	30
Şekil 2. 11. Şahıs kuyularında ölçüm çalışmaları.	32
Şekil 2.12. Arazide koordinatlandırma çalışmaları.....	32
Şekil 2.13. Çalışma alanı hidrojeoloji haritası.....	37
Şekil 2.14. Altınova akiferi yeraltısuyu kotu haritası(2015-Kasım).....	38
Şekil 2.15. Altınova akiferinin genelleştirilmiş hidrojeolojik kesiti	39
Şekil 3.1. Yeraltısuyu derinlik haritası (Kasım 2015).	43
Şekil 3.2. Yeraltısuyu derinliği derecelendirme haritası (Kasım 2015).....	44
Şekil 3.3. Net beslenme derecelendirme haritası.	46
Şekil 3.4. Akifer ortamı derecelendirme haritası.....	48
Şekil 3.5. Toprak türü derecelendirme haritası.....	50
Şekil 3.6. Eğim haritası.....	51
Şekil 3.7. Eğim derecelendirme haritası.	52
Şekil 3.9. Yeraltısuyu derinlik derecelendirme haritası.....	59
Şekil 3.10. Etkin süzülme derecelendirme haritası.....	61
Şekil 3.11. I. Durum için oluşturulan vadoz zon sönümlene kapasitesi derecelendirme haritası.....	63
Şekil 3.12. II. Durum için oluşturulan vadoz zon sönümlene kapasitesi derecelendirme haritası.....	64
Şekil 3.13. I. Durum için oluşturulan akifer ortamı derecelendirme haritası.....	65
Şekil 3.14. II. Durum için oluşturulan akifer ortamı derecelendirme haritası.....	66

Şekil 3.15. Toprak sönümlleme kapasitesi derecelendirme haritası.....	68
Şekil 3.16. Hidrolik iletkenlik katsayısı derecelendirme haritası.....	70
Şekil 3.17. Eğim haritası (SINTACS).....	72
Şekil 3.18. Eğim derecelendirme haritası (SINTACS).	73
Şekil 3.19. Sintacs-I yeraltısuyu duyarlılık haritası.	76
Şekil 3.21. Akifer haritası.....	82
Şekil 3.22. Jeolojik birimlerin tabaka kalınlıkları haritası.....	83
Şekil 3.23. Tabaka indeks haritası.....	84
Şekil 3.24. Tabaka indeksi haritası sınıfları.	85
Şekil 3.25. O faktörü (Örtü tabakası) haritası.	86
Şekil 3.26. Yüzey özellikleri (sf) haritası.	90
Şekil 3.27. C Faktörü (akış yoğunluğu) haritası.....	91
Şekil 3.28. Yağış miktarı (PQ) haritası.	94
Şekil 3.29. P faktörü (yağış) haritası.....	95
Şekil 3.30. COP yöntemi YAS duyarlılık haritası.	97
Şekil 3.31. Epikarst (E) derecelendirme haritası.....	100
Şekil 3.32. Süzülme koşulları (I) derecelendirme haritası.....	103
Şekil 3.33. Karst ağı gelişimi (K) derecelendirme haritası.	105
Şekil 3.34. EPIK yöntemi YAS İndeks haritası.....	106
Şekil 3.35. EPIK yöntemi YAS duyarlılık haritası.....	107
Şekil 3.36. Üst toprak (T) derecelendirme haritası.	113
Şekil 3.37. Net beslenme (R) derecelendirme haritası.	114
Şekil 3.38. Ana kaya (B) haritası.	115
Şekil 3.39. Tabaka kalınlığı (M) haritası.	116
Şekil 3.40. Ana kaya (B) * Tabaka kalınlığı (M) haritası.	117
Şekil 3.41. P-faktör (koruyucu örtü) sınıf haritası.....	118
Şekil 3.42. I faktör (süzülme koşulları) sınıfı haritası.	120
Şekil 3.43. PI yöntemi YAS duyarlılık haritası.....	122
Şekil 4.1. YAS duyarlılık haritalarının karşılaştırılması.	126
Şekil 4.2. Kirlilik riski oluşturan iyon ve iz elementlerin alansal dağılımlarının belirlenmesi.	130
Şekil 4.3. YAS duyarlılık haritası ve kirlilik dağılım haritalarının kesişim alanının belirlenmesi.	132

Şekil 4.4.a. Sulama suyunda NO_3^- iyonu için YAS duyarlılık haritaları (DRASTIC, SINTACS-I ve SINTACS-II yöntemleri)	135
Şekil 4.4.b. Sulama suyunda NO_3^- iyonu için YAS duyarlılık haritaları (COP, EPIK, PI yöntemleri)	136
Şekil 4.5.a. İçme-kullanma suyunda NO_3^- iyonu için YAS duyarlılık haritaları (DRASTIC, SINTACS-I ve SINTACS-II yöntemleri).....	139
Şekil 4.5.b. İçme-kullanma suyunda NO_3^- iyonu için YAS duyarlılık haritaları (COP, EPIK, PI yöntemleri).	140
Şekil 4.6.a. İçme-kullanma suyunda Fe elementi için YAS duyarlılık haritaları (DRASTIC, SINTACS-I ve SINTACS-II yöntemleri).....	141
Şekil 4.6.b. İçme-kullanma suyunda Fe elementi için YAS duyarlılık haritaları (COP, EPIK, PI yöntemleri).	142
Şekil 4.7.a. İçme-kullanma suyunda B elementi için YAS duyarlılık haritaları (DRASTIC, SINTACS-I ve SINTACS-II yöntemleri).....	143
Şekil 4.7.b. İçme-kullanma suyunda B elementi için YAS duyarlılık haritaları (COP, EPIK, PI yöntemleri).	144

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

mg/l: miligram/litre

µg/l: mikrogram/litre

Kısaltmalar

GIS: Geographic Information System

ATP: Antalya Traverten Platosu

ÖEİ: Özgöl Elektriksel İletkenlik

CBS: Coğrafi Bilgi Sistemi

MGM: Meteoroloji Genel Müdürlüğü

OMGİ: Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonu

YAS Duyarlılığı: Yeraltısuyu Duyarlılığı

1. GİRİŞ

1.1. Gerekçe

Tatlı su kaynaklarına olan ihtiyaç, artan nüfus ve çeşitlenen su kullanımları nedeni ile sürekli artmaktadır. Artan su ihtiyacının karşılanması için yeni kaynakların geliştirip kullanılmasının yanı sıra mevcut su kaynaklarının iklim değişikliği ve kirlilik tehditlerine karşı korunması gerekmektedir. Yeraltıları yeryüzündeki tatlısular içinde hacimce en büyük bolluğa sahip tatlısu kaynağıdır. Zaman içinde gelişerek erişilebilir olan sondaj ve pompa teknolojileri sonucunda her geçen gün, daha derinden daha büyük hacimlerde yeraltısuyu işletilmeye başlanmıştır. Yeraltısuyu işletmelerinin sayıca artması yeraltı tatlısu kaynaklarının derinleşmesinin yanı sıra sürekli azalmasına da neden olmaktadır. Yeraltısuyu işletmelerindeki artışa karşın yaşanan iklim değişiklikleri, yerkürenin bazı bölgelerinde uzun süreli kuraklıklar yaşanmasına neden olduğundan yeraltısuyu beslenimi de azalmaktadır. Genellikle kirliliğe karşı yüzeysuyu kaynaklarına göre daha korunumlu olarak kabul edilen yeraltısuyu kaynakları zaman içinde yaygınlaşan ve çeşitlilik gösteren kirlетici kaynaklarından etkilenmektedir. Sonuç olarak, yeraltısuyu kaynaklarının hem miktar hem de kalite açısından korunması yerküre üzerindeki sürdürülebilir yaşam açısından büyük önem taşımaktadır.

Yeraltısularının korunması için öncelikle suyun yeraltına süzölme (beslenim) koşullarının ve bölgelerinin belirlenmesi gereklidir. Yeraltısuyu beslenim bölgeleri kirlетicilerin yeraltısuyuna ulaşması için kirlетici taşınımın başladığı bölgelerdir. Beslenim ile yeraltına süzölün kirlетici akiferin hidrojeolojik özelliklerine (gözeneklilik, hidrolik iletkenlik, hidrolik eğim vb.) bağlı olarak yeraltısuyu ile birlikte akışa devam etmektedir. Ancak, akiferi oluşturan gözenekli ortamın içinde kirlетici taşınımını etkileyen fiziksel (tutulma süreçleri) ve kimyasal süreçler (kimyasal ve biyolojik bozunma süreçleri vb.) kirlетici derişiminin yeraltısuyu akışı sırasında azalmasını, hatta bazen tamamen ortadan kalkmasını sağlayabilmektedir. Akiferlerde kirlетici taşınımının etkilerinin belirlenmesi akifer sisteminin tüm yönleri ile hidrojeolojik olarak karakterize edilmesini, sonrasında da sayısal akım-taşınım modellerinin oluşturulmasını gerektirmektedir. Ancak, her bir akifer için uzun süreli araştırma gerektiren bu süreci kısaltarak, yeraltısuyu sistemlerinin kirliliğe karşı duyarlılığının alansal olarak belirlendiğı “duyarlılık (vulnerability) haritalama” yaklaşımları ile kısa sürede bilgi üretilmesi ve yeraltısuyu kirliliğine karşı önleyici planlamaların yapılması

mümkün olmaktadır. Duyarlılık haritalama yöntemleri, ABD ve İngiltere’de yeraltısuyu koruma alanlarının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Ülkemizde yürürlükte olan yeraltısuyu koruma yaklaşımları noktasal yeraltısuyu boşalım noktaları (kaynaklar) ya da yeraltısuyu işletmesi yapılan alanlar için tanımlanmıştır. Koruma alanları belirlenirken akifer özelliklerini dikkate alan hesaplamalar önerilmektedir. Ancak, koruma alanı sadece seçilen/mevcut yeraltısuyu işletme bölgesi için yapıldığından akiferin gelişme durumu planlanamamaktadır. Oysa mevcut uygulamalar içinde akiferleri bütün olarak ele alan duyarlılık haritalama yaklaşımlarının eklenmesi ile koruma için daha etkili önlemler geliştirilebilmesi mümkün olabilmektedir.

Duyarlılık haritalama yaklaşımları, yeraltısuyu beslenimini ve akımını temsil edecek parametrelerin kirleticili taşınımı üzerindeki etkilerini dikkate alacak şekilde tasarlanmıştır. Ancak, yöntemler yeraltısuyunun doymuş ve doymuş olmayan zonda kirleticilerin taşınımı sırasında gerçekleşen reaksiyonları dikkate almamaktadır. Bu nedenle oluşturulan haritalama yaklaşımlarının kirlilik riskinin tehlikesi açısından en kötü olası durumu temsil ettiği düşünülebilir. Öte yandan alansal olarak kirliliğe duyarlılık öngörülürken akım-taşınım parametrelerinin genelleştirilerek hesaplama katılıyor olması noktasal olarak gerçekleşen olası hızlı akım koşullarının (örn. karst akiferleri) ya da çok yavaş akım koşullarında (örn. akitard) kirleticili derişimini düşüren yerel jeolojik ortamların varlığını göz ardı etmektedir. Bu nedenle, duyarlılık haritaları oluşturulduktan sonra akiferin farklı noktalarındaki gözlenmiş kirlilik yükleri ile karşılaştırma, hatta bazı durumlarda duyarlılık modellerinin bu gözlemler kullanılarak kalibre edilmesi gereklidir. Duyarlılık haritalarının çözünürlüğü belirlenirken, akifer hakkındaki verilerin yoğun olduğu, ya da öngörülmek istenen duyarlılık alanlarına göre seçim yapılmalıdır.

1.2. Amaç ve Kapsam

Altınova akiferi 630 km²’lik alanı ile Dünyadaki en büyük tatlı su travertenleri olan Antalya Traverten Platosu (ATP) içinde yer almaktadır. ATP sahip olduğu yüksek gözeneklilik ve iletim kabiliyeti ile Antalya şehri için içme-kullanma suyu ve plato üzerindeki tarım alanları için sulama suyu sağlayan verimli bir karstik akiferdir. Bölge için kritik öneme sahip bu tatlısu kaynağı sürekli yaygınlaşan kent yaşamı ve tarım uygulamalarında kullanılan kimyasal ilaç ve gübreler nedeni ile kirlilik tehdidi altındadır. Antalya ilindeki kritik öneme sahip yeraltısuyu kaynaklarının korunması için Termessos (Kırkgöz) Kaynağı İçme Suyu Kuyuları, Duraliler Kaynağı İçme Suyu Kuyuları, Yemişpınarı-

Kargılıçeşme İçme Suyu Kaynakları, Tekirpınarı İçme Suyu Kaynakları, Gürkavak İçme Suyu Kaynakları, Boğaçay Kaynağı İçme Suyu Kuyuları, Doyran İçme Suyu Kaynakları, Aksu Çayı Yeraltısuyu Kaynağı İçme Suyu Kuyularının koruma alanları yürürlükteki yasalar ile tanımlanmış ve koruma altına alınmıştır [1]. Çalışma alanı ve çevresi, 23.12.2016 tarihli Resmi Gazetede yayınlanan Hassas Su Kütleleri ile Bu Kütleleri Etkileyen Alanların Belirlenmesi ve Su Kalitesinin İyileştirilmesi Hakkında Yönetmelik kapsamında, Nitrata Hassas Bölge olarak tanımlanmıştır [2]. Altınova akiferinde yeraltısuyuna dayalı tarımın sürdürülebilirliği için noktasal koruma alanlarının dışında, akiferin kirliliğe karşı belirlenmesi önemlidir. Bu çalışmanın amacı, yeraltısuyuna bağımlı örtü altı tarım yapılan Antalya Traverten Platosu'nda yer alan Altınova akiferinde yeraltısuyunun kirliliğe duyarlılık haritalarının farklı yaklaşımlar ile oluşturulmasıdır.

Duyarlılık haritalama yaklaşımları farklı akifer türleri ve akım koşullarını temsil edecek şekilde farklı araştırmacılar tarafından geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntemler genellikle kullandıkları parametrelerin baş harflerinden oluşan adlarla tanımlanmaktadır. Bu çalışma kapsamında, Altınova akiferi için uluslararası geçerliliği kabul edilmiş ve yaygın olarak kullanılan DRASTIC, SINTACS, COP, EPIK ve PI duyarlılık haritalama yaklaşımlarının tümü uygulanmıştır. Yöntemler ve yöntemleri geliştiren araştırma grupları ile ilgili bilgiler Bölüm 3 “Yöntemler ve Uygulamalar” başlığında sunulmuştur. Uygulamalarda yöntemlerin önerilen sınıf aralıkları ve parametre ağırlıkları korunmuştur. Ancak, yöntem parametrelerinin tanımlanmasında çalışma alanına ait jeolojik/hidrojeolojik özellikleri temsil edecek düzenlemeler yapılmıştır. Bu yönde yapılan en belirgin düzenleme, yeraltısuyu beslenimi açısından arazi kullanımının (örtü altı tarım yapılan alanlar) değerlendirmeye alınmış olmasıdır. Sonuç olarak farklı yaklaşımlar ile oluşturulan duyarlılık haritaları birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Çalışma alanı geneline yayılmış noktalarda (şahıs kuyularında) yapılan yeraltısuyu kalite gözlemleri içme-kullanma ve sulama suyu kriterlerine göre değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme sonucunda, alansal dağılımı belirlenen yeraltısuyu kirlilik yükleri duyarlılık haritaları ile karşılaştırılarak, yapılan duyarlılık uygulamalarının kontrolü/geçerliliği tartışılmıştır.

1.3. Önceki Çalışmalar

Tez metninin bu bölümünde çalışmada kullanılan yöntemler ve çalışma alanını oluşturan ATP'nda önceki yıllarda yapılmış çalışmalara değinilmiştir. Uluslararası

literatürde yaygın olarak kullanılan DRASTIC, EPIK, COP ve PI yöntemlerinin farklı akifer sistemlerinde uygulanmasına yönelik çalışmalar ile Türkiye'den araştırmacıların ATP'nda yapmış oldukları çalışmalar özetlenmiştir.

1.3.1. DRASTIC Yöntemi ile Yapılan Çalışmalar

Babiker et al. (2005) [3], Japonya'nın Kakamigahara bölgesi akiferinin yeraltısuyu duyarlılığını (YAS duyarlılığını) belirlemek için DRATSIC yöntemi kullanmışlardır. Yönteme göre çalışma alanının batı bölgesi yüksek duyarlılık sınıfında iken, doğu bölgesi orta ve kuzey-doğu bölgesi düşük duyarlılık sınıfında olduğu belirlenmiştir. Çalışmaya göre yoğun sebze yetiştiriciliği yapılan doğu bölgesi yüksek kirlenme riski taşırken, yüksek duyarlılık sınıfında olan batı bölgesi düşük kirlenme riski altındadır.

Yıldırım vd. (2005) [4], tarafından Antalya ilinin içme suyu kaynaklarının kirlenme potansiyelinin Uzaktan Algılama (UA) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile belirlenmesi için yapılan çalışmada oluşturulan duyarlılık haritası, kirletici kaynaklarla (eski katı atık depolama alanı, yerleşim, akaryakıt istasyonları ve karayolları) birlikte değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda, Antalya ili için duyarlılık derecesinin yüksek ve çok yüksek olduğu bölgelerde fosseptikler, eski çöp depolama alanı, düdenler ve akaryakıt istasyonlarının olduğu belirlenmiştir. Eski çöp depolama sahasının taban geçirimsizliğini sağlayan bir membranın olmaması ve karayollarındaki ağır metal içeriği yüksek kirleticilerin yağış ile yıkanıp yeraltına süzülmesinin, yeraltısuyunu kirlettiği vurgulanmıştır. Ayrıca, bölgede bulunan düdenler kirleticiyi direkt olarak yeraltısuyuna taşıdığından kirletici kaynağı olarak ele alınması gerektiği belirtilmiştir. Çalışma ayrıca Antalya ili içme suyu kaynaklarının yanı sıra, deniz ortamının kirlenme tehdidinin de varlığını vurgulamaktadır.

Davraz vd. (2010) [5], yaptıkları çalışmada Şarkikaraağaç havzasının (Isparta) hidrojeolojik özelliklerini ve yeraltısuyu duyarlılığını DRASTIC yöntemi ile belirlemiştir. Havzada içme ve sulama suyu olarak kullanılan yeraltısuları göller yöresinin en büyüğü olan Beyşehir gölüne boşalmaktadır. Çalışma alanında ana kirlilik unsurlarını yerleşim alanları, tarımsal aktiviteler ve kanalizasyon sisteminin olmaması oluşturmaktadır. Bu nedenle havzada bulunan sulardaki nitrat konsantrasyonu ile DRASTIC duyarlılık değerleri birlikte değerlendirilmiştir. Çalışma alanında DRASTIC duyarlılık değerleri 91-177 arasında olup alanın %30.23'ü yüksek, %20.25'i orta ve %46.51'i düşük duyarlılık sınıfı oluşturmaktadır. Çalışma alanındaki alüvyon sığ

yeraltısuyu derinliğine, yüksek net beslenme ve yüksek hidrolik iletkenliğe sahip olduğundan yüksek ve orta derecede duyarlılık sınıfındadır.

Büyükdemirci (2012) [6], Kırıkkale havzasında yeraltısuyu duyarlılığının değerlendirmesinde DRASTIC yöntemini kullanarak çalışma alanını çok düşükten, çok yükseğe değişen 5 duyarlılık sınıfı ile karakterize etmiştir. Bölgenin şehir merkezi orta duyarlılık sınıfında olup, Yahşıhan, Aşağı Mahmutlar, Yukarı Mahmutlar ve Balışeyh ilçeleri yüksek duyarlılık sınıfındadır.

Güler vd. (2012) [7], tarafından Mersin Tarsus kıyı ovasında DRASTIC yöntemi (pestisit yaklaşımı ile birlikte) ile noktasal olmayan kirlilik kaynaklarına karşı yeraltısuyu duyarlılığı değerlendirilmiştir. Bölge yoğun yeraltısuyu kullanımından dolayı tuzlu su girişi tehdi altındadır. Bu nedenle, alanda, DRASTIC haritalarının doğrulamasında arazi kullanım haritaları ile yeraltısuyunun Cl^- ve NO_3^- konsantrasyon değerleri kullanılmıştır. Çalışmada DRASTIC indeksi 68-206, Pestisit DRASTIC indeksi ise 69-236 olarak hesaplanmıştır. Tarsus kıyı ovasının kuzeybatı bölümü düşük ve orta-düşük, güneydoğu bölümü orta-yüksek ve yüksek duyarlılık sınıfı ile karakterize edilmiştir. Arazi kullanım haritaları ve NO_3^- konsantrasyonları çalışma alanının batı bölümünün yoğun antropojenik aktiviteden dolayı yüksek risk altında olduğunu göstermiştir. Kıyı zonunda görülen yüksek Cl^- konsantrasyonları aşırı yeraltısuyu çekiminden kaynaklandığı vurgulanmıştır.

Yin et al. (2012) [8], Çin'in Ordos Platosu akiferinin kirlenmeye karşı duyarlılığını belirlemek amacıyla DRASTIC yöntemini kullanmışlardır. Bölgede içme, sulama ve kimyasal endüstride kullanılan suyun %64'ü yeraltısuyundan sağlanmakta olup, Ordos platosu bölgenin ana akifer sistemini oluşturmaktadır. Yapılan çalışmada alanın %24.8'i yüksek, % 24.2'si orta, %19.7'si düşük duyarlılıkta iken, %31.3'ü kirlilik potansiyeli açısından risk içermemektedir. Yüksek riskli alanlar çalışma alanının güneydoğu kesiminde düşük eğim, yüksek su tablası ve geçirimli vadoz zon gibi fiziksel faktörlere sahip olan bölgeleridir. Risk taşımayan batı kısımda ise yeraltısuyu derin ve vadoz zonun geçirimsizliği düşüktür. DRASTIC indeks haritasının doğruluğu nitrat konsantrasyonun alansal dağılımı ile kontrol edilmiştir. DRASTIC yöntemi, çalışma alanının batı kısmının risk taşımadığını gösterse de, bu bölgenin bazı kısımlarında özellikle vadileri boyunca ve göllerin çevresinde yüksek nitrat konsantrasyonlarına rastlanmıştır. Bu anomalinin sebebinin, yoğun tarımsal aktivite olduğu düşünülmüştür.

Khemiri et al. (2013) [9], Tunus'un batısındaki Foussana akiferinde DRASTIC, GOD, SINTACS ve SI yöntemlerini kullanarak yeraltısuyu duyarlılık çalışmaları yapmışlardır. Çalışma alanında kimyasal gübre kullanımı, aşırı çekim ve evsel kullanım gibi faktörlerden dolayı su kaynakları kirlilik riski altındadır. Alanın güney bölümünün, aşırı çekim, yüksek geçirgenlik gösteren litolojik birimler, süzülme ile kirlletici taşınımı ve bölgede bulunan fay nedeniyle yüksek duyarlılık sınıfında olduğu belirlenmiştir.

Chandoul et al. (2014) [10], Tunus Jeffarra havzasının güney kesiminde DRASTIC yöntemi ile yeraltısuyu duyarlılığı belirleme çalışmaları yapmışlardır. Tunus'ta su kaynakları yoğun olarak merkez ve kuzey bölgelerde dağılım gösterdiği için güneyde su kıtlığı çekilmektedir. Ayrıca, bölgede 1980 yılında sanayi bölgesinin oluşturulması ile kaynaklar yanlış ve kesintisiz kullanılmış, sonuçta yeraltısuyu seviyesinde önemli bir azalma ile Gabes vahasının ana su kaynakları, artezyen kuyular ve birkaç kaynak kurumuştur. Çalışmada genel ve pestisit yaklaşımı ile iki farklı DRASTIC İndeks değeri hesaplanmıştır. Pestisit yaklaşımına alanın %23'ü yüksek ve çok yüksek duyarlılık sınıfındayken, genel değerlendirmede alanının %9'u yüksek duyarlılık sınıfındadır. DRASTIC haritaları arazi kullanımı ile karşılaştırıldığında, tarım alanlarının yüksek-çok yüksek duyarlılık sınıfında olduğu görülmüştür.

Akhtar et al. (2015) [11], Pakistan'ın en hızlı gelişen şehirlerinden Lahor da yeraltısuyu duyarlılığını değerlendirmişlerdir. Çalışmada alanın %28.8'i yüksek, %46.3'ü orta ve %14.5'i düşük duyarlılık gösterdiği, geriye kalan %10.4'ün ise kirlilik açısından risk taşımadığı belirlenmiştir. DRASTIC indeksinin belirlenmesinde ağırlıklı parametreler vadoz zon ve akifer ortamı olmuştur. Alanda yeraltısuyu seviye değişimlerine bağlı olarak merkez bölgelerin kirlenmeye daha duyarlı olduğu belirtilmiştir

Shekhawat et al. (2015) [12], Hindistan'ın Bharatpur şehri ve dünya mirasında bulunan Keoladeo milli parkında DRASTIC yöntemini kullanarak 510 km²'lik alanın YAS duyarlılığını belirlemiştir. Başlıca su kaynağının yeraltısuyu olan çalışma alanı için hesaplanan DRASTIC İndeks değerleri sınıflandırılmış; 174-185 düşük (%37), 185-195 orta (%51) ve 195-205 yüksek duyarlılık (%12) sınıfları belirlenmiştir. DRASTIC yöntemi uygulanırken arazi kullanım parametresi de çalışmaya dahil edilmiştir. Çalışma sonucunda Bharatpur şehir merkezi ve Keoladeo Ulusal parkının kuzey yarısının yüksek, geri kalan bölgenin orta duyarlılık sınıfında olduğu belirlenmiştir.

Türkay vd. (2015) [13], Köyceğiz-Dalyan havzasında DRASTIC yöntemi ile yeraltısuyu duyarlılığı değerlendirilmiştir. Çalışma alanında Köyceğiz gölünün suyunun acı olması nedeniyle yeraltısuyu içme-sulama suyu olarak kullanılmaktadır. Çalışmada DRASTIC yöntemi arazi kullanım haritası ile birlikte değerlendirilmiş ve tarımsal aktivitelerin gerçekleştiği alanların %87.1'i yüksek duyarlılık sınıfında bulunmuştur. Köyceğiz-Dalyan havzasına ait nitrat konsantrasyon değerleri ile duyarlılık haritasının birlikte değerlendirilmesi ve böylece kirliliğin hangi duyarlılık sınıfına ait alanda yüksek olduğunun belirlenmesi önerilmiştir.

Elçi (2017) [14] çalışmasında Tahtalı çayı (İzmir) drenaj havzası için YAS duyarlılığını DRASTIC yöntemi ile belirlemiş ve yöntemin kalibrasyonunu havzada ölçülen nitrat konsantrasyonu verilerini kullanarak genelleştirilmiş indirgenmiş gradyan (GRG) metodu ile korelasyon yaparak hesaplamıştır. Çalışmada hesaplanan yeraltısuyu indeks değerleri ile ölçülen nitrat konsantrasyonları arasındaki korelasyon %19 olarak belirlenmiştir. Çalışmada uygulanan yöntemin daha önce DRASTIC yöntemi için kullanılan kalibrasyon yöntemlerine göre nesnel ve uygulanabilir olduğu ve EPIK ve SINTACS gibi yöntemlerde de uygulanabileceğini belirtmiştir.

Guettaia et al. (2017) [15], DRASTIC ve GOD yöntemlerini kullanarak Cezayir'in kuzeyindeki Oued Righ vadisi akiferinde yeraltısuyu duyarlılık değerlendirmesi yapmışlardır. Bölgede su ihtiyacı yeraltısuyu kaynaklarından sağlanmaktadır. Çalışma sonucunda alan DRASTIC yöntemi ile dört sınıf, GOD yöntemi iki sınıf ile karakterize edilmiştir. Yöntemlere göre oluşturulan haritalar değerlendirildiğinde DRASTIC yöntemine göre çalışma alanının % 74.30'u orta duyarlılık sınıfında iken, GOD yöntemine göre %70'i düşük duyarlılık sınıfındadır. İki yöntem karşılaştırıldığında, DRASTIC yönteminin alanı daha iyi temsil ettiği belirtilmiştir. Bu durumun, DRASTIC yöntemi parametrelerinin daha fazla ayrıntı içermesinden kaynaklandığı vurgulanmıştır. Çalışma alanında DRASTIC yönteminin sonuçlarının doğruluğunun kontrol edilmesi için kirletici konsantrasyonu ve süzülme zamanını esas alan sayısal model geliştirilmesi önerilmiştir.

1.3.2. EPIK, COP ve PI Metodu ile Yapılan Çalışmalar

Goldscheider (2005) [16], tarafından Almanya'nın Swabian Alplerindeki çalışma alanında PI yöntemi ile yeraltısuyu duyarlılık çalışması yapılmış, bölgede PI yöntemi geliştirilmeden önce yapılan EPIK ve GLA yöntemi sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Çalışma sonucunda PI yöntemine göre alanın büyük çoğunluğu yüksek ve düşük duyarlılık sınıfı aralığında olup, düdenlerin olduğu alan çok yüksek, güneydeki vadilerin büyük bir bölümü, tünemiş akiferler ve granüler akifer orta, Tersiyer çökelleri ve buzul yatakları ile kaplı alanların düşük duyarlılık sınıfında olduğu belirlenmiştir. Alanda çok düşük duyarlılık sınıfı bulunmamaktadır. Üç yöntemin karşılaştırılması sonucunda vadilerin, plato ve tepelerden daha duyarlı olduğu görülmüştür. GLA yöntemine göre koruyucu örtü kalınlığının az olmasından dolayı vadiler duyarlılık sınıfındadır. PI yönteminde koruyucu örtü ve süzülme koşulları birlikte dikkate alınmıştır. GLA yöntemi noktasal beslenmeleri ve yanıl akışı dikkate almadığından, EPIK ve PI yöntemlerinin çok yüksek ve yüksek duyarlılık sınıfında tanımladığı düden havzalarını düşük duyarlılığa sahip olarak tanımlamıştır. PI yöntemi ile GLA yönteminde duyarlılık sınıflandırması arasındaki fark, koruyucu örtü parametresinden kaynaklanmaktadır.

Vías et al. (2006) [17], İspanya'nın güneyinde farklı akım sistemlerine sahip iki akiferde COP yöntemi ile YAS duyarlılığı belirlemişlerdir. İlk çalışmaya konu olan Sierra de Libar akiferi kanal akım sistemine sahiptir. Alanda; yüksek karstlaşma derecesine sahip karbonat mostrası süzülmeyle yüzeyden doymuş zona kolaylıkla ileteceği için duyarlılık haritasında yüksek duyarlılık sınıfındadır. Ayrıca, karst akiferinin geçirimsiz bir tabaka ile korunmadığı ya da eğimin düşük olup ve yüzey akışının gerçekleşmeyip süzülmenin olduğu alanlar çok yüksek duyarlılık göstermektedir. Pozuelo ve Zurraque polyeleri de düdenlerin varlığından dolayı çok yüksek duyarlılık sınıfındadır. Çalışmada karbonat mostralarının toprak tabakası, ya da Kuvaterner malzeme ile örtülü olduğu alanlar orta duyarlılık sınıfındadır. Düşük ve çok düşük duyarlılık sınıfındaki alanlar ise polyelerin dışındaki düşük geçirimli marnlı kireçtaşı mostralarıdır. İkinci çalışma alanı olan Terromolinos akiferi, COP duyarlılık değerlendirmesinde karbonatlı kayaların karstlaşma derecesinin sınırlı olması nedeniyle, Sierra de Libar akiferinden daha yüksek koruma gösterdiği belirlenmiştir. Çalışma alanının orta-yüksek duyarlılıkta olduğu vurgulanmıştır. Vadoz zon kalınlığının 300 m'den fazla olan alanlar orta, 300 m'den az olan alanlar yüksek duyarlılık sınıfı olarak belirlenmiştir. Düşük ve çok düşük duyarlılık alanlarında ise düşük geçirgenliğe sahip birimler bulunmaktadır.

Vias (2010) [18], tarafından Avrupa'nın farklı hidrojeolojik ve iklimsel özelliklerine sahip dört akiferinde COP yöntemi kullanarak yeraltısuyu duyarlılığı değerlendirilmiştir.

Duyarlılık değerlendirmesinde en yüksek etkiye sahip parametreyi belirlemek amacıyla istatistiksel analizler yapılmış ve yeraltısuyu duyarlılığını belirlemede yeni bir parametre tanımlanmıştır. Buna göre, ilk çalışma alanı Sierra de Libar alanında dolin ve karen gibi karstik yapılarının olması ve bu yapıların vadoz zonun koruyucu etkisini ortadan kaldırmasıyla yüksek-çok yüksek duyarlılık sınıfında tanımlanmıştır. Bu alan için COP yönteminde en önemli parametre C faktörü olarak belirlenmiştir. İkinci çalışma alanı yüzeylemiş karbonatlı kayaçların bulunduğu Sierra de Mijas'ta duyarlılık sınıfları, ortadan çok yükseğe değişiklik göstermektedir. Bu durumun sebebi, vadoz zon kalınlığının alan içinde değişiklik göstermesidir. Duyarlılık, vadoz zonun kalınlığı 100 m'den az olan alanlarda çok yüksek iken, 300 m'den fazla olan alanlarda düşüktür. Bu alan için COP yönteminde en önemli parametre O faktörü olarak belirlenmiştir. Diğer çalışma alanı olan Bauschlotter Platte akiferinde, lös çökellerinin ve toprağın akifer üzerinde koruyucu örtü oluşturduğu alanlarda duyarlılık sınıfları ortadan düşüğe doğru değişmektedir. Alanın geri kalanında duyarlılık düşük vadoz zon kalınlığı, koruyucu örtünün olmaması ve dolinlerin varlığından dolayı orta-çok yüksek sınıflarındadır. Bu alan için COP yönteminde en önemli parametre O faktörü olarak belirlenmiştir. Dördüncü çalışma alanı Podstenjsek havzasında, karstik yer şekilleri nedeniyle koruyucu örtü bulunmayan akiferde duyarlılık sınıfları orta ve çok yüksek arasında değişiklik göstermektedir. Bu alan için COP yönteminde en önemli parametre C faktörü olarak belirlenmiştir. Sonuçlar, her bir pilot akiferin kavramsal modeli ve mevcut hidrojeolojik verisi ile uyumlu olduğundan, COP yönteminin duyarlılık değerlendirmesinde kullanılması uygun bulunmuştur. Çalışmada P faktörü, duyarlılık değerlendirmelerinde dikkate alınsa da çalışma alanlarındaki duyarlılık sınıflarının üzerinde etkisinin olmadığı belirlenmiştir. COP yöntemi için önerilen parametre, her bir akiferdeki duyarlılık sınıflarının önemini ağırlıklı ortalama hesabı ile karşılaştırmaya olanak sağlayan Global duyarlılık (Gv) parametresi olup, Sierra de Libar akiferinin çok yüksek duyarlılığa sahip olduğu belirlenmiştir.

Doummar et al. (2012) [19], EPIK ve COP yöntemlerini kullanarak Beyrut'un kuzeyindeki Jeita karst kaynağının yeraltısuyu duyarlılığını değerlendirmişlerdir. Çalışmada alan alt ve üst havza olarak iki ana havzaya ayrılmıştır. Alt havza, Jeita kaynağının beslenme alanı iken, üst havza Afqa, Qanai Assal ve Laban kaynaklarının beslenme alanıdır. COP yöntemine göre alt havzanın %36'sı çok yüksek duyarlılık sınıfındadır. Dolinlerin çevresindeki yaklaşık 51 km²'lik alan yüksek ve orta duyarlılık

sınıfındadır. Düşük ve çok düşük duyarlılık sınıfındaki alanlarda karstlaşma gözlemlenmemiştir. Çalışmada üst havzanın çok büyük bir kısmının karstlaşmanın olması ve dolinlerin yoğun bulunmasından dolayı çok yüksek duyarlılık sınıfında olduğu belirtilmiştir. Dolinlerin olduğu bölgeden uzaklaştıkça duyarlılığın azaldığı gözlemlenmiştir. COP yöntemi uygulanırken, bitki örtüsü ve eğim parametrelerinin duyarlılık hesaplanmasında etkisinin daha az olduğu belirtilmiştir. EPIK yöntemine göre ise, alt havzada dolinlerin yoğun olarak bulunduğu alan çok yüksek duyarlılık, kaynakların olduğu alan yüksek duyarlılık sınıfında tanımlanmıştır. Alanın büyük bir kısmında EPIK Koruma Faktörünün değeri 25'ten büyüktür. Bu durum süzülme ve koruyucu örtü faktörlerinin yüksek değerler almasından kaynaklanmaktadır. Üst havzada ise, alandaki dolin yoğunluğu nedeniyle EPIK Koruma Faktörünün 11 ile 18 arasında değer alıp, alanın büyük bir kısmı çok yüksek duyarlılık sınıfındadır. Çalışma alanında çok yüksek duyarlılık sınıfında olan kaynaklarda yapılan izleyici testlerine göre doymun olmayan zonda ortalama hız 40-45 m/s iken, doymun ve doymamış zonda 67-200 m/s olup, geçiş süresinin 3 ile 10 gün arasında değiştiği belirlenmiştir.

Mosoompour et al. (2013) [20], İran Kermanshah'ın güneybatısında, Zagrus bölgesinde bulunan Gilan-e-Gharb akiferinin duyarlılığını COP yöntemi kullanılarak belirlemişlerdir. COP yöntem parametrelerine göre çalışma alanı için karstik yapıları içermeyen 2. senaryonun kullanılması uygun görülmüştür. Buna göre; çalışma alanının %0.25'i çok düşük, %25.5'i düşük, %46.71'i orta, %26.94'ü yüksek ve çok yüksek duyarlılık sınıfı olarak belirlenmiştir.

Saraybosna'da COP yöntemi ile yeraltısu duyarlılığını ve kirlilik riskini değerlendirmesi Hadžić et al. (2015) [21] tarafından yapılmıştır. Çalışmaya göre, COP yöntemi YAS duyarlılık haritası beş sınıftan oluşmaktadır. Beslenme alanı içerisinde tehlike oluşturan kanalizasyon, benzin istasyonları, taş ocakları, yollar, depolama alanları, mezarlıklar ve endüstri vb. potansiyel kirleticiler göz önünde bulundurularak YAS Kirlilik İndeksi hesaplanmıştır. Buna göre çalışma alanında çok düşük, düşük ve orta seviyede risk sınıfları belirlenmiştir. Çalışma sonucunda YAS duyarlılık ve kirlilik risk haritaları birlikte değerlendirilmiştir.

1.3.3. ATP Yapılan Çalışmalar

ATP ve Kırkgöz kaynaklarının; jeolojik, hidrojeolojik, hidrolojik, jeofizik ve su kimyası verileri incelenerek oluşturulan Kırkgözler Raporu'na göre (DSİ 1985) [22], alanda çok

sayıda karstik oluşum mevcut olup en önemli akiferler, karstik Mesozoik kireçtaşı ve travertenlerdir. Çalışmada ATP yukarı ve aşağı plato olarak ikiye ayrılmıştır. Aşağı platoda travertene açılmış sondaj kuyularından yeraltısuyu elde edilmektedir. Kırkgöz kaynakları CaHCO_3^- fasiyesinde olup, alanda kanalizasyon şebekesi olmadığından atık sular direkt kaynaklara ve kuyulara ulaşmaktadır. Bu durum yeraltısularının ağır metal içeriği ile doğrulanmıştır. Raporda içme-kullanma sularından sıklıkla örnek alınarak kimyasal analizlerin yapılması ve traverteni kirletecek her türlü faaliyetten kaçınılması önerilmiştir.

Özüş (1992) [23], tarafından ATP'nun jeolojik, hidrojeolojik, hidrolojik ve hidrokimyasal özellikleri incelenmiştir. CaHCO_3^- 'ca zengin suların karasal ve çok sığ bataklık ortamlarında çökmesi sonucu oluşan ve yaklaşık 630 km² yayılımına sahip olan Pliyo-Kuvaterner yaşlı Antalya travertenini üst ve alt plato olarak ikiye ayrılmıştır. Çalışmada üst platonun akifer özelliği taşımayıp alt platoya su ileten özellikte olup ortalama kalınlığının 250 m olduğu, işletme sahalarının bulunduğu ve serbest akifer özelliğinde olan alt platonun ise, yaklaşık 150 m kalınlığında olduğu belirtilmiştir. Su kimyası analizlerinde Kırkgöz kaynakları ile travertende bulunan kaynak ve yeraltısularında kalsiyum iyonları açısından farkın, Kırkgöz kaynaklarının traverten içerisinde CaCO_3 çözmeyp, çöktittiğini göstermiştir. Çalışmada; Kırkgöz kaynakları ve traverten kaynak sularının sert sular, Hurma kaynak sularının ise tatlı sular olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, atık suların travertene deşarj edilmesine rağmen, suların kirlilik değerlerinin beklenilenin altında olmasının bakteri seyrelmesi ve doğal filtrasyon gibi durumlardan kaynaklandığı belirtilmiştir

Atilla (1996) [24], ATP'nda bulunan sondaj kuyuları ve kaynaklardan kurak ve yağışlı dönemde hidrojeokimyasal özellikler ve çevresel izotop içeriğinin belirlenmesi amacıyla örnekleme yapmıştır. Alınan örneklerde farklı hidrojeokimyasal değişkenler kullanılarak çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemleri ile değerlendirme yapılmıştır. Kurak ve yağışlı dönemde alınan örneklerin fiziksel ve kimyasal özelliklerinde önemli farklılıkların olmaması, bölgede yaygın bir yeraltısuyu dolaşım sistemi olduğunu göstermiştir. Çevresel izotop gözlemleri Kırkgöz kaynak grubu, Düden ve Varsak su noktalarının en yüksek beslenme kotuna sahip olduğunu, Kemerağzı kaynağının ise daha düşük kotlardan farklı bir beslenme mekanizması ile beslendiği ortaya koymuştur. $\delta^{18}\text{O}$ -ÖEİ ilişkisine göre yağışlı dönemde değerlerin birbirine yakın olması

nedeniyle iyi karışmış bir sistem olduğu, $\delta^{18}\text{O}-\text{Cl}^-$ ilişkisine göre tüm kaynaklarda aynı Cl değerlerinin olmasının yeraltısuyundan buharlaşma olmadığını göstermiştir.

Başal (1999) [25], tarafından ATP'nda traverten akiferi üzerinde bulunan toprak zonunun, yeraltısuyu açısından önemi incelenmiştir. Çalışmada traverten platosundan alınan 92 adet toprak örneği toprak türü, yapısı, dokusu, jeohidrolojik özelliklerine göre gruplandırılmış ve her grup için organik madde içerikleri, tane boyu, X ışınları yöntemiyle toprakların doğal arındırma kapasitelerini oluşturan süreçler belirlenmiştir. Çalışma sonucunda ATP'nda yeraltısuyu kirliliğinin beklenen düzeyin altında olmasının nedeni vadoz zonu oluşturan toprağın kirleticilere karşı arındırma kapasitesine sahip olmasıdır. Ayrıca, çalışma alanında fosfat iyonu için yapılan tutulma deneylerinde en yüksek geciktirme etkisinin bölgenin güneyinden alınan toprak örneklerinde, en düşük geciktirme etkisinin ise, bataklık alüvyonuna ait topraklarda olduğu belirlenmiştir.

Erdoğan (1999) [26], çalışmasında ATP toprak örtüsünün jeohidrolojik özelliklerini, alansal dağılımını ve beslenmeye olan etkisini incelemiştir. Çalışma sonucunda, ATP'nun 103 km²'lik kısmının toprak örtüsünden yoksun, var olan toprağın ise yalnızca travertende gelişen boşluklarda olduğu belirlenmiştir. Çalışma alanının %83.9'u kırmızı kahverengi Akdeniz toprakları, %15.1'ini alüvyal topraklar ve %0.99'unu kolüvyal topraklar oluşturmaktadır. Çalışma alanında toprak kalınlığının 0-90 cm arasında değiştiği, alanının %52.42'sinin 0-20 cm kalınlığında çok sığ toprak sınıfında olduğu belirtilmiştir. 90 cm'den kalın olan derin topraklar ise kolüvyal ve alüvyal topraklar olup alanın %3.1'ini kapsamaktadır. Çalışma kapsamında yapılan analizler sonucunda toprak örtüsünün iyi derecelenmiş, ince kum-silt boyunda ince taneli malzemeden oluştuğu belirlenmiştir. Toprak örtüsü için gözeneklilik, özgül tutulma, özgül verimlilik ve hidrolik iletkenlik katsayısı hesaplanmıştır. Toprak örtüsü düşük iletkenliğe (10^{-7} - 10^{-5} m/s) sahip yarı geçirimli bir malzemeden oluşmaktadır. Ayrıca, çalışma alanındaki toprak örtüsünde gerçekleşecek akımı hesaplamak amacıyla Gardner yaklaşımı ile kılcal iletkenlik değerleri hesaplanmış, 1930-1987 yılları arasında gözlenen en büyük yağış değerleri kullanılarak 2, 5, 10, 25, 50 ve 100 yılda bir meydana gelmesi olası yağışlar için göllenme hesabı yapılmıştır.

Başal (2000) [27], ATP'nda toprak örtüsünün filtreleme, iyon takası ve geciktirme etkisi gibi özelliklerini inceleyip, toprağın koruyucu örtü işlevini değerlendirmiştir. Çalışma sonucunda, alanın güney kısmında vadoz zon kalınlığı 200-250 m'yi bulan toprakların

koruyucu örtü işlevinin yüksek, orta kısmında toprak kalınlığı az ancak vadoz zon kalınlığı yüksek olan toprakların koruyucu örtü işlevinin orta ve şehir merkezine yakın kısımda toprak kalınlığının düşük, su tablasının sık olduğu alanlardaki toprakların koruyucu örtü işlevinin ise, düşük olduğunu belirtmiştir.

Kırkgözler ön inceleme raporunda (2005) [28], Antalya kentinin içme, sulama ve endüstri suyu ihtiyaçlarının karşılandığı Duraliler, Boğaçay ve Kırkgöz kaynaklarının koruma alanlarını belirleme çalışmaları yapılmıştır. Alanda yapılan jeoloji, hidrojeoloji ve su kimyası etütleri sonucunda I, II ve III No.lu koruma alanı sınırları ve bu sınırlar için alınacak önlemler belirlenmiştir. Raporda kentin içme suyu ihtiyacının büyük bir kısmını karşılayan Duraliler ve Kırkgöz kaynaklarının kendine has jeolojik ve hidrojeolojik özellikleri nedeniyle TSE 9774 de belirtilen şartların uygulanması uygun görülmediğinden, bu alanlarda ayrıca alınması gereken önlemler belirtilmiştir. Çalışma sonucunda çöp alanlarının ıslah edilmesine, düdenlerin çevresinde I. derece koruma bandı oluşturulmasına, işletme sahalarının içinde bulunduğu alanlarda kanalizasyon sistemine geçilmesine ve atık suların yeraltına deşarjının önlenmesine karar verilmiştir.

Batı Antalya bölgesi hidrojeolojik etüt raporunda (2006) [29], yoğun göç nedeniyle sürekli büyüyen Antalya yöresinin yeraltısuyu durumu incelenmiştir. Bölgede yapılan jeoloji, hidrojeoloji ve su kimyası etütleri sonucunda Duraliler, Boğaçay, Gürkavak, Doyran, Tekerpınar ve Yemişpınarı-Kargılıçeşme kaynaklarının koruma alanları ve bu alanlar için alınması gereken önlemler belirtilerek, içme suyu sağlayan kaynaklardan örnek alınarak kirlilik izleme çalışmalarının yapılmasına karar verilmiştir.

Özyurt (2008) [30] çalışmasında Kırkgöz karst kaynaklarında trityum (^3H), kloro-florokarbon (CFC) ve trityojenik helyum (^3He) çevresel izleyicilerini kullanarak karst akiferinin geçiş süresini 120 yıl olarak belirlemiştir. Bu süre bir kaç yüzyıl öncesine dayanan beslenimlerin göstergesi olup, akifere giren kirleticinin geçiş süresi boyunca seyrelme ile kaybolabileceği ya da akiferde rastlanan kirleticinin çok uzun süre önce sisteme girdiğinin göstergesi olabileceğini belirtmiştir.

Akçal (2011) [31], çalışmasında Antalya travertenlerinin mekanik ve fiziksel özelliklerini incelemiştir. Travertenler masif, bitki dokulu ve gözenekli olmak üzere gruplandırılmıştır. Alanda bulunan sondajlardan alınan karot örnekler doğal ortam, evsel atık su ve deniz suyunda 90 gün boyunca bekletilerek birim hacim ağırlık,

gözeneklilik, boşluk oranı gibi özellikleri belirlenmiştir. Masif, bitki dokulu ve gözenekli traverten örneklerinin doğal ortamdaki birim hacim ağırlıklarının evsel ve deniz suyu ortamında azaldığı gözlenmiştir. Bu durumun nedeninin, evsel ve deniz suyundaki kimyasal minarellerin çözücü etkisinden kaynaklandığı düşünülmüştür. Ayrıca, örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımı ile mekanik özellikleri belirlenmiştir. Deniz ve evsel atık suyunda bekletilen örneklerde bitki dokulu ve gözenekli traverten örneklerinde gerilme-deformasyon değişimlerinde büyük farklılıklar olduğu gözlenmiştir.

Çil (2017) [32], yoğun tarımsal faaliyetin gerçekleştiği Antalya-Altınova bölgesinde DRASTIC, SINTACS, COP, EPIK VE PI yöntemlerini kullanılarak yeraltısuyu duyarlılık değerlendirmesi-haritalaması yapmış ve yöntem sonuçları karşılaştırmıştır. Çalışma alanında yeraltısuyu, tarımsal faaliyetlere ek olarak içme-kullanma suyu olarak da kullanılmaktadır. Bu nedenle, çalışma alanında 25 noktadan alınan yeraltısuyu örneğinde kirliliğe karşı duyarlılık ve kirleticilerle unsur belirleme çalışmaları yapılmıştır. Bölgede kanalizasyon sisteminin bulunmaması fosseptik çukurlarından sızıntılarla yeraltısuyunun nitrat ve diğer kirleticiler tarafından kirlenmesine sebep olmaktadır. Analiz sonuçlarına göre, örnek alınan bazı noktalarda demir, mangan, nitrat ve arsenik konsantrasyonlarının içme suyu limit değerlerinin üzerinde olduğundan bu suların içme suyu olarak kullanımının uygun olmadığı belirtilmiştir. Çalışma alanında yapılan YAS duyarlılık değerlendirmesinde SINTACS yöntemi hariç tüm yöntemlerde, alanın yaklaşık %85.5'ini oluşturan karstik kireçtaşının yüksek duyarlılık sınıfında olduğu belirlenmiştir. SINTACS yöntemine göre ise, çalışma alanının tümü yüksek duyarlılık sınıfındadır. YAS kirlilik risk analizinde ise kanalizasyon sistemi olmayan alanların yüksek kirlilik riski taşıdığı belirlenmiştir. Çalışma sonuçları düşük kirlilik riskine sahip alanlarda gübre kullanımı arttıkça, riskin orta seviyeye çıktığını göstermiştir.

2. ÇALIŞMA ALANI

2.1. Coğrafi Konum ve Genel Özellikler

Antalya, Türkiye'nin güneybatısında yer alan, güneyinde Akdeniz ve kuzeyinde denize paralel Toros dağları ile çevrili bir ilimizdir. Yükseklikleri 2500-3000 m'yi aşan Toroslar dağları, alanın 3/4'ünü kaplarken, batıdaki Teke yöresinde geniş platolar ve havzalar yer almaktadır. Çoğunlukla kireçtaşıdan oluşmuş bu dağlar ve platolar, kireçtaşlarının çözünmesi ile mağara, düden, dolin, uvala ve polyeler gibi farklı karstik morfolojik yapıların oluşumuna yol açmaktadır. Antalya ili uygun iklim koşulları nedeni ile tarımsal üretim açısından önemli bir yere sahiptir [33].

Çalışmanın yapıldığı Altınova bölgesi, Antalya il merkezinin doğusunda $36^{\circ} 57' 20''$ ve $36^{\circ} 54' 25''$ kuzey enlemleri ile $30^{\circ} 45' 18''$ ve $30^{\circ} 48' 27''$ doğu boylamları arasında [34] (Şekil 2.1) ve 1/100.000 ölçekli topoğrafya haritalarında N25, O25 paftalarında yer almaktadır.

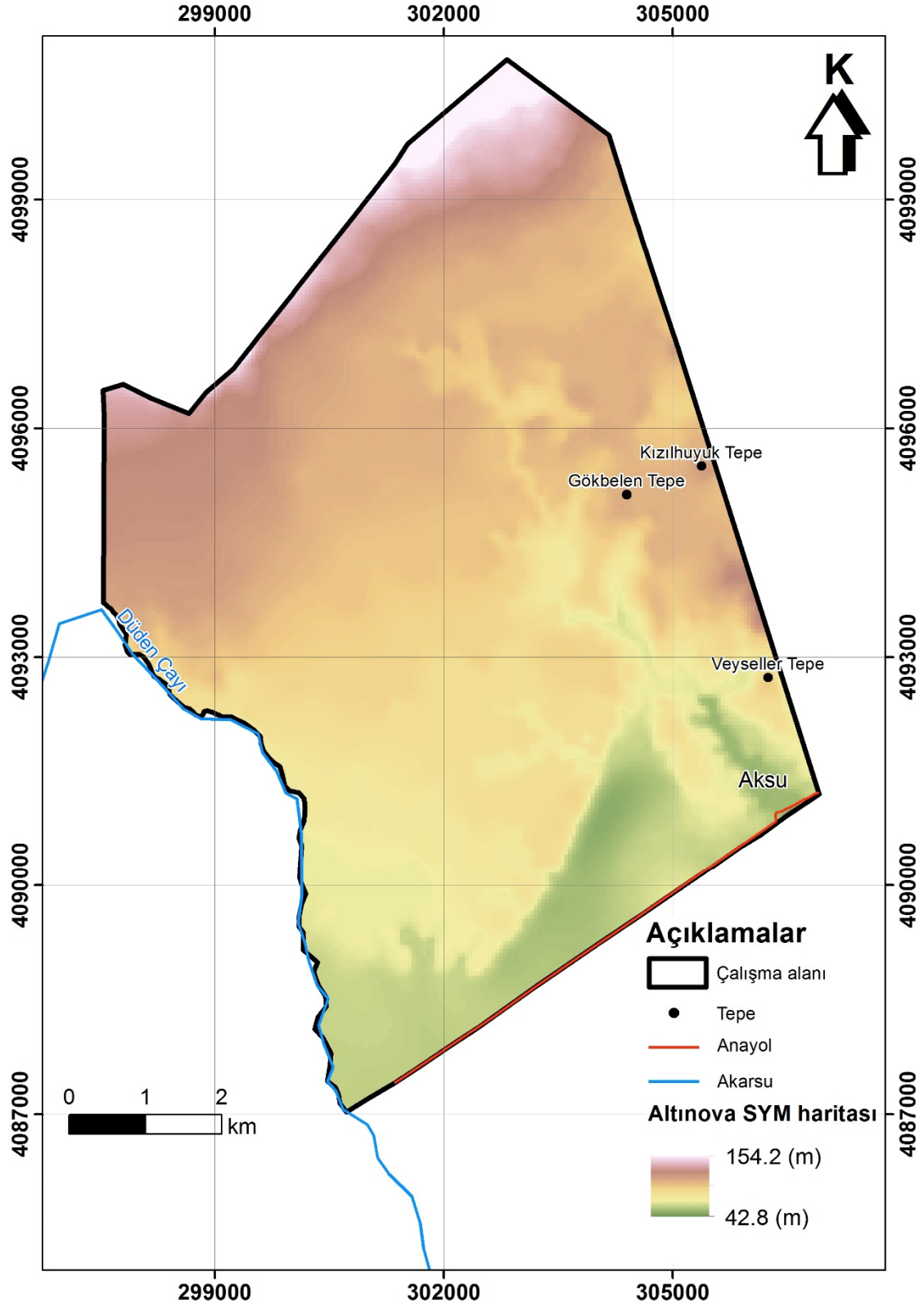
Altınova bölgesi, 1981 yılına ait hava fotoğraflarında, makilerle kaplı kayalık bir bölge iken, 1983-1986 yılları arasında değişmeye başlayıp 2005 yılından itibaren, tarım alanlarının, örtü altı tarım alanına (sera) dönüşmesi, yerleşimin artması, endüstri ve sanayinin gelişmesi ile değişim göstermiştir [34].

ATP; doğuda Aksu vadisi, batıda Boğaçay ve Beydağları, güneyde Akdeniz ve kuzeyde Toros Dağları ile çevrilidir. Yaklaşık 630 km²'lik alana yayılmıştır. ATP 3 basamak halinde oluşmuştur. Döşemealtı ovası olarak adlandırılan üst plato ile kent merkezi ve yerleşim alanlarını üzerinde bulunduran Varsak veya Düden ovası olarak da adlandırılan alt plato karada görülmektedir. Döşemealtı platosu (üst plato) 250-300 m kotları arasında iken, alt plato 40-150 m yüksekliğindedir [22]. Travertenlerin yayılımı 40 m'lik bir falezle Akdeniz'de sona ererken [25], üçüncü bir platonun deniz seviyesi altında sahil çizgisinin 2.5-3 km güneyinde devam ettiği ve 150 m'lik bir düşümle sona erdiği yapılan jeofizik ölçümleri ile belirlenmiştir [23]. Çalışma alanı alt platoda yer almakta olup, yükseltisi 42.8-154.2 m arasında değişmektedir. Şekil 2.2'de çalışma alanının Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) gösterilmektedir.



- | | | | | | | | |
|--|-----------------|--|---------------|--|---------------|--|---------------|
| | Bölünmüş yollar | | Asfalt yollar | | İlçe merkezi | | Çalışma Alanı |
| | Devlet yolu | | İl merkezi | | Bucak merkezi | | |

Şekil 2.1. Çalışma alanı yer bulduru haritası



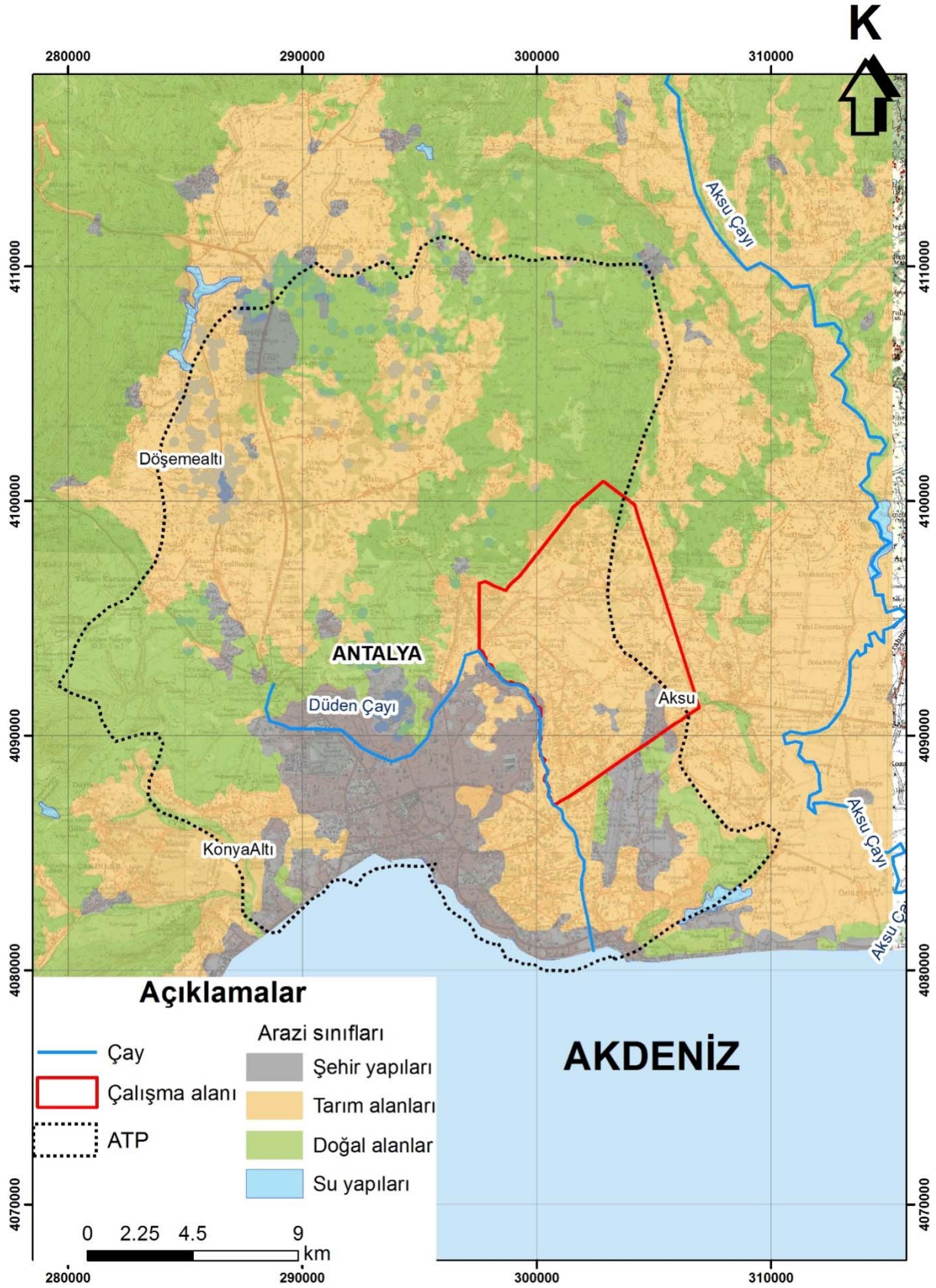
Şekil 2.2. Çalışma alanı sayısal yükseklik modeli.

2.2. Arazi Kullanımı

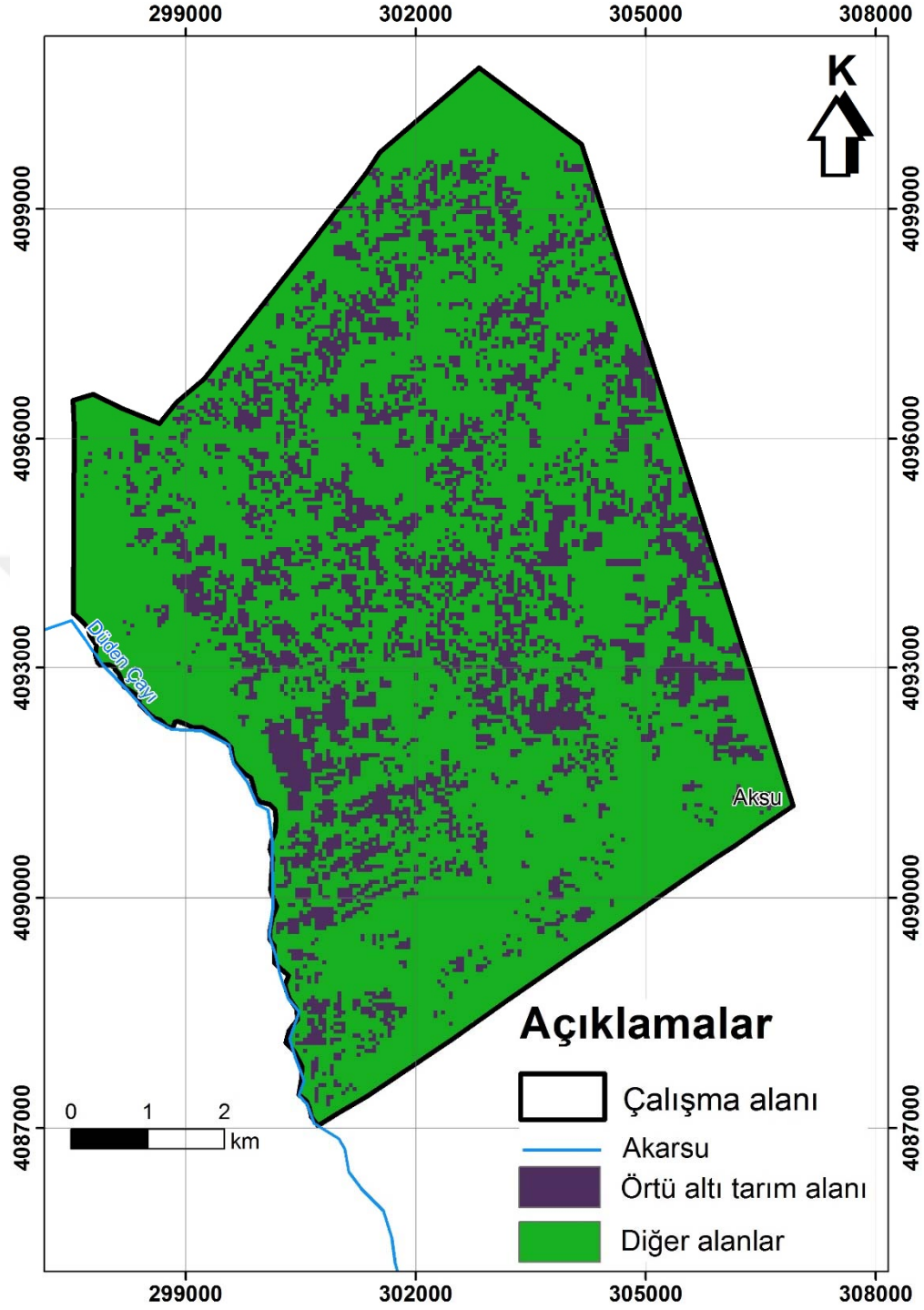
YAS kirlilik duyarlılığının belirlenmesinde arazi kullanımı önemli bir parametredir. Ancak, duyarlılık çalışmalarında değerlendirmeye katılmayıp tehlike ve risk değerlendirmesinde göz önünde bulundurulmaktadır. Özellikle örtü altı tarım alanlarından gerçekleşen yeraltısuyu beslenimi sulama suyu fazlası ile sınırlı kaldığından tarımsal kirlетici taşınımı açısından belirleyicidir. Bu çalışmada yoğun örtü altı tarımın yapıldığı Altınova bölgesinde YAS duyarlılığının belirlenmesinde arazi kullanımı değerlendirilirken örtü altı tarım alanları dikkate alınmıştır.

ATP arazi kullanımının belirlenmesi için Corine 2006 [35] arazi sınıflandırma haritalarından yararlanılmıştır. ATP için oluşturulan arazi kullanım haritası 4 ana gruba ayrılmış olup bunlar; şehir yapıları, tarım alanları, doğal alanlar (orman, mera) ve su yapılarıdır. Corine 2006 [35] arazi sınıflandırmasına göre tarım alanları sürekli sulanan alanlar (sera), meyve bahçeleri, sulanmayan alanlar gibi alt başlıklara ayrılmıştır. 2006 yılı arazi kullanımı verilerine göre ATP ağırlıklı olarak tarım alanları ve doğal alanlardan oluşmaktadır. Çalışma alanı ise Corine 2006 [35] arazi sınıflandırmasına göre tarım alanından oluşmakta olup 2006 yılı verilerine göre sera alanları ayrıca tanımlanmamıştır (Şekil 2.3). Bu durum çalışma alanında örtü altı tarım uygulamasının bu dönemden sonra yaygınlaştığını göstermektedir.

Çalışma alanında Google Earth görüntüsü üzerinden sayısallaştırma yoluyla örtü altı tarım alanları (sera) belirlenmiştir. Toplam çalışma alanı yaklaşık 72.8 km² iken, bu alan içerisinde örtü altı tarım alanı 17.4 km²'lik alan kaplamaktadır (Şekil 2.4). Çalışma alanında bulunan seralarda sebze-meyve ve kesme çiçek yetiştirilmekte olup, bitkilerin ihtiyaç duyduğu sulama suyu yeraltısuyundan karşılanmaktadır. Örtü altı tarım alanlarında üretim yıl boyunca devam ettiğinden, yeraltısuyu kullanımı da süreklilik göstermektedir. Çalışma alanında yüzeysel akış oluşmamaktadır. Seralarda sulama suyu fazlasını toplayan drenaj sistemi bulunmamaktadır. Çalışma alanında sera alanlarına düşen yağış traverten akiferin sahip olduğu yüksek süzölme özelliğinden dolayı sera çevresinden yeraltına süzölmektedir. Bu durum seralarda kullanılan tarımsal ilacın yeraltısuyuna karışması açısından geciktirici bir rol oynamaktadır.



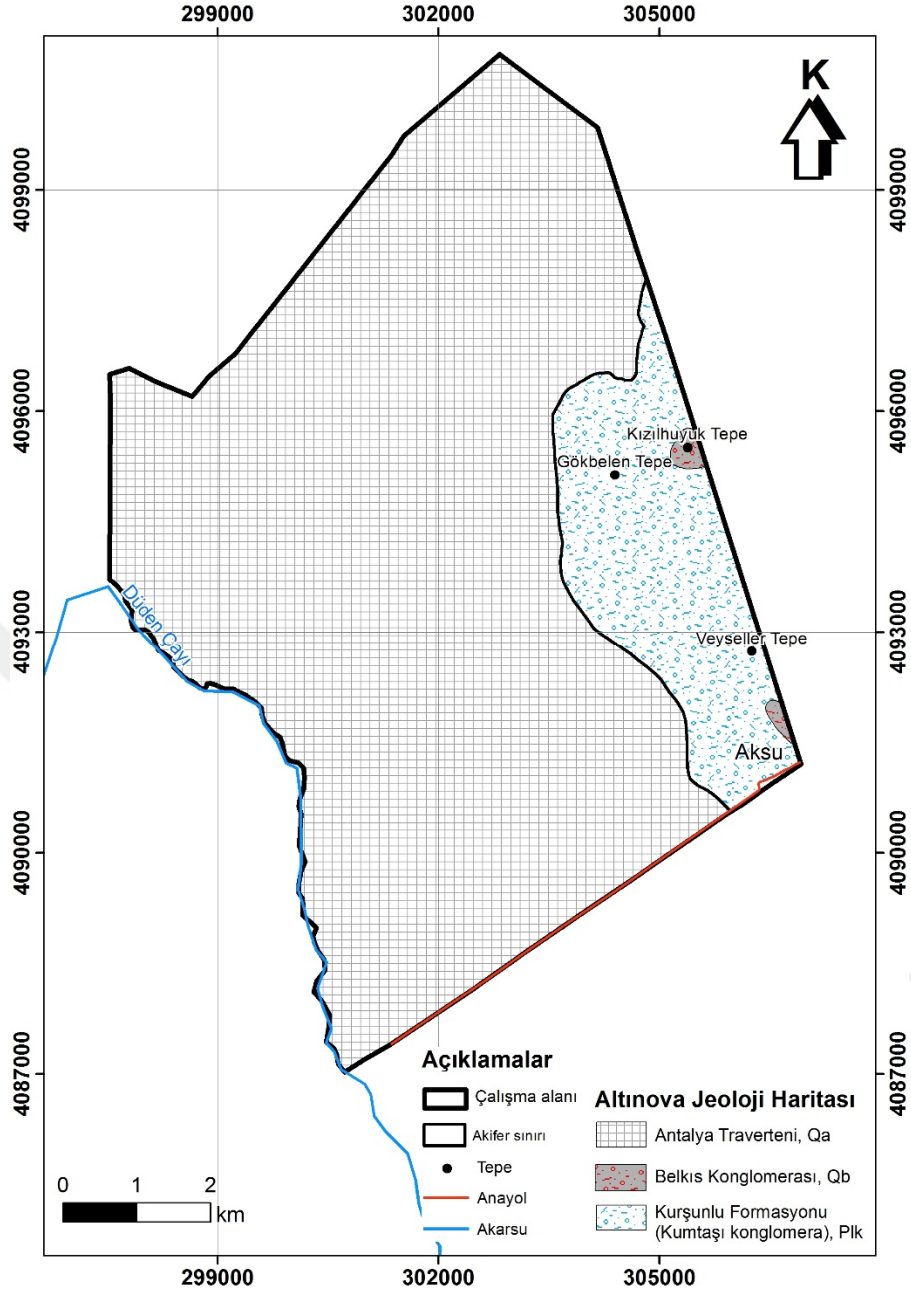
Şekil 2.3. ATP’de arazi kullanımı (Corine 2006’dan [35] düzenlenerek).



Şekil 2.4. Çalışma alanında örtü altı tarım yapılan alanlar.

2.3. Jeoloji

Çalışma alanında üç jeolojik birim yüzeylemektedir. Çalışma alanının jeolojisi Şenel (1997)'den [36] alınmıştır. Bunlar Antalya travertenleri (Qa), Kurşunlu Formasyonu (Plk) ve Belkıs Konglomasıdır (Qb) (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Çalışma alanı jeoloji haritası.

Çalışma alanının yaklaşık %84.7'sini kaplayan Antalya traverteni, masif veya kalın tabakalı, kahve renkli, yer yer ince-orta katmanlı, sık erime boşluklu, sık ya da süngerimsi dokudadır [36] (Şekil 2.6). Yer yer 200 m kalınlığa ulaşan traverten, alt platoda 40-150 m'dir. Antalya traverteni ofiyolitik melanj karakterindeki Antalya naplarının ve Pliyosen yaşlı Yenimahalle ve Kurşunlu Formasyonunun üzerine uyumsuz olarak gelmektedir [28].

Büyük su boşalımları sırasında oluşan traverten [36], oluşum yerine göre kalın katmanlı masif travertenler, traverten havuzunda çökelmiş ince kırıntılı akmataşı

şeklindeki travertenler, traverten havuzunun kenarında sarkıt-dikit yapılarında gözlenen travertenler ve kalsit çamuru olarak gruplandırılmıştır [28]. Condora sp. bulgusuna dayanılarak Üst Pliyosen-Kuvaterner yaşlı kabul edilen traverten, çalışma alanında geniş yayımlı akifer olarak belirlenmiştir [36].



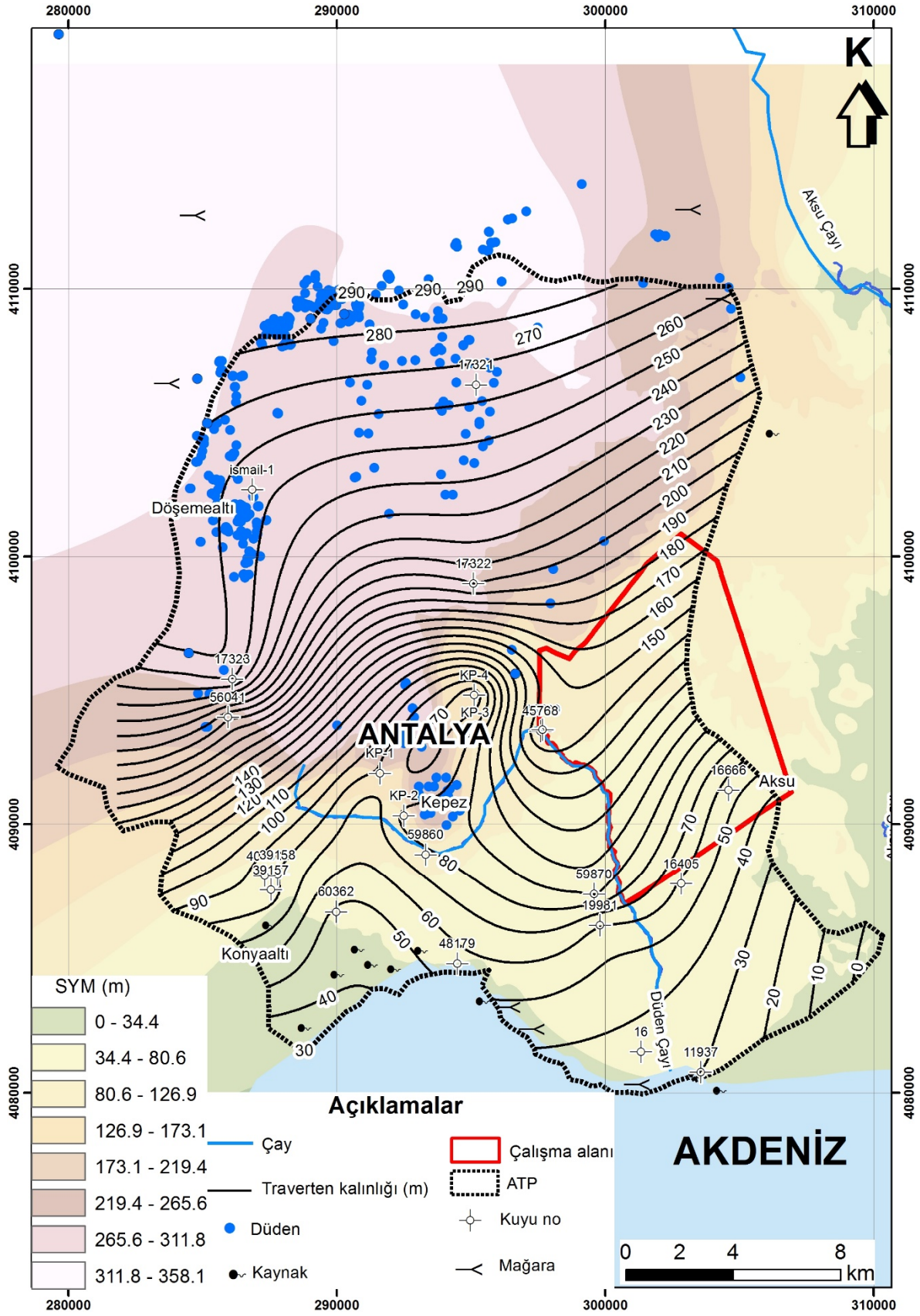
Şekil 2.6. ATP üst plato genel görünüm (bakış yönü: Kuzey).

Kalsiyuma (Ca^{2+}) doymuş yeraltısuyunun yüzeye çıktığı noktada CO_2 basıncının azalmasına bağlı olarak hızlı bir şekilde CaCO_3 çökeltmesiyle traverten oluşur. Travertenler bazı bölgelerde ince veya kalın tabakalı, bazı bölgelerde ise tabakasız olarak çökelirler. Su kaynağının yavaş akımlı olduğu sığ sularda kalın tabakalı travertenler, akım hızı arttıkça tabakalanma göstermeyen ya da ince tabakalı travertenler oluşur. Traverten çökelleri kaynak kotuna ulaştığında yeraltısuyu traverten içinde akarak yeni bir kaynak oluşturur [31]. CaHCO_3 genellikle çökeltme bölgesinde yer alan çakıl bitki gibi cisimleri kabuklar halinde sararak kongresyonlar meydana getirir. Travertenlerin gözeneklilikleri, hidrolik iletkenlik katsayıları heterojen ve anizotropdur. ATP'nun karst morfoloji yapıları (Düden, dolin, kaynak vb.) Şekil 2.7 'da sunulmuştur.

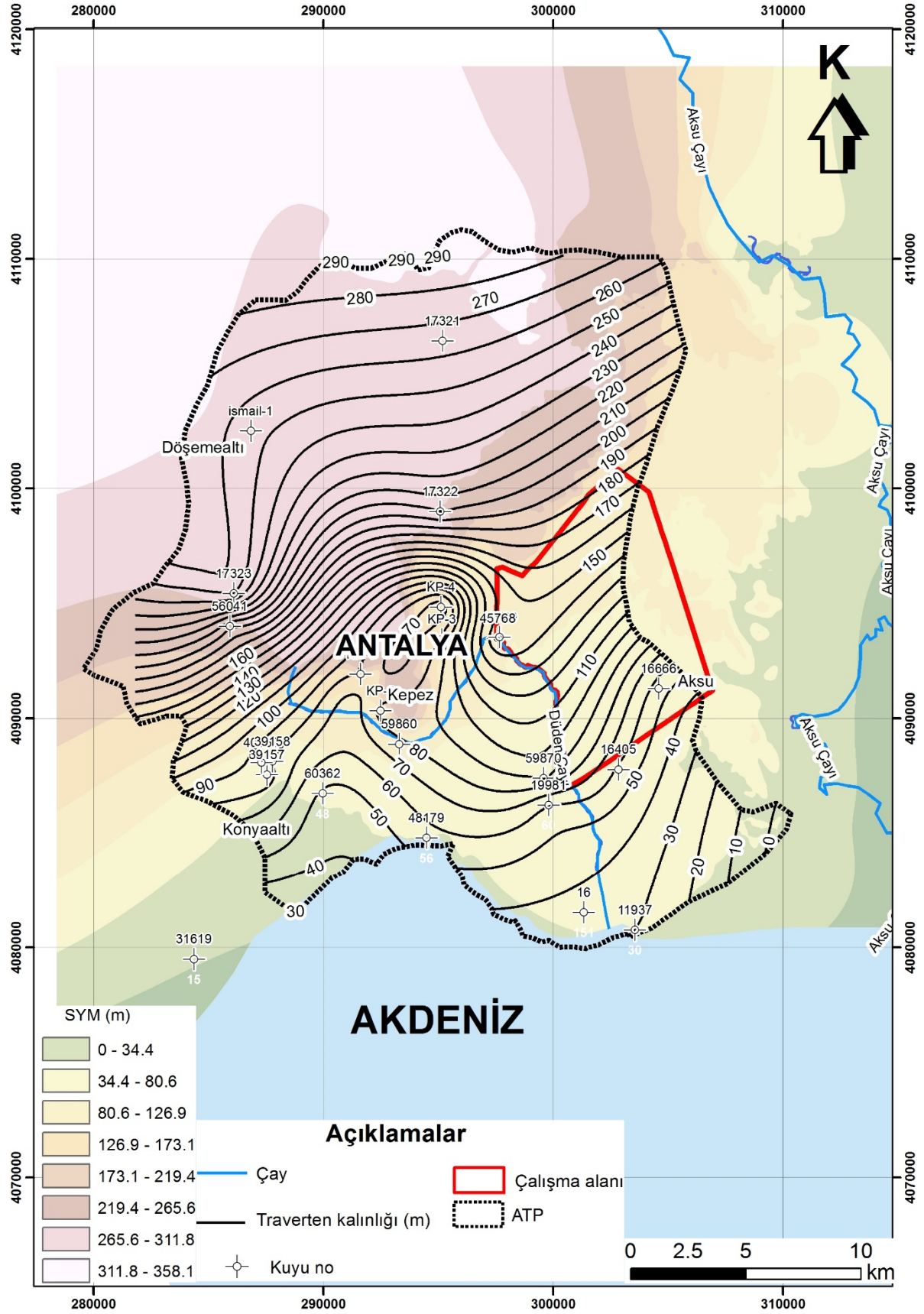
ATP traverten kalınlığı haritası DSİ (1985) [22] ve Özüş (1992)'de [23] ayrıntıları sunulan kuyulara ait litoloji logları kullanılarak oluşturulmuştur. Çizelge-2.1'de çalışma kapsamında kullanılan kuyulara ait lokasyon bilgisi ve traverten kalınlığı sunulmuştur. Traverten kalınlık haritası (Şekil 2.8) noktasal kalınlık değerleri ArcGIS 10.3 yazılımında “Topo to Raster” enterpolasyon yöntemi ile alansal olarak dağıtılmıştır. Çalışma alanı için oluşturulan traverten kalınlık haritası bu alan içinden kesilerek alınmıştır.

Çizelge-2.1 ATP'de açılmış kuyulara ait lokasyon bilgisi ve traverten kalınlığı

Örnek No	UTM Zonu	Koordinat		Traverten Kalınlık (m)
		X	Y	
İsmail-1	36	286852.7	4102495.0	254
17321	36	295197.9	4106416.5	99
17322	36	295097.7	4098984.6	200
17323	36	286115.1	4095417.3	251
4064	36	294629.7	4084820.1	11
19981	36	299813.9	4086205.7	60
16405	36	302844.0	4087758.9	58
11937	36	303559.5	4080742.2	30
16	36	301336.9	4081504.2	151
16666	36	304597.6	4091272.9	55
KP-1	36	291621.1	4091903.6	78
KP-2	36	292499.5	4090316.1	82
KP-3	36	295152.6	4093428.0	83
KP-4	36	295127.0	4094824.3	65
56041	36	285950.0	4093990.0	190
59860	36	293315.0	4088860.0	130
59870	36	299590.0	4087370.0	91
60362	36	289983.0	4086707.0	48
37965	36	291250.0	4112800.0	5
45768	36	297600.0	4093475.0	148
45769	36	297675.0	4093525.0	144
48179	36	294500.0	4084775.0	56
31619	36	284375.0	4079475.0	15
39157	36	287550.0	4087525.0	84
39158	36	287800.0	4088100.0	80
40950	36	287325	4088050	83



Şekil 2.7. ATP Karst morfolojisi haritası



Çalışma alanının doğusunda ve yaklaşık %14.9'luk bir kısmını kapsayan Kurşunlu Formasyonu, konglomera, kumtaşı ve çamurtaşlarından oluşur. İnce-orta katmanlı, kırmızı, kırmızı-kahve, gri ve yeşil renkte konglomeralardan oluşan birim alttan Yenimahalle Formasyonu ile uyumlu, üstten Antalya traverteni tarafından uyumsuz olarak örtülmüştür. Üst Pliyosen yaşlı olan Kurşunlu Formasyonu yaklaşık 150 m kalınlığındadır ve içerisindeki konglomera seviyeleri akifer özelliği göstermektedir [36]. Çalışma alanının yaklaşık %0.4'ünü kapsayan Belkıs Konglomerası, polijenik konglomeralardan oluşmaktadır. Genelde küresel, iyi yuvarlak çakıllı, belirsiz ve çapraz tabakalanmalı, kum ve çakıl destekli olan birimin kalınlığı 0 ile 20 m arasında değişmektedir. Akarsu kökenli formasyon Pleyistosen yaşlı kabul edilmiştir [36] (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. Çalışma alanında yüzeylenen Belkıs konglomerasından bir görünüm

2.4. Hidroloji

Tez çalışmasının bu bölümünde çalışma alanının iklimsel özellikleri ile çalışma alanı çevresinde yüzeysel akış gösteren akarsular ile alanda yeraltısuyu kotu ölçümü yapılan kuyular hakkında bilgi verilmiştir.

2.4.1. İklim

Altınova bölgesinde yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlı olan tipik Akdeniz iklimi görülmektedir [34]. Tez çalışması kapsamında çalışma alanının yağış ve sıcaklık gibi iklim özelliklerini belirlemek için alana yakın konumda bulunan MGM Antalya OMGI'nin 1970-2015 yıllarına ait sıcaklık ve yağış verilerinden yararlanılmıştır. Çalışma alanı için ortalama yağış değeri hesaplanırken 2008 yılına ait yağış verisinde eksiklik olduğundan ihmal edilmiştir. Buna göre; ortalama sıcaklık 18.5 °C, yıllık ortalama yağış 1106.1 mm ve Turc Yöntemi [37] (Eşitlik 2.1) ile hesaplanan yıllık gerçek buharlaşma miktarı 771.2 mm'dir. Altınova için 1970-2015 yılları yağış, sıcaklık ve gerçek buharlaşma-terleme miktarları Çizelge-2.2'de gösterilmektedir.

$$Ea = \left[\frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}} \right] L = 300 + 25 \times T + 0.05T^3 \quad (2.1.)$$

Bu eşitlikte; Ea: Gerçek buharlaşma-terleme (mm), P: Yıllık ortalama yağış (mm),

L: Sıcaklığa bağlı katsayı ($300+25T+0.005T^3$) olarak verilmektedir.

Çizelge-2.2. Yıllık gerçek buharlaşma-terleme miktarının hesaplanması.

Yıl	Yağış (P mm)	Sıcaklık (T °C)	L	Ea (mm)
1970	992.5	19.3	1139.3	770.6
1971	1068	19.0	1118.0	793.3
1972	630.3	18.6	1084.2	566.5
1973	552.9	19.2	1137.2	518.7
1974	1302.4	19.0	1118.6	867.2
1975	1280.4	18.1	1049.6	828.5
1976	1135.7	17.4	996.1	765.7
1977	995.3	18.0	1044.1	740.0
1978	1436.3	18.2	1058.9	867.7
1979	1283.9	18.6	1086.1	847.1
1980	826.5	17.7	1018.6	662.1
1981	1598.1	18.6	1082.9	910.9
1982	830.3	17.5	1003.7	659.6
1983	1166.6	17.4	998.4	775.1
1984	1152.3	17.8	1026.4	784.0
1985	1102.6	18.0	1041.0	775.4
1986	853.3	18.2	1056.4	684.9
1987	720.9	17.4	1000.2	605.1
1988	1210.1	17.9	1031.2	801.9
1989	648.8	17.5	1006.7	565.7
1990	602.2	17.7	1020.4	539.0
1991	1142.6	17.4	995.5	767.3
1992	644.9	17.0	967.2	556.2
1993	942.4	17.6	1011.4	708.7
1994	1246.4	18.6	1085.5	836.8
1995	1245.7	17.9	1036.1	813.4
1996	1431.3	18.3	1060.2	867.4
1997	1470.3	17.7	1021.6	852.9
1998	1340.6	19.4	1147.4	890.7
1999	855.5	19.4	1148.0	709.2
2000	839.4	18.9	1112.0	692.4
2001	1891.8	19.3	1144.7	992.7
2002	971.6	19.0	1117.3	755.0
2003	1773.6	19.2	1133.2	969.1
2004	1268.2	18.9	1110.7	854.3
2005	1021.8	18.7	1095.8	768.1
2006	1324.3	18.7	1095.1	861.6
2007	711	20.1	1206.2	636.6
2008	264.9	20.5	1240.9	272.4
2009	1389.4	19.4	1153.5	906.2
2010	950.8	19.9	1192.9	767.4
2011	1083.9	18.6	1085.5	786.9
2012	1403.6	19.2	1133.2	899.7
2013	1156.8	19.2	1136.6	831.4
2014	1272	19.1	1127.9	863.1
2015	1006.8	19.7	1177.0	788.2
Ortalama	1106.1	18.5	1083.7	771.2

2.4.2. Akarsular

Çalışma alanında yüzeysel akış gösteren herhangi bir akarsu bulunmayıp, alanın güneybatı sınırında Düden çayı ve doğu sınırında Aksu çayı bulunmaktadır. Traverten platosunun doğusundan geçen Aksu çayının travertenin hidrolojik bütçesine bir etkisi bulunmamaktadır [23].

2.4.2.1. Düdençayı

Kırkgöz suları ile beslenip Düdenbaşı kaynaklarından suyunu alan Düdençayı, tarımsal sulamada kullanılmakta olup traverten platosunun 88-90 m kotlarından çıkmaktadır ve Lara yakınlarında 40 m kotundan şelale yaparak Akdeniz'e dökülmektedir [23].

2.4.2.2. Aksu Çayı

İsparta'nın güneyindeki Akdağ'dan doğan 140 km uzunluğundaki Aksu çayı Değirmendere, Göksu, Tehnelli çayı ve Soğucaksu dereleri ile birleşip, Aksu ilçesinin doğusundan Akdeniz'e dökülür. Ortalama akış hızı $40.9 \text{ m}^3/\text{s}$ olup, Temmuz- Ekim ayları arasında hızı $2 \text{ m}^3/\text{s}$ 'ye düşmektedir [38].

2.4.3. Su Noktaları

Altınova bölgesinde bulunan su noktaları kaynaklar, sondaj ve şahıs kuyuları olarak üç grupta incelenmiştir.

2.4.3.1. Düdenbaşı Kaynağı

Çalışma alanında bulunan Düdenbaşı kaynağı traverten taban topoğrafyasının yükseldiği 89 m kotundan çıkar. Antalya ilinin 9 km doğusunda bulunan kaynak Düden şelalesinin tabanında bulunmakta olup debisi ortalama $10 \text{ m}^3/\text{s}$ 'dir. Kaynağın suyu Kepez HES'ten gelen su ile birleşerek Düden çayını oluşturur ve Karpuzkaldıran'dan denize dökülür [28] (Şekil 2.10).



Şekil 2.10. Düdenbaşı şelalesi ve kaynağı (bakış yönü: Kuzey)

2.4.3.2. Kuyular

Antalya Traverten platosunda sulama ve içme suyu kaynağı olarak kullanılmak üzere DSİ Genel Müdürlüğü tarafından açılmış derinlikleri ve debileri sırasıyla 40-250 m, 16-210 l/s arasında değişen çok sayıda kuyu bulunmaktadır [28].

Çalışma alanında bulunan ve işletme amacıyla açılmış olan Düdenbaşı şelalesi içindeki 45768 No.lu kuyuda yeraltısuyu kotu belirleme amacıyla ölçüm yapılmıştır. Kuyu traverten içinde açılmış olup, 150 m derinliğindedir.

2.4.3.3. Şahıs Kuyuları

Ekonominin tarıma dayalı olduğu Altınova bölgesinde çok sayıda şahıs kuyusu bulunmakta olup, tez çalışması kapsamında 24 farklı şahıs kuyusunda örneklem yapılmıştır. Bu kuyular, tez metni içinde Şahıs Kuyusu (Şekil 2.11) olarak adlandırılmış olup, ovayı temsil edici olmaları açısından örneklem yapılacak şahıs kuyularının alandaki dağılımına dikkat edilmiştir.

Çalışma alanında bulunan su noktalarının özellikle yeraltısuyu kotu ölçümü yapılan kuyuların su kotlarının yüksek hassasiyetle belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, arazi çalışmaları sırasında kuyu başı kotlarının belirlenebilmesi için Spektra Precision Marka Epoch 50 GNSS (Global Navigation Satellite System) cihazıyla (diferansiyel GPS) çoklu uydu (15 uydu) bağlantısıyla statik ölçümde TUSAGA-Aktif sistemi kullanılarak yatayda ± 3 mm, düşeyde ± 5 mm, yükseklikte ± 10 mm hata payı ile koordinatlandırma çalışmaları yapılmıştır (Şekil 2.12). Arazi çalışmaları sırasında ölçüm yapılan su noktalarının koordinatları Çizelge-2.3'de verilmiştir. Çalışma alanında bulunan işletme ve şahıs kuyularında su seviyeleri Eijelkamp marka elektrikli metre ile ölçülmüştür. Bu değerler, kuyu başı GPS kotları kullanılarak - ortalama deniz seviyesine göre yeraltısuyu kotu değerlerine dönüştürülmüştür.

Çalışma kapsamında 2015 yılı Kasım ayı ve 2016 yılı Şubat, Mayıs ve Eylül aylarında yeraltısuyu kotu ölçülmüştür (Çizelge 2.4). Yeraltısuyu kotu ölçümlerine göre çalışma alanında yeraltısuyu kotu yıl içinde, birkaç metre düzeyinde salınım gerçekleştirmektedir.



Şekil 2. 11. Şahıs kuyularında ölçüm çalışmaları.



Şekil 2.12. Arazide koordinatlandırma çalışmaları.

Çizelge-2.3. Ölçüm yapılan su noktalarının koordinatları (UTM zon 36)

Örnekleme Noktası	Açıklama	Koordinat		
		X	Y	Z (m)
D1	45768No.lı DSI işletme Kuyusu	297616.37	4093489.62	87.73
D2	Düdenbaşı Kaynağı	297635.60	4093437.15	70.50
A1	Şahıs Kuyusu	297587.22	4096094.66	103.25
A2	Şahıs Kuyusu	300472.63	4098580.43	108.90
A3	Şahıs Kuyusu	302022.37	4099354.15	106.06
A4	Şahıs Kuyusu	302806.16	4100056.07	112.49
A5	Şahıs Kuyusu	302904.37	4098891.05	94.79
A6	Şahıs Kuyusu	303998.65	4098261.74	86.41
A7	Şahıs Kuyusu	302774.85	4098044.41	87.82
A8	Şahıs Kuyusu	301729.93	4097054.16	84.85
A9	Şahıs Kuyusu	300447.42	4095978.05	86.55
A10	Şahıs Kuyusu	301090.40	4094514.46	81.24
A11	Şahıs Kuyusu	306442.16	4091358.30	53.21
A12	Şahıs Kuyusu	305835.71	4091923.05	53.92
A13	Şahıs Kuyusu	304976.59	4091311.75	55.60
A14	Şahıs Kuyusu	305397.50	4092635.21	60.51
A15	Şahıs Kuyusu	305466.81	4093982.05	82.92
A16	Şahıs Kuyusu	305205.72	4094964.99	84.87
A17	Şahıs Kuyusu	304474.03	4095156.49	81.08
A18	Şahıs Kuyusu	303750.76	4093367.51	70.03
A19	Şahıs Kuyusu	301990.56	4092812.85	72.56
A20	Şahıs Kuyusu	300224.22	4091571.65	69.50
A21	Şahıs Kuyusu	303355.88	4089764.50	50.27
A22	Şahıs Kuyusu	301633.94	4088142.35	52.90
A23	Şahıs Kuyusu	301485.62	4089896.94	58.87
A24	Şahıs Kuyusu	300591.71	4088913.22	55.15

Çizelge-2.4. Altınova yeraltısuyu kotu ölçümleri

Örnekleme Noktası	Açıklama	Yeraltısuyu Kotu (m)				
		Kasım 2015	Şubat 2015	Mayıs 2015	Mayıs 2015	Eylül 2015
D1	45768 No.lu DSİ işletme Kuyusu	47.39	45.95	44.51	*	*
A1	Şahıs Kuyusu	61.89	60.73	59.05	60.10	59.32
A2	Şahıs Kuyusu	72.02	70.69	69.44	*	*
A3	Şahıs Kuyusu	72.07	70.80	69.59	71.25	68.83
A4	Şahıs Kuyusu	74.30	73.07	71.73	*	*
A5	Şahıs Kuyusu	72.82	70.71	70.42	71.29	*
A6	Şahıs Kuyusu	72.65	71.61	*	*	*
A7	Şahıs Kuyusu	71.73	70.70	69.39	*	*
A8	Şahıs Kuyusu	69.54	68.43	65.52	*	*
A9	Şahıs Kuyusu	55.20	53.82	*	*	*
A10	Şahıs Kuyusu	42.54	41.24	38.24	40.12	*
A11	Şahıs Kuyusu	33.69	33.21	32.56	*	*
A12	Şahıs Kuyusu	30.52	31.83	31.44	*	*
A13	Şahıs Kuyusu	24.19	22.45	21.25	21.68	21.22
A14	Şahıs Kuyusu	42.51	48.27	42.11	*	*
A15	Şahıs Kuyusu	60.02	62.01	55.29	*	*
A16	Şahıs Kuyusu	63.31	63.38	61.70	*	*
A17	Şahıs Kuyusu	64.03	63.42	61.71	*	*
A18	Şahıs Kuyusu	51.94	50.62	49.54	*	*
A19	Şahıs Kuyusu	29.96	29.44	27.65	*	*
A20	Şahıs Kuyusu	30.48	28.76	27.27	28.20	26.84
A21	Şahıs Kuyusu	15.82	23.12	21.75	22.47	*
A22	Şahıs Kuyusu	25.03	22.82	21.63	*	*
A23	Şahıs Kuyusu	27.97	26.41	25.83	24.05	24.57
A24	Şahıs Kuyusu	25.02	23.54	22.11	22.99	21.79

* işaretli kuyularda ölçüm yapılamamıştır.

2016 yılı Mayıs ayında yapılan arazi çalışmasında 26 noktada majör anyon-kasyon ve iz element örnekleme yapılmıştır. Örneklerde majör kasyon-anyon, (Na^+ , K^+ , Mg^{+2} , Ca^{+2} , NH_4^+ , Li^+ , Cl^- , SO_4^{-2} , HCO_3^- , CO_3^{-2} , F^- , Br^- , PO_4^{-2} , NO_3^- , NO_2^-), ve iz element içerikleri Hacettepe Üniversitesi Su Kimyası ve İz Element Laboratuvarlarında belirlenmiştir. Tez kapsamında üretilen YAS duyarlılık haritalarının doğrulanmasında kullanılan analiz sonuçları ise 4. Bölüm 'de (bkz 4.2.) sunulmuştur.

2.5. Hidrojeoloji

Çalışma alanında yüzeyleyen jeolojik birimlerin tamamı akifer özelliğinde olup, jeohidrolojik özelliklerine göre iki farklı akifer tanımlaması yapılmıştır. Bunlar, Antalya

travertenini (Qa) temsil eden traverten akiferi ve Kurşunlu formasyonu (Plk) ile Belkis konglomerasını (Qb) temsil eden konglomera akiferidir (Şekil 2.13).

ATP'yi oluşturan traverten oluşum ortamına göre litolojisi yanal ve düşey yönde farklılık göstereceğinden ATP'de açılmış kuyuların hidrojeolojik özellikleri farklı olabilmektedir. Karstlaşmanın oldukça yaygın olduğu traverten akiferi hidrojeoloji haritasında (Şekil 2.13) gözenekliliği dikkate alınarak koyu yeşil renkte boyanmıştır. ATP'sunu oluşturan traverten hipojenik karstlaşma sonucu oluşmuş Kırkgöz Karst Sisteminin çökelim ürünüdür [39]. Çalışma kapsamında traverten akiferin hidrolik iletkenlik katsayısı (k) literatür verisine dayanarak 864 mm/gün olarak kabul edilmiştir [40]. Traverten akiferi içindeki Duraliler yeraltısuyu işletme sahasında Antalya belediyesi tarafından açılan kuyularda iletkenlik katsayısı 2500-2750 m³/gün/m arasında değişmekte olup, kuyu debileri 4.0 m³/s 'nin üzerindedir. İşletme sahasında bölgenin topoğrafik durumuna göre yeraltısuyu derinliği 18-60 m arasındadır. Çalışmada travertenin taban kotunun deniz seviyesinin 40 m indiği belirlenmiştir [29]. Traverten akiferinden alınan farklı örneklerde gözeneklilik katsayısı %2-22 arasında hesaplanmıştır [31].

Altınova akiferinde yeraltısuyu kotu dağılımının belirlenmesi için 2015 yılı Kasım ayına ait yeraltısuyu kotu değerleri kullanılarak yeraltısuyu kotu haritası (Şekil 2.14) oluşturulmuştur. Akiferde yeraltısuyu kotu 14-75 m arasında değişmektedir. Çalışma alanının batı sınırını oluşturan Düdençay'ındaki su kotu yaklaşık 70 m iken D1 kuyusundaki yeraltısı kotunun 45 m olması, traverten akiferinden çaya yeraltısuyu akışı olmadığını göstermektedir. Ovada yeraltısuyu akım yönü çalışma alanının doğu sınırında kuzeydoğudan güneybatıya doğru ve batı sınırında ise kuzeybatıdan Akdeniz'e doğrudur

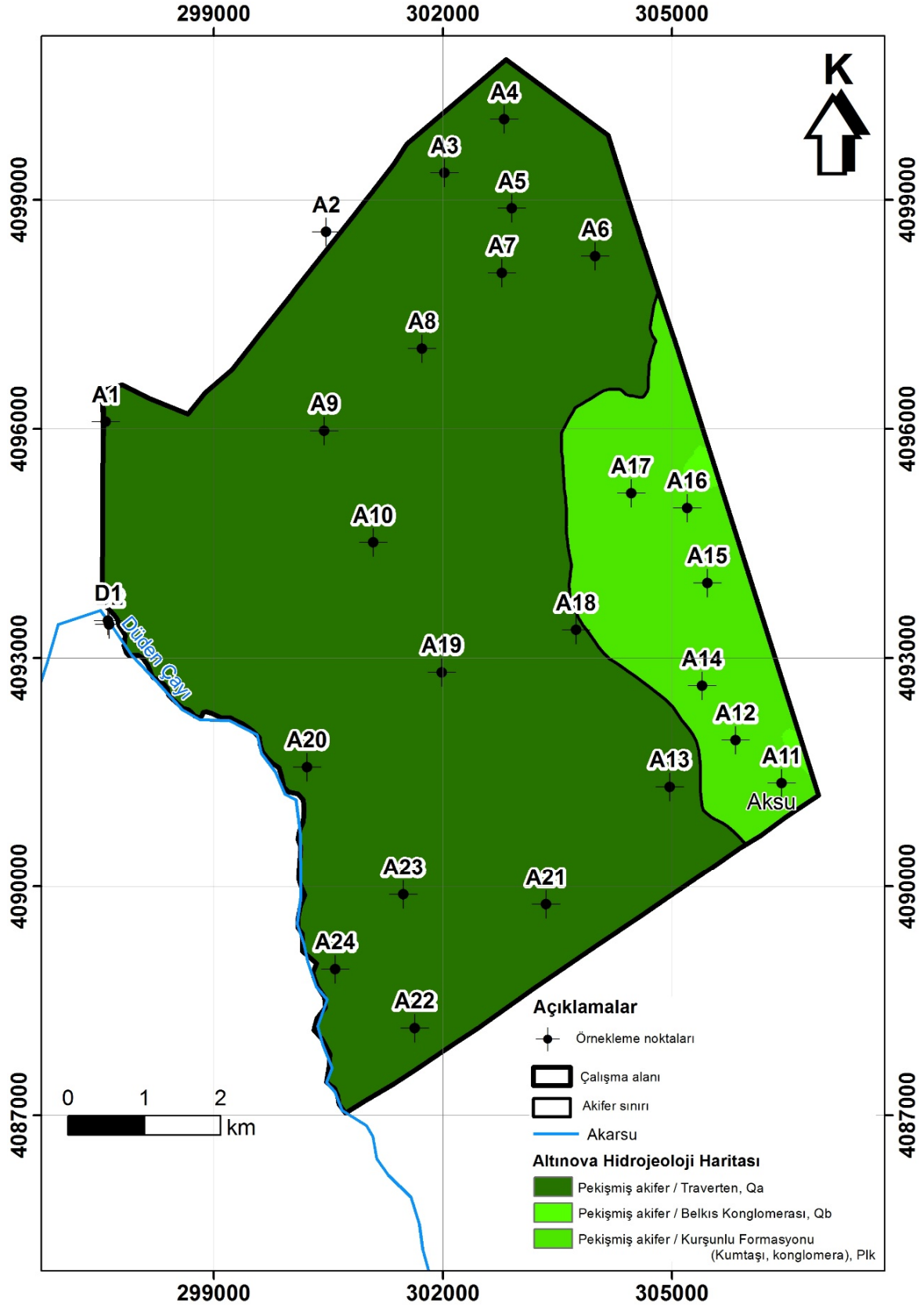
Çalışma kapsamında traverten akifer içinde açılmış A1 ve A23 ölçüm noktaları arasında yatay hidrolik gradyan (i) hesabı yapılmış ve traverten akiferinin doygun kısmında yeraltısuyu akım hızının (V) belirlenmesi amaçlanmıştır. Kasım 2015 yılı yeraltısuyu kotu ölçümlerine göre A1 ve A23 noktalarında yeraltısuyu kotu sırasıyla 61.8 ve 27.9 m olup iki nokta arasındaki uzaklık 7321 m'dir. Buna göre, A1 ve A23 noktaları (Şekil 2.13) arasında hidrolik gradyan (i) $5 \cdot 10^{-3}$ olarak hesaplanmıştır. Travertenin hidrolik iletkenlik katsayısı 864 mm/gün olarak kabul edilmiştir. Bu durumda, traverten akiferi için gerçek yeraltısuyu akım hızı, Darcy hızının ($q = k \cdot i$) etkin gözenekliliğe oranı (n_e) ile tanımlanıp; akifer içinde etkin gözeneklilik %2-22 arasında

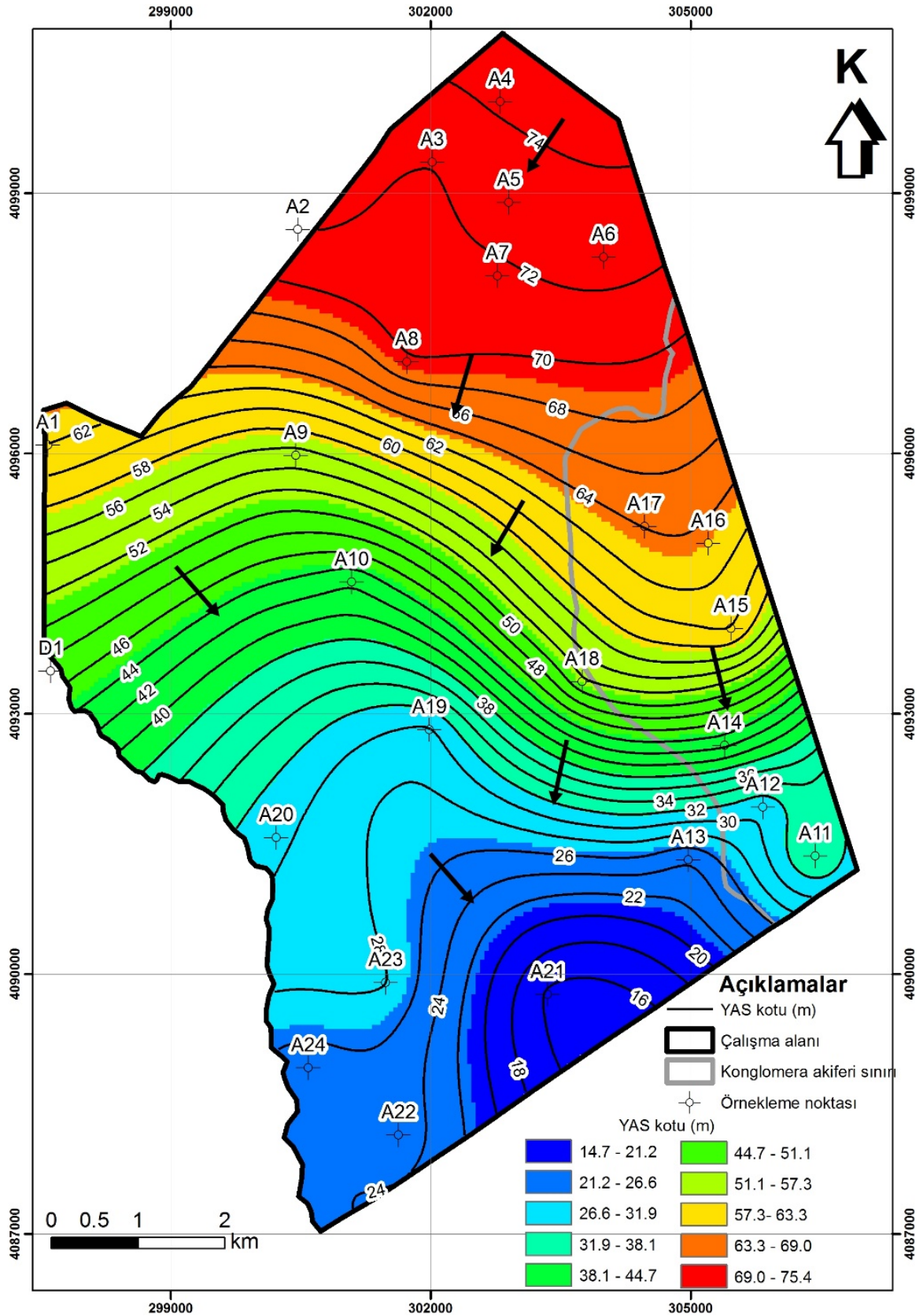
değiştirdiğinden her iki değer için de hesaplama yapılmıştır. Buna göre, traverten akiferinin gerçek yeraltısuyu akım hızı 19.6- 216 m/gün arasında değişmektedir.

DSİ tarafından açılan işletme kuyularının tamamı traverten akiferi içinde olduğundan çalışma kapsamında konglomera akiferi olarak adlandırılan akiferin hidrojeolojik özellikleri ile literatür verisine ulaşılammıştır. Konglomera akiferi pekişmiş yapıda olduğundan gözeneklilik ve hidrolik iletkenlikleri dikkate alınarak hidrojeoloji haritasında açık yeşil renkte gösterilmiştir (Şekil 2.13). Çalışma kapsamında konglomera akiferin hidrolik iletkenlik katsayısı (k) literatür verisine dayanarak 86.4 mm/gün, etkin gözenekliliği ise (n_e) %20 olarak kabul edilmiştir [40]. Traverten akiferine benzer şekilde konglomera akiferi içinde hidrolik gradyan (i) ve yeraltısuyu akım hızı (V) belirlenmiştir. Kasım 2015 yılı yeraltısuyu kotu ölçümlerine göre A17 ve A4 noktalarında yeraltısuyu kotu sırasıyla 64.0 ve 33.6 m olup iki nokta arasındaki uzaklık 4291 m 'dir. Buna göre A17 ve A4 noktaları (Şekil 2.14) arasında hidrolik gradyan (i) $7 \cdot 10^{-3}$ olarak hesaplanmıştır. Konglomera akiferi için gerçek yeraltısuyu akım hızı, Darcy hızının ($q = k \cdot i$) etkin gözenekliliğe oranı (n_e) ile tanımlanıp; akiferin etkin gözenekliliği %20 kabul edilerek hesaplama yapılmıştır. Buna göre konglomera akiferinin gerçek yeraltısuyu akım hızı 3 m/gün'dür.

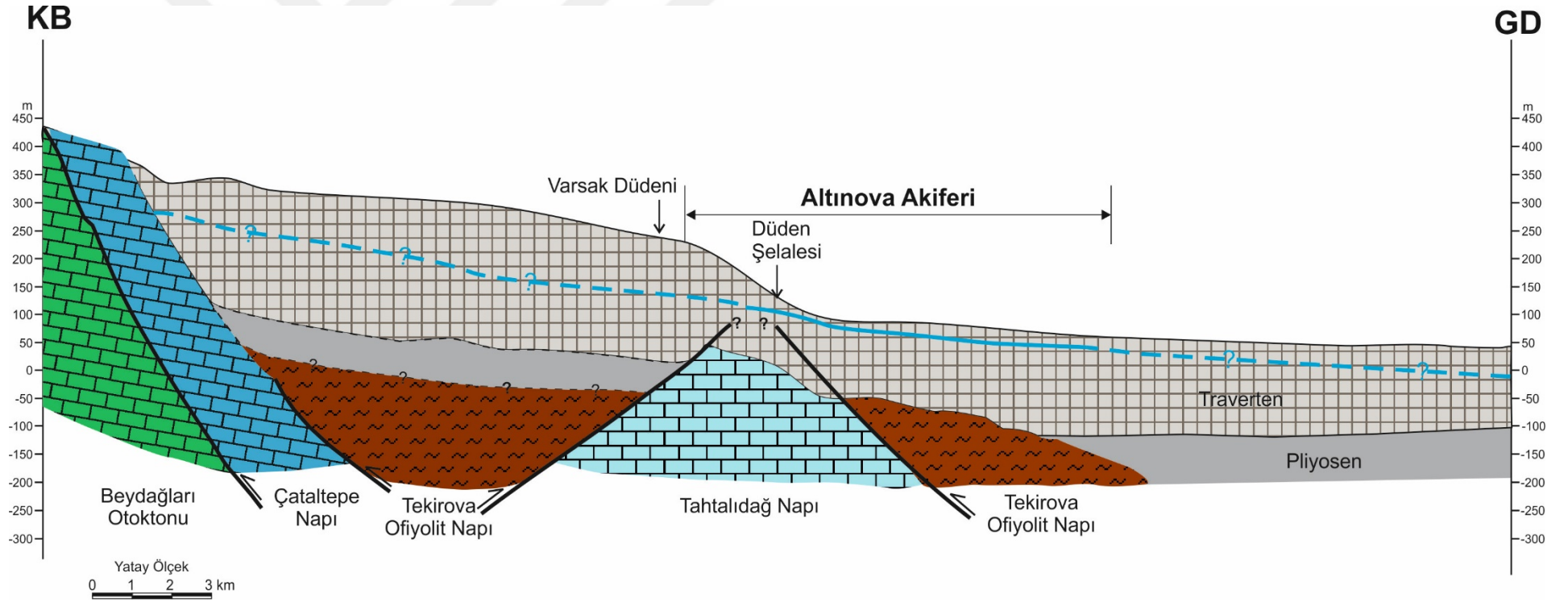
Kirletici taşınımı açısından önemli olan dikey yeraltısuyu akım hızının belirlenmesi için dikey gradyan 1 olarak kabul edilmiştir. Bu durumda dikey yeraltısuyu akım hızları traverten akiferi için 0.4-3.9 m/gün ve konglomera akiferleri için 0.4 m/gün olarak hesaplanmıştır.

Altınova akiferinin jeolojik, hidrolojik ve hidrojeolojik verilerinin derlenmesiyle oluşturulan genelleştirilmiş hidrojeolojik kesiti Şekil 2.15'de sunulmuştur.





Şekil 2.14. Altınova akiferi yeraltısuyu kotu haritası(2015-Kasım)



Şekil 2.15. Altınova akiferinin genelleştirilmiş hidrojeolojik kesiti

3. YÖNTEM ve UYGULAMALAR

ATP sınırları içerisinde yer alan Altınova bölgesinde YAS duyarlılık çalışmalarında DRASTIC, SINTACS, EPIK, COP ve PI yöntemleri kullanılmıştır. Duyarlılık haritaları, ArcGIS yazılımı kullanılarak 50*50 m çözünürlükte raster olarak üretilmiş, yöntemlerin ihtiyaç duyduğu verilerin tamamı (yeraltısuyu derinliği, tabaka kalınlığı, alansal yağış, eğim vb.) CBS ortamına aktarılmıştır. Alansal olarak ifade edilebilen veriler (örn. Jeolojik birimler, alansal yağış, arazi kullanımı vb.) poligonlar ile tanımlanmış ve haritalanmıştır. Noktasal veriler (yeraltısuyu seviyesi ve tabaka kalınlığı) veriye uygun enterpolasyon yöntemi ile alansal olarak dağıtılmıştır. Çalışma alanı içinde ölçülmüş noktasal verilerin enterpolasyonu için “topo to raster” yöntemi kullanılmıştır. Diğer enterpolasyon yöntemleri ile çalışma alanının tamamını kapsayan veri üretilmesi mümkün olmadığından “topo to raster” yöntemi tercih edilmiştir. Traverten kalınlık haritası ise ATP’sunun tamamı için “IDW” enterpolasyon yöntemi ile oluşturulmuş ve çalışma alanı için kesilerek alınmıştır.

3.1. DRASTIC YÖNTEMİ

DRASTIC, yeraltısuyu kirlilik potansiyelinin belirlenmesi amacıyla Aller et. al. (1987) [41] tarafından Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (US-EPA) için geliştirilmiştir. DRASTIC; ağırlıklı olarak akiferin hidrojeoloji özelliklerini temel alan farklı hidrojeolojik özellikteki akifer tiplerinde (granüler, karstik, kırık-çatlaklı vb.) uygulanabilen ve akifer özelliklerine göre modifiye edilebilen bir duyarlılık haritalama yöntemidir [42]. DRASTIC, YAS kirlilik duyarlılığının belirlenmesinde etkili olan yedi farklı parametreden oluşur. Bu parametreler; yeraltısuyu derinliği (D), net beslenme (R), akifer ortamı (A), toprak türü (S), eğim (T), vadoz zon (I), hidrolik iletkenlik (C) katsayısıdır [41]. Yöntem, yüzey kaynaklı kirleticinin yeraltısuyu beslenimi ile doymun bölgeye ulaşabilirliğini değerlendirmektedir. Yapılan değerlendirme kirleticinin taşınımı sırasında gerçekleşebilecek kimyasal reaksiyonları hesaba katmamaktadır.

DRASTIC yönteminde (DY) [41], duyarlılık üzerinde etkili yedi parametre tanımlanmış parametre büyüklüklerine göre sınıflandırılır. Sınıflar için tanımlanmış dereceler (r) ile her bir parametre için belirlenmiş ağırlıkların (w) çarpımı sonucunda noktasal duyarlılık indeksi hesaplanır. DRASTIC indekslerinin hesaplaması Eşitlik 3.1’de verilmiştir. Duyarlılık indekslerinden oluşturulan harita DRASTIC duyarlılık haritası olarak adlandırılır.

$$DI = D_r \cdot D_w + R_r \cdot R_w + A_r \cdot A_w + S_r \cdot S_w + T_r \cdot T_w + I_r \cdot I_w + C_r \cdot C_w \quad (3.1.)$$

Bu eşitlikte, DI: DRASTIC İndeksi, Dr: Yeraltısuyu derinliği için derecelendirme katsayısı, Dw: Yeraltısuyu derinliği için ağırlık katsayısı, Rr: Net beslenme için derecelendirme katsayısı, Rw: Net beslenme için ağırlık katsayısı, Ar: Akifer ortamı için derecelendirme katsayısı, Aw: Akifer ortamı için ağırlık katsayısı, Sr: Toprak türü için derecelendirme katsayısı, Sw: Toprak türü için ağırlık katsayısı, Tr: Eğim için derecelendirme katsayısı, Tw: Eğim için ağırlık katsayısı, Ir: Vadoz zon için derecelendirme katsayısı, Iw: Vadoz zon için ağırlık katsayısı, Cr: Hidrolik iletkenlik katsayısı için derecelendirme katsayısı, Cw: Hidrolik iletkenlik katsayısı için ağırlık katsayısı olarak verilmiştir.

Ayrıca, herbir parametre için 1 ile 5 arasında değişen bir ağırlık değerleri yöntem için sabittir [42]. Ağırlık değerleri Çizelge 3.1'de sunulmuştur. Ağırlık değeri 5 olan parametrenin kirlетici taşınımına etkisi en yüksektir. Azalan ağırlık değerleri kirlетici taşınımına olan katkının azaldığını göstermektedir.

Çizelge-3.1. DY parametreleri ve ağırlık değerleri [41]

Parametre	Ağırlık (w)
Yeraltısuyu derinliği (D _w)	5
Net Beslenme (R _w)	4
Akifer Ortamı (A _w)	3
Toprak Türü (S _w)	2
Eğim (T _w)	1
Vadoz Zon (I _w)	5
Hidrolik İletkenlik Katsayısı(C _w)	3

3.1.1. Yeraltısuyu Derinliği (D)

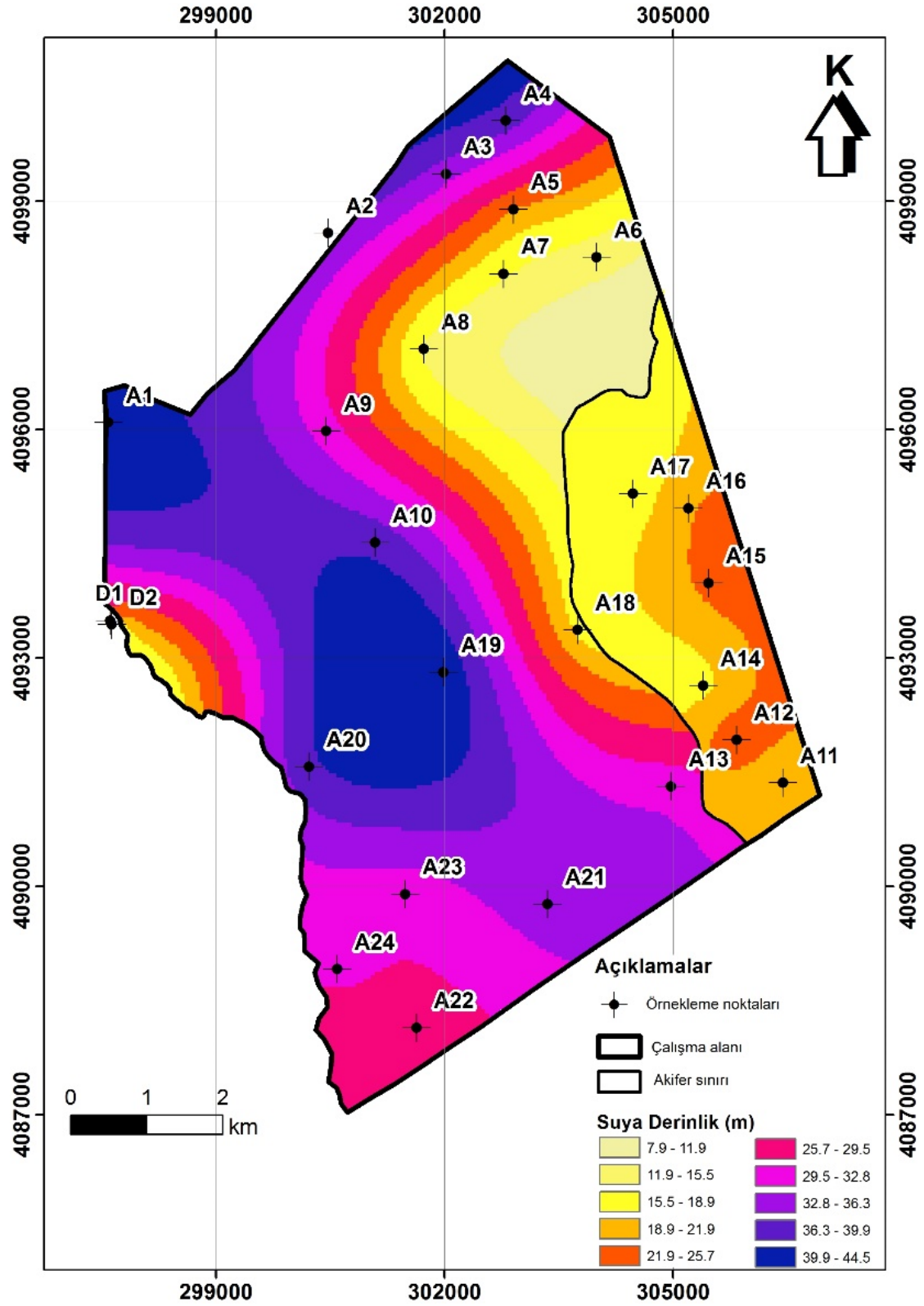
Yeraltısuyu derinliği, kirlетicinin su tablasına ulaşmadan önce düşey yönde hareket ettiği akifer kalınlığını diğer bir deyişle vadoz zon kalınlığını anlatır. Aller et.al. (1987) [41] tarafından 7 farklı yeraltısuyu derinliği sınıfı için derecelenme katsayıları tanımlanmıştır (Çizelge 3.2). Artan yeraltısuyu derinliğine bağlı olarak derecelendirme katsayısı azalmaktadır. Yüzeye yakın yeraltısuyuna kirlетicinin ulaşma süresi kısa olduğundan yeraltısuyunun kirlenme olasılığı artmaktadır. Benzer şekilde, yeraltısuyu tablasının yüzeyden derinliği arttıkça vadoz zondaki taşınım sırasında kirlетicinin zamana ve mekana bağlı olarak bozunmaya uğrayabileceğinden, suya derinlik arttıkça kirlетici etkisi ve kirlenme potansiyeli azalmaktadır.

Çizelge-3.2. Yeraltısuyu derinliği ve derecelendirme katsayıları

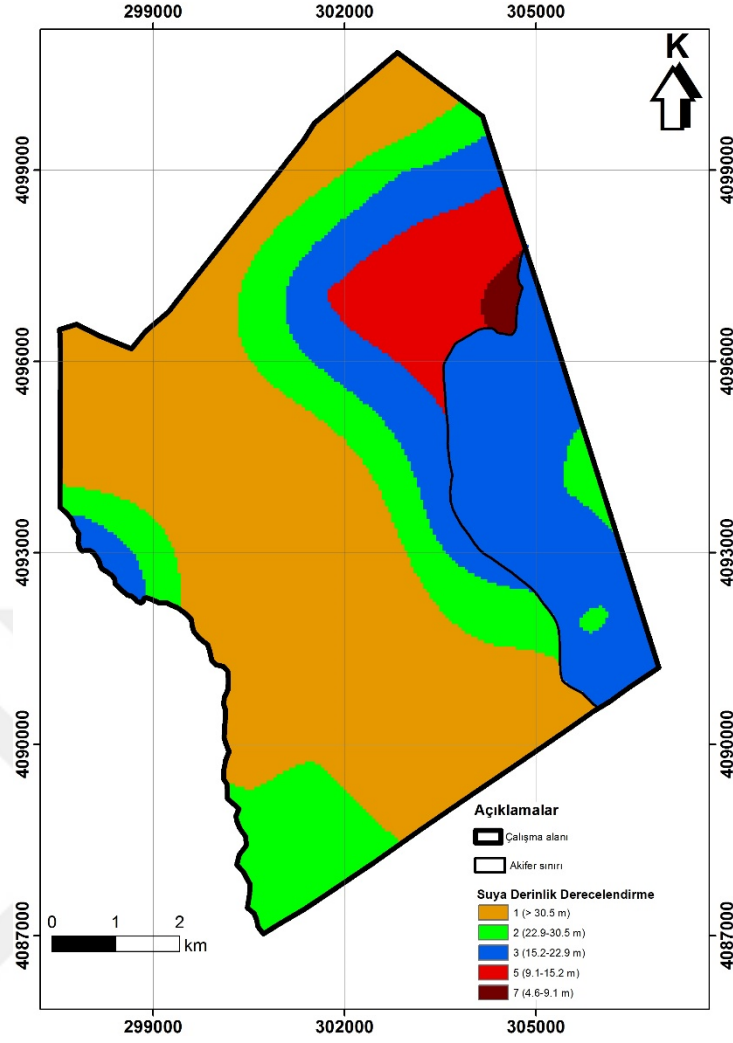
Yeraltısuyu derinliği sınıfları (m)	Derecelendirme (Dr)
0-1.5	10
1.5-4.6	9
4.6-9.1	7
9.1-15.2	5
15.2-22.9	3
22.9-30.5	2
>30.5	1

Çalışma alanında yeraltısuyu derinlik parametresinin belirlenmesi için Kasım (2015) döneminde arazi çalışmalarıyla ölçülen yeraltısuyu derinlik verileri kullanılmıştır. Çalışma alanında traverten (Qa), Belkıs konglomerası (Qb) ve kumtaşı ve konglomeradan oluşan Kurşunlu formasyonu (Plk) birimleri yüzeylenmektedir. Çalışma alanındaki jeolojik birimler akifer oluşturma özelliklerine göre traverten ve konglomera olarak ikiye ayrılmıştır. Bu akiferlerin Kasım 2015 döneminde ölçülmüş noktasal yeraltısuyu derinlikleri “Topo to Raster” enterpolasyon yöntemi kullanılarak 50*50m çözünürlük ile alansal olarak dağıtılmıştır. Farklı akiferler için üretilen yeraltısuyu derinlik haritaları “Raster Mosaic” yöntemi ile birleştirilmiştir. Kasım 2015 yeraltısuyu derinlik değerleri 7.9-44.5 m arasında değişmektedir (Şekil 3.1). Çalışma alanında vadoz zonun en kalın olduğu bölgeler traverten akifer içinde A20, A19, A1 ve A4 noktaları ve çevresinde gözlenmiştir. Konglomera akiferindeki vadoz zon kalınlığı 15-25 metre arasında değişmektedir.

Yöntemin D parametresi için öngördüğü sınıf aralıklarına (Çizelge-3.2) göre yapılan yeraltısuyuna derinlik derecelendirme haritası Kasım 2015 dönemi için sırası ile Şekil 3.2’de sunulmuştur. Yapılan derecelendirmeye göre çalışma alanında en geniş alan vadoz zonun 30.5 m’den daha kalın olduğu derecelendirme aralığında gözlenmektedir.



Şekil 3.1. Yeraltısuyu derinlik haritası (Kasım 2015).



Şekil 3.2. Yeraltısuyu derinliği derecelendirme haritası (Kasım 2015).

3.1.2. Net Beslenme (R)

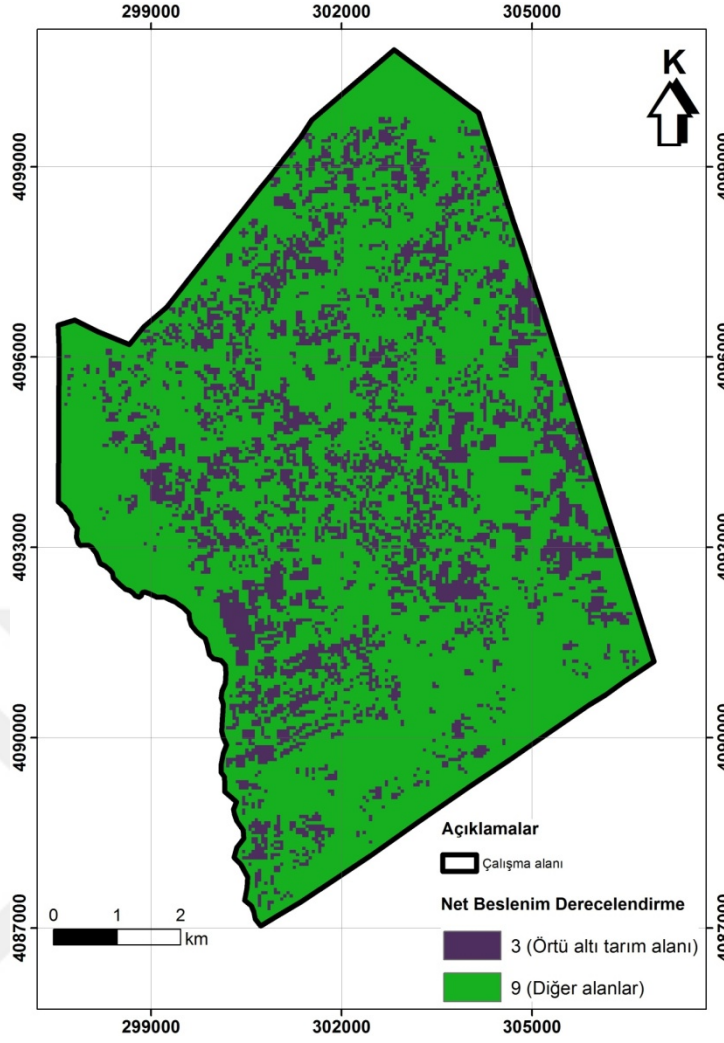
Net beslenme (mm/yıl), yağıştan itibaren yıllık olarak yeraltına süzülen suyun su tablasına ulaşan kısmını tanımlamaktadır [41]. Net beslenme, beslenimin alansal ve karstik akiferlerde olduğu gibi noktasal olması durumunda kirletici taşınım süreçlerini etkilemektedir. Benzer şekilde, arazi kullanımı da yeraltısuyu beslenimi üzerinde etkili bir parametredir. Kirleticinin yeraltısuyu ile birlikte taşındığı varsayımı ile net beslenme yeraltısuyuna ulaşan kirletici derişimini belirlemektedir. DRASTIC yöntemi için net beslenme sınıfları ve derecelendirme katsayıları Çizelge-3.3' te verilmiştir. Yeraltısuyu beslenimi arttıkça, kirliliğe duyarlılık artmaktadır.

Çizelge-3.3. Net beslenme sınıfları ve derecelendirme katsayıları

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

Çalışma alanında net beslenme hesabı için 1970-2015 yılları arasındaki yağış ve sıcaklık verileri kullanılmıştır (bkz. Çizelge-2.1). Turc yöntemi [37] ile hesaplanan (bkz. Eşitlik 2.1) uzun yıllar ortalama gerçek buharlaşma değerleri 771.2 mm, yıllık ortalama yağış 1106.1 mm olarak hesaplanmıştır. Yağış gözlemlerinden gerçek buharlaşma değeri çıkarılarak alan için net beslenme hesaplanmıştır. Altınova akiferinde 1970-2015 yılları verilerine göre ortalama net beslenme ortalama yağış ve gerçek buharlaşma terleme farkından 334.9 mm/yıl olarak hesaplanmıştır. Çalışma alanının %24'ü örtü altı tarım alanı ile kaplı olduğundan, çalışma alanındaki net beslenme örtü altı tarım yapılan ve diğer alanlar olarak ikiye ayrılmıştır. Çalışma alanında örtü altı tarım yapılan alanlarda net beslenme sulama suyu fazlasının süzülmesi ile gerçekleşeceğinden, bu bölgelerdeki net beslenme değeri bitki sulama suyu ihtiyacından hesaplanmıştır. Altınova akiferinde, örtü altı tarım yapılan alanlarda ağırlıklı olarak sebze ve kesme çiçek yetiştiriciliği yapılmaktadır. DSI verilerine göre bitki sulama suyu ihtiyacı sebze için 282 mm, çiçek için 235 mm'dir. Çalışma alanında, bu türlerin alansal dağılımı net olarak bilinmediğinden, seraların yarısında sebze, geri kalanında kesme çiçek üretildiği kabul edilmiştir. Ortalama sulama suyu ihtiyacı olan 258.5 mm'nin sulama verimi %80 olarak kabul edildiğinde, seralarda sulama suyu fazlası 50 mm/yıl olarak belirlenmiştir. Örtü altı tarım alanları dışındaki alanlar için net beslenme 334.9 mm olarak doğrudan kullanılmıştır.

Aller et.al. (1987) [41] tarafından belirlenen Çizelge-3.3'ten örtü altı tarım alanı için net beslenme > 50 mm olduğundan derecelendirme değeri 3, diğer alanlarda net beslenme değeri >254 mm olduğu için derecelendirme değeri 9 olarak seçilmiştir. Ancak, çalışma alanında DRASTIC yönteminin öngördüğünün üzerinde gerçekleşen net beslenimin varlığı, yöntemin Altınova akiferi için geçerliliğini etkileyecektir. Çizelge-3.3'te sunulan sınıf aralıkları temel alınarak oluşturulan net beslenme derecelendirme haritası Şekil 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.3. Net beslenme derecelendirme haritası.

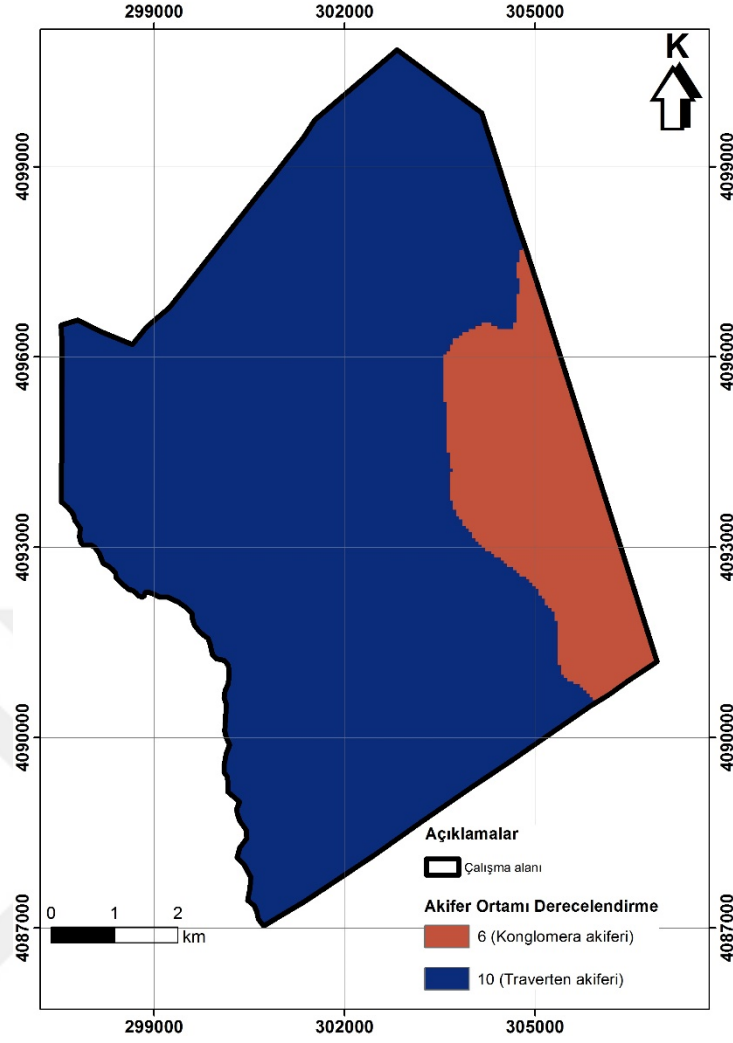
3.1.3. Akifer Ortamı (A)

Akifer, yeraltısu depolayan ve yeraltısu işletmesi için yeterli miktarda suyu iletebilen jeolojik malzeme ya da birimidir [43]. Jeolojik birimlerin gözeneklilikleri akiferlerin su depolayabilme kabiliyetini tanımlar. Birincil gözeneklilik, kayacın oluşumu ya da jeolojik malzemenin depolanması sırasında oluşan boşluk hacmini tanımlarken; ikincil gözeneklilik kayaç oluşumu sonrasında gerçekleşen kırık-çatlak ve çözünme boşlukları sonucunda oluşur. Gözenekliliği yüksek jeolojik malzemelerin yeraltısu iletimlilikleri akiferin verimini, dolayısıyla su ve kirlenmeye karşı daha hassastır. Akifer ortam sınıfları ve derecelendirme katsayıları [41] Çizelge-3.4'te gösterilmiştir.

Çizelge-3.4. Akifer Ortamı parametreleri ve derecelendirme katsayıları

Litolojik tanımlamaya göre akifer ortamı	Derecelendirme (Ar)	Ortalama Derecelendirme
Masif Şeyl	1 - 3	2
Metamorfik ve Volkanik Kayaç	2 - 5	3
Bozunmuş Metamorfik ve Volkanik Kayaç	3 - 5	4
Glasier	4 - 6	5
Tabakalı Kumtaşı, Kireçtaşı ve Şeyl	5 - 9	6
Masif Kumtaşı	4 - 9	6
Masif Kireçtaşı	4 - 9	6
Kum ve Çakıl	4 - 9	8
Bazalt	2 - 10	9
Karstik Kireçtaşı	9 - 10	10

Çalışma alanının jeolojisi dikkate alındığında bölge karstik kireçtaşı (Qa), Pliyosen yaşlı kumtaşı ve konglomeradan oluşan Kurşunlu Formasyonu (Plk) ve Belkıs konglomerasından (Qb) oluşmaktadır. Jeolojik birimlerin tamamı akifer özelliğindedir. Akifer ortamı parametresi için yöntemin önerdiği litoloji tanımlanmaları dikkate alınarak (bkz. Çizelge-3.4) traverten için “karstik kireçtaşı” tanımlamasına karşılık derecelendirme değeri 10, konglomera akiferi (Plk-Qb) için ise “Kum ve çakıl” litolojik tanımlamasındaki 4-9 derecelendirme aralığından 6 derecelendirme değeri seçilmiştir. Bu derecelendirme değerlerine göre oluşturulan akifer ortamı derecelendirme haritası Şekil 3.4’de verilmiştir.



Şekil 3.4. Akifer ortamı derecelendirme haritası.

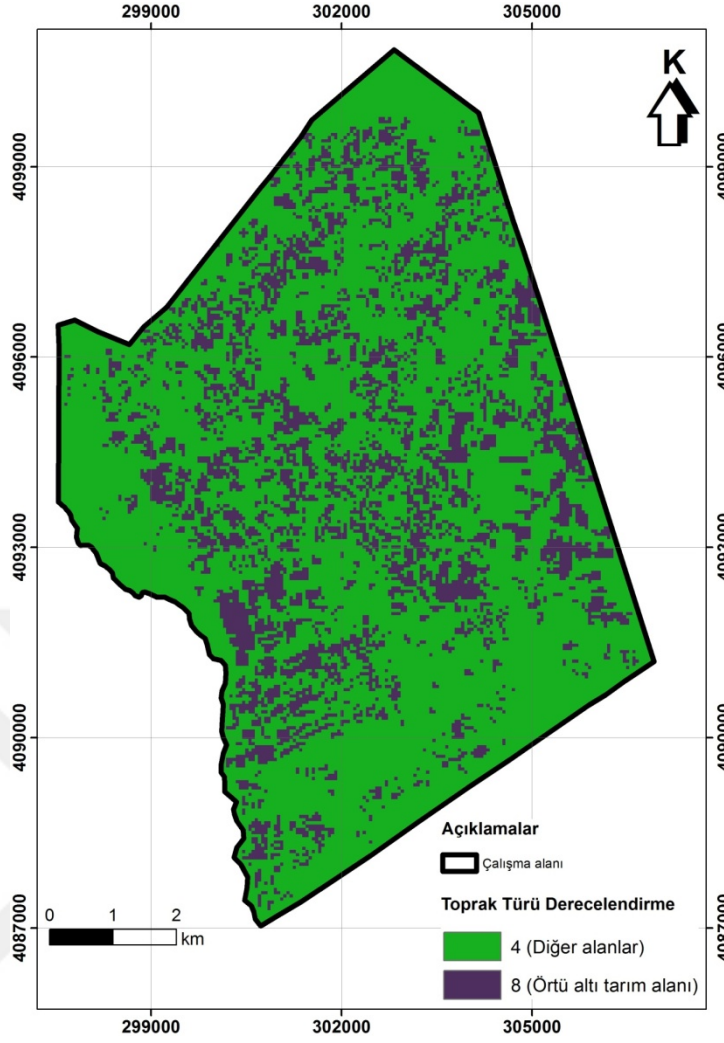
3.1.4. Toprak Türü (S)

Toprak, vadoz zonunun üst bölümünde yer alan organik maddece zengin jeolojik birim bozunma ürünüdür. Beslenimi oluşturan yağış ve kirletici ilk önce toprak tabakası ile temas etmektedir. Toprak bünyesinde bulunan organik madde ve mineraller, kirletici derişimini azaltan, çeşitli biyolojik ve kimyasal reaksiyonların gerçekleşmesini sağlamaktadır. Sonuç olarak, toprak bir anlamda filtre özelliği göstererek, su tablasına ulaşan su ve kirletici miktarını azaltacaktır [42]. Aller et. al.(1987) [41] tarafından belirlenen toprak türleri sınıfları ve derecelendirme katsayıları Çizelge-3.5'te gösterilmektedir. İnce taneli (kil vb.) jeolojik malzemelerde özgül tutulma yüksek olduğu gibi, ince taneli malzemelerin oluşturdukları büyük yüzey alanı kirleticilerin tutularak yeraltısuyuna ulaşmasını geciktirebilmektedir.

Çizelge-3.5. Toprak türü sınıfları ve derecelendirme katsayıları

Toprak Türü	Derecelendirme (Sr)
İnce veya yok	10
Çakıl	10
Kum	9
Humuslu Toprak	8
Agrega İçeren Kil	7
Kumlu Tın	6
Tın	5
Siltli Tın	4
Killi Tın	3
Çamur	2
Agregalaşmamış Kil	1

Çalışma alanında toprak türü parametresi derecelendirme değerleri belirlenirken örtü altı tarım alanları ve diğer alanlar ayrı ayrı dikkate alınmıştır. Yöntemin önerdiği toprak türü tanımlamalarına göre (bknz.Çizelge3.5) örtü altı tarım yapılan alanlar “humuslu toprak” tanımlamasına karşılık gelen 8 derecelendirme değeri, diğer alanlar ise “siltli-tın” tanımlamasına karşılık gelen 4 derecelendirme değeri ile haritalanmıştır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Toprak türü derecelendirme haritası.

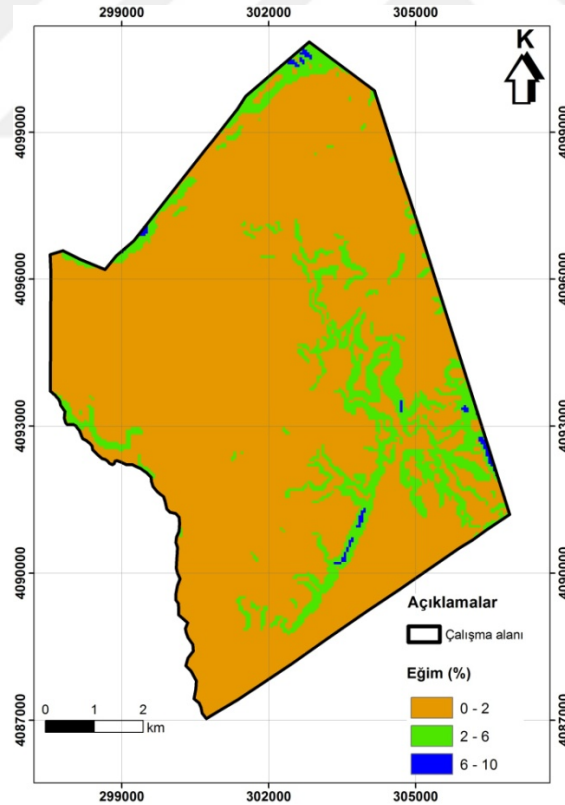
3.1.5. Eğim (T)

Eğim, çalışma alanındaki topoğrafik kot farklılıklarını tanımlamak için kullanılmaktadır. Eğimi yüksek yüzeylerde yüzeysel akış hızla gerçekleşeceğinden yeraltına süzülme azalmaktadır. Eğimin düşük olduğu alanlarda, yüzeysel akış çok yavaş gerçekleşeceğinden, uygun akifer ortamlarının varlığı durumunda, yeraltına süzülme artacaktır. Yüzeysel kirleticilerin yeraltına taşınımı düşük eğimli bölgelerde daha hızlı gerçekleşmektedir. Eğim sınıfları ve derecelendirme katsayıları [41] Çizelge-3.6'da verilmiştir.

Çizelge-3.6. Eğim sınıfları ve derecelendirme katsayıları

Eğim Aralıkları (%)	Derecelendirme (T _r)
0-2	10
2-6	9
6-12	5
12-18	3
>18	1

Çalışma alanında eğim parametresinin belirlenmesi için çalışma alanının 1/25000'lik sayısal topoğrafik haritası kullanılarak sayısal arazi modeli oluşturulmuştur (bknz. Şekil 2.2). Sayısal arazi modelinden ArcGIS programının eğim modülü kullanılarak 50*50 m çözünürlüklü eğim haritası üretilmiştir (Şekil 3.6). Çalışma alanında topoğrafik eğim genel olarak oldukça düşüktür(<%3), ancak çalışma alanı sınırlarını oluşturan akarsu yatak altı ve traverten üst plato sınırında eğim yer yer %9'a çıkmaktadır. Çalışma alanı için önerilen eğim sınıflarına karşılık gelen derecelendirme (bknz. Çizelge-3.6)' haritası Şekil 3.7'de sunulmuştur.



Şekil 3.6. Eğim haritası.

Çizelge-3.7. Vadoz zon sınıfları ve derecelendirme katsayıları

Litolojiye göre tanımlanmış vadoz zon	Derecelendirme (I _r)	Ortalama Derecelendirme
Basınçlı 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
Siltli ve Killi Kum ve Çakıl	4-8	6
Metamorfik ve derinlik kayaları	2-8	4
Kum ve Çakıl	6-9	8
Bazalt	2-10	9
Karstik Kireçtaşı	8-10	10

Çalışma alanında vadoz zon parametresi belirlenirken, akifer ortamı parametresinde olduğu gibi çalışma alanı jeolojisi göz önünde bulundurulmuş ve buna göre yöntemin önerdiği litoloji tanımlamalarına karşılık gelen derecelendirme değerleri seçilmiştir (bkznz. Çizelge-3.7). Traverten akiferi için “karstik kireçtaşı” tanımlamasına karşılık 10 derecelendirme değeri, konglomera akiferi için “kum ve çakıl” tanımlamasına göre 6 derecelendirme değerleri kullanılmıştır. Bu tanımlamalar için çalışma alanı vadoz zon derecelendirme haritası Akifer ortamı derecelendirme haritası ile aynı olduğundan ayrıca sunulmamıştır (bkznz. Şekil 3.4).

3.1.7. Hidrolik İletkenlik Katsayısı (C)

Hidrolik iletkenlik katsayısı, akiferin, akifer ortamının özelliklerine bağlı yeraltısuyu iletebilme kabiliyeti olup, genellikle L/T boyutunda tanımlanır. Herhangi bir akiferdeki bir kirleticinin taşınım hızı hidrolik iletkenlik katsayısı, gözeneklilik ve hidrolik gradyana bağlıdır. Hidrolik iletkenlik katsayısının yüksek olduğu akiferlerde kimyasal reaksiyonların gerçekleşmediği kabul edildiğinde, kirlenme potansiyeli de artacaktır. Hidrolik iletkenlik aralıkları ve derecelendirme katsayıları [41] Çizelge-3.8'de gösterilmektedir.

Çizelge-3.8. Hidrolik İletkenlik katsayısı sınıfları ve derecelendirme katsayıları

Hidrolik İletkenlik katsayısı (mm/gün)	Derecelendirme (C_r)
0 - 4.1	1
4.1 - 12.2	2
12.2 - 28.5	4
28.5 - 40.7	6
40.7 - 81.1	8
> 81.5	10

Çalışma alanında jeolojik birimler için hidrolik iletkenlik katsayıları literatürden alınmıştır. Traverten akifer için hidrolik iletkenlik katsayısı 864 mm/gün (10^{-5} m/s) olarak DSI raporlarından [22] alınmıştır. Konglomera akiferi için ise, iyi boylanmış kum-çakıl için Fetter 1994'e [40] göre 86.4 mm/gün (10^{-6} m/s) olarak kabul edilmiştir. Yöntemin öngördüğü hidrolik iletkenlik sınıflarına göre [41] (bkz Çizelge-3.8) her iki akifer de 81.5 mm/gün'den büyük hidrolik iletkenliğe sahip olduğundan, derecelendirme değerleri tüm çalışma alanı için 10 olarak hesaplamalara dahil edilmiştir. Çalışma alanı için tek bir değer üretildiğinden, ayrıca hidrolik iletkenlik derecelendirme haritası tez metni içinde sunulmamıştır. Ancak, net beslenimde olduğu gibi, karstik akiferin yöntemin öngördüğü sınıf değerinin 10 kat üstündeki hidrolik iletkenlik, dolayısıyla kirletici iletme kabiliyetinin değerlendirilmesi, yöntemin tanımlamaları nedeni ile sınırlı kalmaktadır.

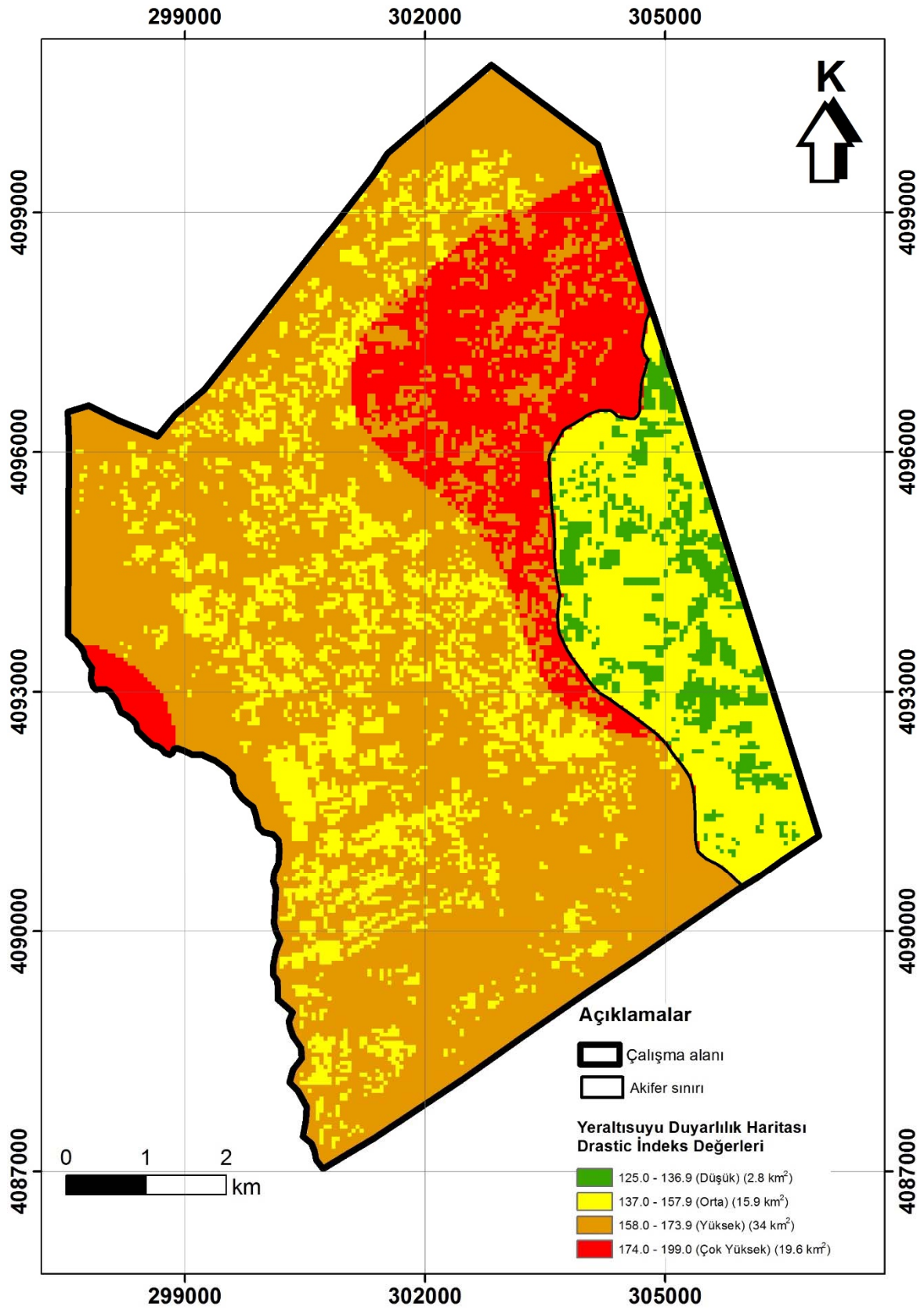
3.1.8. DRASTIC Yöntemi YAS Duyarlılık Haritası

Çalışma alanında DRASTIC yönteminin tüm parametreleri için belirlenen derecelendirme haritalarının ilgili ağırlıklar ile çarpımı ve toplamlardan oluşan indeks (bkz. Eşitlik 3.1) haritası ArcGIS programında "raster calculator" hesaplama modülü kullanılarak oluşturulmuştur. Hesaplama kullanılan tüm parametrelerin dereceleri ve ağırlık katsayıları Çizelge 3.9'da toplu olarak verilmiştir. Oluşturulan DRASTIC duyarlılık haritası Şekil 3.8'de sunulmuştur. Oluşturulan duyarlılık haritasına göre çalışma alanı düşük, orta, yüksek ve çok yüksek duyarlılıklı olarak belirlenmiştir. Düşük, orta, yüksek ve çok yüksek duyarlılıklı alanların tüm çalışma alanı içindeki büyüklükleri sırası ile %4, %22, %47 ve %27 olarak belirlenmiştir. DRASTIC yöntemine göre çalışma alanının % 74'ü yeraltısuyu kirliliği açısından yüksek duyarlılığa sahiptir. Örtü altı tarım yapılan alanlar net beslenimin daha az gerçekleşmesi sonucunda düşük-orta duyarlılıklı olarak belirlenmiştir. Örtü altı tarım

yapılırken kullanılan kimyasal ilaçlar ve gübrelerin önemli bir kirletici kaynağı olduğu düşünüldüğünde, örtü altı tarım uygulamasının yeraltısuyu kirliliği açısından önleyici bir uygulama olduğu söylenebilir.

Çizelge-3.9. DRASTIC yöntemi uygulamasında kullanılan tüm parametre dereceleri ve ağırlık katsayıları

Parametre	Açıklama/Değer	Derecelendirme	Ağırlık katsayısı
Yeraltısuyu derinliği (m)	4.6-9.1	7	5
	9.1-15.2	5	
	15.2-22.9	3	
	22.9-30.5	2	
	>30.5	1	
Net beslenim (mm)	Örtü altı tarım alanı (51-101)	3	4
	Diğer alanlar(>254)	9	
Akifer ortamı	Traverten akiferi	10	3
	Konglomera akiferi	6	
Toprak türü	Diğer alanlar	4	2
	Örtü altı tarım alanı	8	
Eğim(%)	0-2	10	1
	2-6	9	
	6-12	5	
Vadoz zon	Traverten akiferi	10	5
	Konglomera akiferi	6	
Hidrolik iletkenlik katsayısı (mm/gün)	Tüm alan (>81.5)	10	3



Şekil 3.8. DRASTIC yöntemi yeraltısuyu duyarlılık haritası.

3.2. SINTACS YÖNTEMİ

SINTACS yöntemi, İtalyan hidrojeologlar tarafından İtalya ve çevresinde farklı ortamlarda uygulanabilmesi amacı ile DRASTIC yönteminin farklı hidrojeolojik ortamlar (karstik, çatlaklı sızıntılı vb.) ve farklı kirleticiler için farklı ağırlıklar ile uyarlanmış halidir [44]. SINTACS yönteminde duyarlılık üzerinde etkili yedi parametre tanımlanmış parametre büyüklüklerine göre sınıflandırılır [45]. Sınıflar için tanımlanmış dereceler (r) ile her bir parametre için belirlenmiş ağırlıkların (w) çarpımı sonucunda noktasal duyarlılık indeksi hesaplanır. SINTACS indekslerinin hesaplaması Eşitlik 3.2'de verilmiştir. Duyarlılık indekslerinden oluşturulan harita SINTACS duyarlılık haritası olarak adlandırılır.

$$(I_{SINTACS}) = S_r \cdot S_w + I_r \cdot I_w + N_r \cdot N_w + T_r \cdot T_w + A_r \cdot A_w + C_r \cdot C_w + S_r \cdot S_w \quad (3.2.)$$

Bu eşitlikte; $I_{SINTACS}$: SINTACS İndeksi, S_r : Yeraltısuyu derinliği için derecelendirme katsayısı, S_w : Yeraltısuyu derinliği için ağırlık katsayısı, I_r : Etkin süzülme için derecelendirme katsayısı, I_w : Etkin süzülme için ağırlık katsayısı, N_r : Vadoz zonun sönümlleme kapasitesi için derecelendirme katsayısı, N_w : Vadoz zonun sönümlleme kapasitesi için ağırlık katsayısı, T_r : Toprak sönümlleme kapasitesi için derecelendirme katsayısı, T_w : Toprak sönümlleme kapasitesi için ağırlık katsayısı, A_r : Akifer ortamı için derecelendirme katsayısı, A_w : Akifer ortamı için ağırlık katsayısı, C_r : Hidrolik iletkenlik katsayısı için derecelendirme katsayısı, C_w : Hidrolik iletkenlik katsayısı için ağırlık katsayısı, S_r : Eğim için derecelendirme katsayısı, S_w : Eğim için ağırlık katsayısı olarak verilmiştir.

SINTACS yönteminde farklı ağırlıklar ile tanımlanan farklı hidrojeolojik ortamlar ve kirleticiler için belirlenen ağırlık katsayıları [45] Çizelge-3.10'da toplu olarak verilmiştir. Altınova Akiferi için SINTACS yönteminin "Karstik" hidrojeolojik ortam tanımlaması ve bu tanımlama ile ilişkili ağırlıklar kullanılmıştır.

Çizelge-3.10. SINTACS yöntemi için hidrojeolojik koşullar ve ağırlık katsayıları

Parametre	Normal	Yoğun kirlenici	Sızıntılı	Karstik	Çatlaklı	Nitrat
S	5	5	4	2	3	5
I	4	5	4	5	3	5
N	5	4	4	1	3	4
T	3	5	2	3	4	5
A	3	3	5	5	4	2
C	3	2	5	5	5	2
S	3	2	2	5	4	3

3.2.1. Yeraltısuyu Derinliği (S)

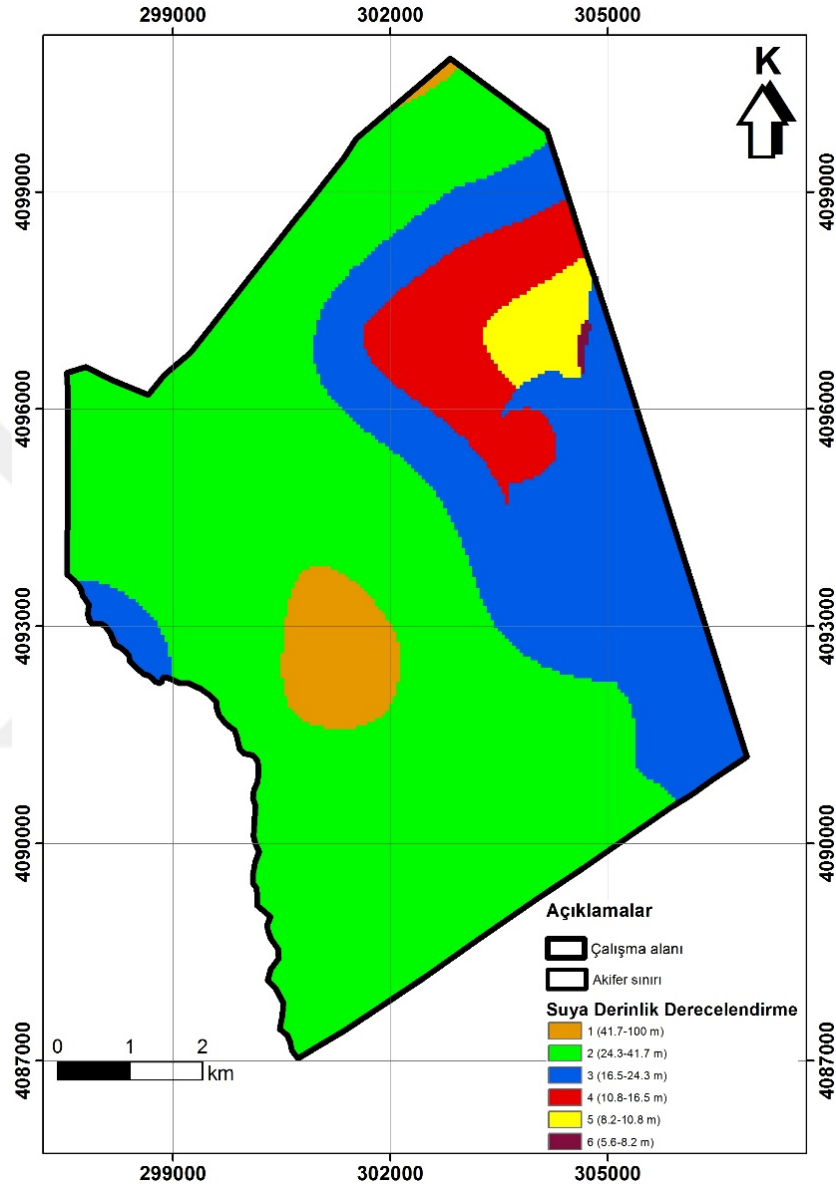
Yeraltısuyu derinliği, kirlenicinin su tablasına ulaşmadan önce düşey yönde hareket ettiği akifer kalınlığını diğer bir deyişle, vadoz zon kalınlığını anlatır. SINTACS yönteminde 10 farklı yeraltısuyu derinliği sınıfı için derecelendirme katsayıları tanımlanmıştır [45] (Çizelge 3.11). Artan yeraltısuyu derinliğine bağlı olarak derecelendirme katsayısı azalmaktadır. Benzer şekilde, yeraltısuyu tablasının yüzeyden derinliği arttıkça vadoz zondaki taşınım sırasında kirlenicinin zamana ve mekana bağlı olarak bozunmaya uğrayabileceğinden suya derinlik arttıkça kirlenici etkisi ve kirlenme potansiyeli azalmaktadır.

Çizelge-3.11. Yeraltısuyu derinliği ve derecelendirme katsayıları

Yeraltısuyu derinlik sınıfları (m)	Derecelendirme
0 - 1.3	10
1.3 - 2.6	9
2.6 - 3.9	8
3.9 - 5.6	7
5.6 - 8.2	6
8.2 - 10.8	5
10.8 - 16.5	4
16.5 - 24.3	3
24.3 - 41.7	2
41.7 - 100	1

DRASTIC yöntemindeki D parametresinde olduğu gibi, S parametresinde de Kasım 2015 yeraltısuyu seviye ölçüm değerleri kullanılarak alansal dağılım yapılmıştır.

Dağılım haritası DRASTIC yöntemi ile aynı olduğundan ayrıca tez metninde sunulmamıştır. Civita (2010) [45], tarafından belirlenen Çizelge-3.11 kullanılarak yapılan sınıflandırma sonucunda oluşturulan derecelendirme haritası Şekil 3.9'da gösterilmektedir.



Şekil 3.9. Yeraltısuyu derinlik derecelendirme haritası.

3.2.2. Etkin Süzülme (I)

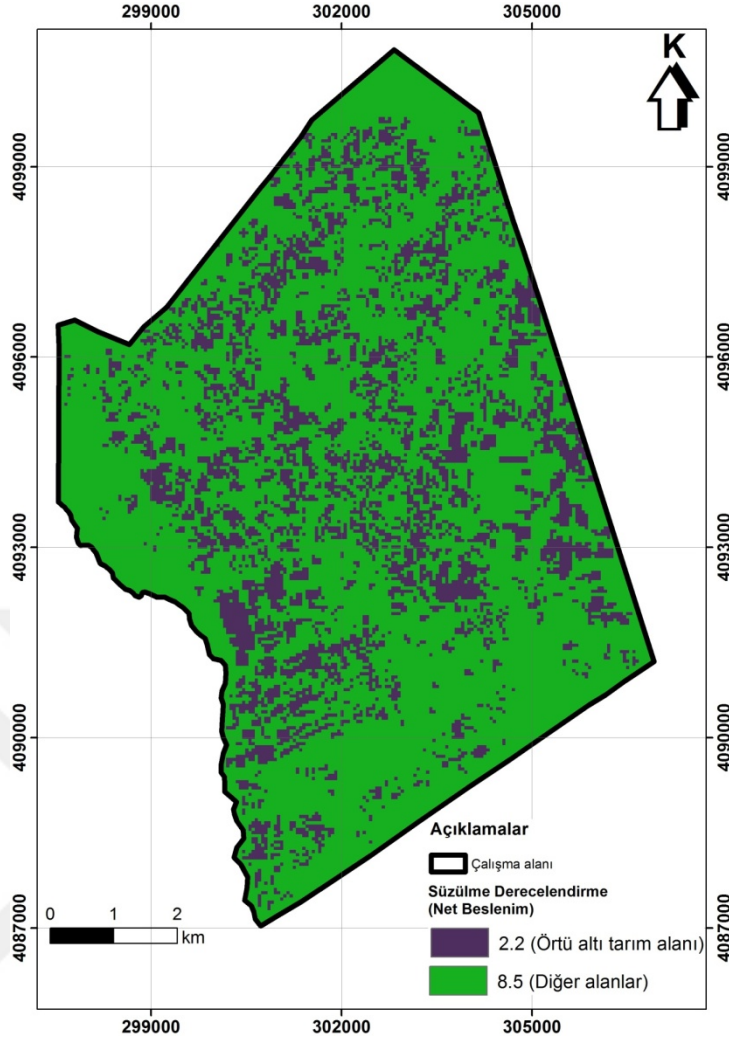
Etkin süzülme, DRASTIC yöntemindeki net beslenme (mm/yıl) parametresinin bu yöntemdeki karşılığıdır. SINTACS yönteminde sınıf aralıkları ve sınıf sayısı artırılarak daha yüksek beslenme koşullarının duyarlılık üzerindeki etkisi dikkate alınmıştır.

SINTACS yöntemi için net beslenme sınıfları ve derecelendirme katsayıları [45] Çizelge-3.12'de verilmiştir. Süzülme arttıkça kirliliğe duyarlılık bir noktaya kadar artarken çok yüksek (>350 mm/yıl) süzülme değerleri için kirleticinin seyreleceği öngörülerek yöntemin derecelendirme değerlerine bu olası etki yansıtılmıştır.

Çizelge-3.12. Etkin süzülme ve derecelendirme katsayıları

Etkin süzülme sınıfları (mm/yıl)	Derecelendirme
0 - 50	1 - 2.2
50 - 100	2.2 - 4.5
100 - 150	4.5 - 6.6
150 - 200	6.6 - 8.1
200 - 250	8.1 - 9.2
250 - 300	9.2
300 - 350	9.2 – 8
350 - 400	8 – 6
400 - 450	6 - 4.8
> 450	4.8 - 4.5

Etkin süzülme parametresi DRASTIC yöntemindeki net beslenme ile benzer olduğundan bu parametrede de 1970-2015 yılları verilerine göre hesaplanan net beslenme değeri örtü altı tarım alanı ve diğer alanlar olmak üzere kullanılmıştır. SINTACS yönteminde önerilen değerlere göre örtü altı tarım alanında beslenme >50 mm olduğu için 2.2 , diğer alanlarda 334.9 mm olduğu için 8.5 derecelendirme değeri kullanılmıştır (bkz Çizelge 3.12). Şekil 3.10'da çalışma alanı için ön görülen değerlerle oluşturulan etkin süzülme derecelendirme haritası gösterilmektedir.



Şekil 3.10. Etkin süzülme derecelendirme haritası.

3.2.3. Vadoz Zonun Sönümlleme Kapasitesi (N) ve Akifer Ortamı (A)

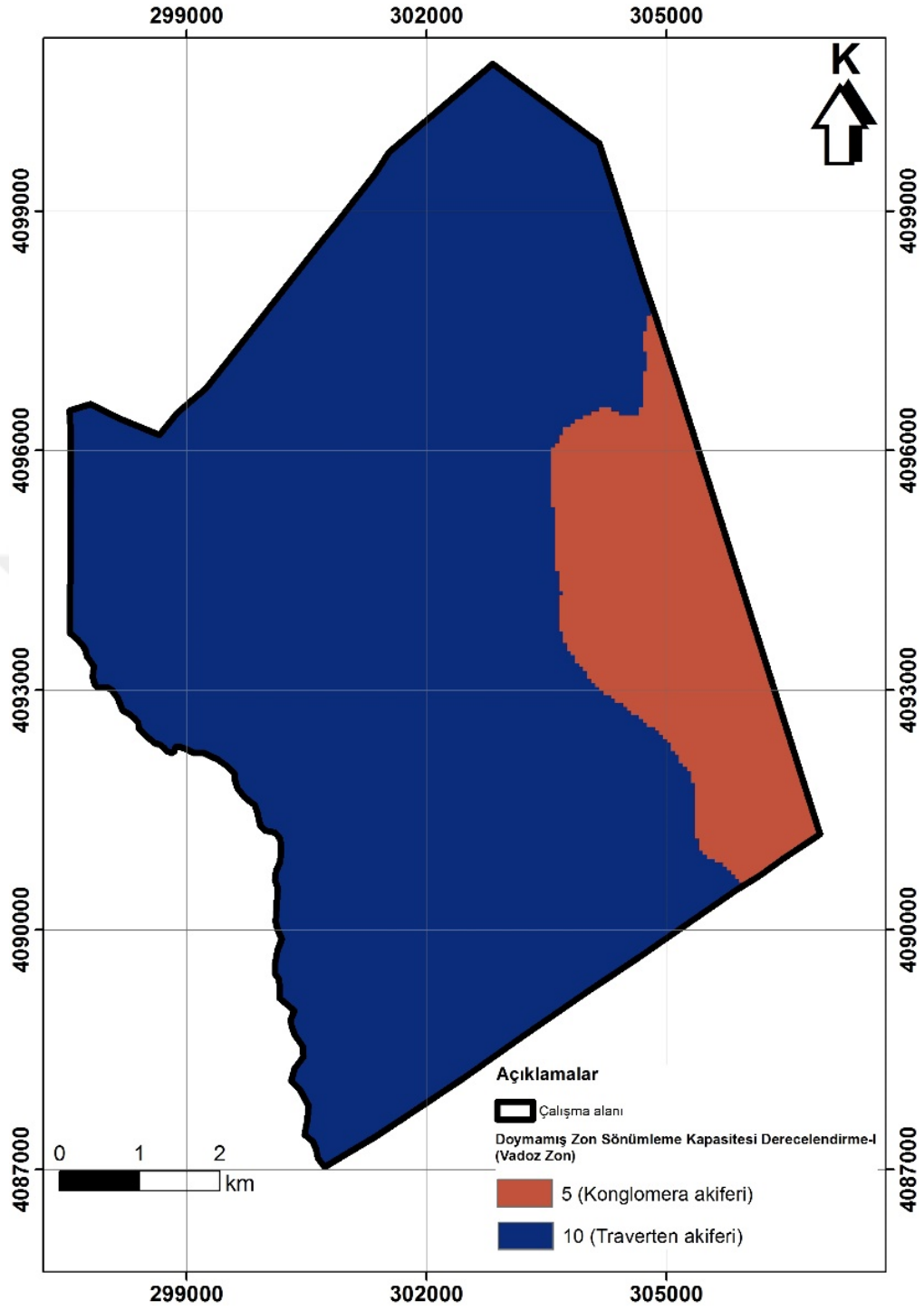
Vadoz zon, kirleticilerin yeraltısuyuna ulaşmasında "ikinci savunma (koruma) hattı" olarak nitelendirilir. Vadoz zonun sönümlleme kapasitesi hidro-litolojik özelliklerine (mineral içeriği, tane boyu, karst gelişimi, kırık-çatlak gelişimi) bağlıdır [45]. Çizelge-3.13'de vadoz zonun litolojik tanımlamasına göre vadoz zonun sönümlendirme kapasitesi sınıfları ve derecelendirme katsayıları gösterilmektedir.

Akifer ortamı, jeolojik birimlerin gözeneklilikleri akiferlerin su depolayabilme kabiliyetini tanımlar. Gözenekliliği yüksek jeolojik malzemelerin yeraltısuyu iletimlilikleri akiferin verimini, dolayısıyla su ve kirlenici taşıma kabiliyetini tanımlamaktadır. Yüksek gözeneklilik ve iletimliliğe sahip akiferler kirlenmeye karşı daha hassastır. Çizelge-3.13'de litolojik tanımlamaya göre akifer ortamı sınıfları ve derecelendirme katsayıları sunulmuştur.

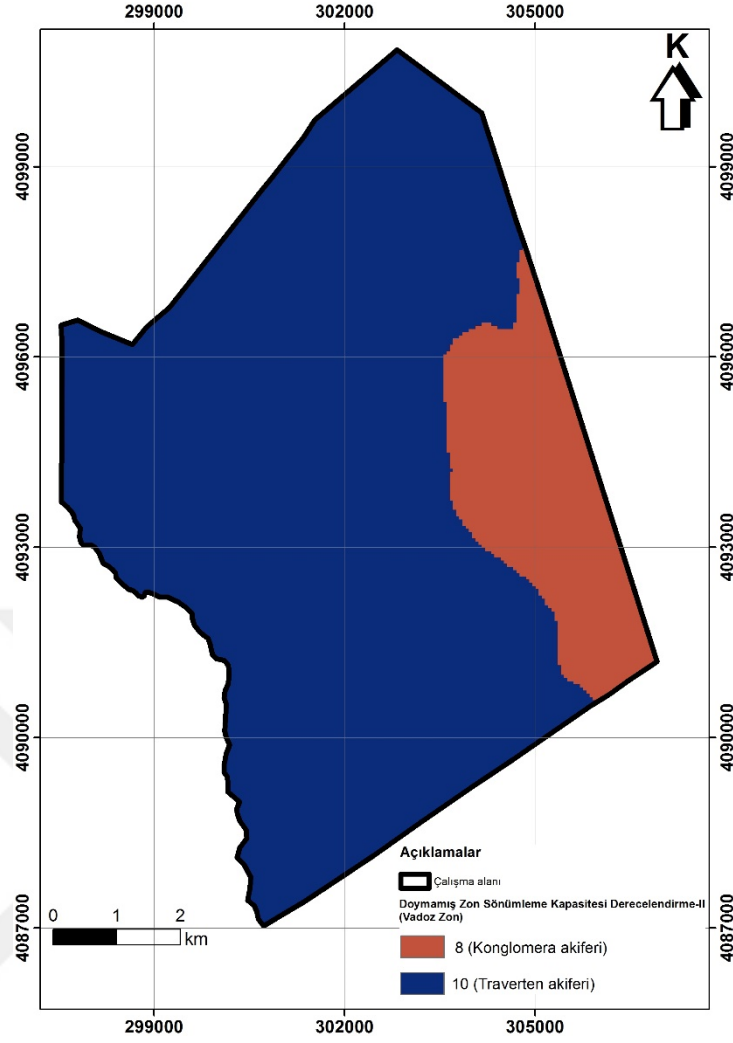
Çizelge-3.13. Vadoz Zonun sönümlleme kapasitesi ile Akifer ortamı derecelendirme

Litolojik tanımlamaya göre vadoz zonun sönümlendirme kapasitesi ve akifer ortamı sınıfları	Derecelendirme (Vadoz zon)	Derecelendirme (Akifer ortamı)
Çatlaklı Metamorfik Kayaç	2 - 6	2 - 5
Volkanik Kayaçlar	2 - 5	4 - 8
Kil, Silt, Turf	1 - 2	1 - 3
Orta taneli Moren	2 - 4	4 - 6
İri taneli Moren	4 - 6	6 - 8
Marn, Kıltaşı	1 - 2	1 - 3
Çatlaklı Volkanik Kayaç	5 - 10	8 - 10
Türbiditik istif	2 - 5	5 - 8
Çatlaklı Plütonik Kayaç	3 - 5	2 - 4
Kumtaşı, Konglomera	5 - 8	4 - 9
Karışık Kum	4 - 7	7 - 9
Orta taneli alüvyon	3 - 6	6 - 8
Çatlaklı Dolomit	2 - 5	4 - 7
Kırıklı Kireçtaşı	4 - 9	6 - 9
Karstik Kireçtaşı	8 - 10	9 - 10
İri taneli Alüvyon	6 - 9	8 - 9

SINTACS yöntemi parametreleri için Civita (2010) [45] tarafından litolojiye göre tanımlanan derecelendirme değerleri aralık olarak verilmiştir. N parametresi belirlenirken çalışma alanının jeolojik yapısı göz önünde bulundurularak, Çizelge-3.13'de verilen derecelendirme değerleri kullanılmıştır. Bu çalışmada, aralık olarak verilen derecelendirme değerlerinin alt ve üst sınırları kullanılarak çalışma alanı için en düşük ve en yüksek derecelendirme değerleri, ayrı ayrı hesaplanmıştır. Her iki hesaplamada da yoğun karstlaşmanın geliştiği bilinen traverten akiferi için derecelendirme değeri 10 olarak kullanılmıştır. Ancak, konglomera akiferi için alt ve üst derecelendirme değerleri kullanılarak I. ve II. Duruma göre hesaplamalar yapılmıştır. Konglomera akiferi için en düşük derecelendirme değeri olan 5'in kullanıldığı hesaplama I. Durum için derecelendirme haritası Şekil 3.11'de sunulmuştur. Konglomera akiferi için en yüksek derecelendirme değeri olan 8'in kullanıldığı hesaplama II. Durum için derecelendirme haritası Şekil 3.12'de verilmiştir.



Şekil 3.11. I. Durum için oluşturulan vadoz zon sönümlene kapasitesi derecelendirme haritası.

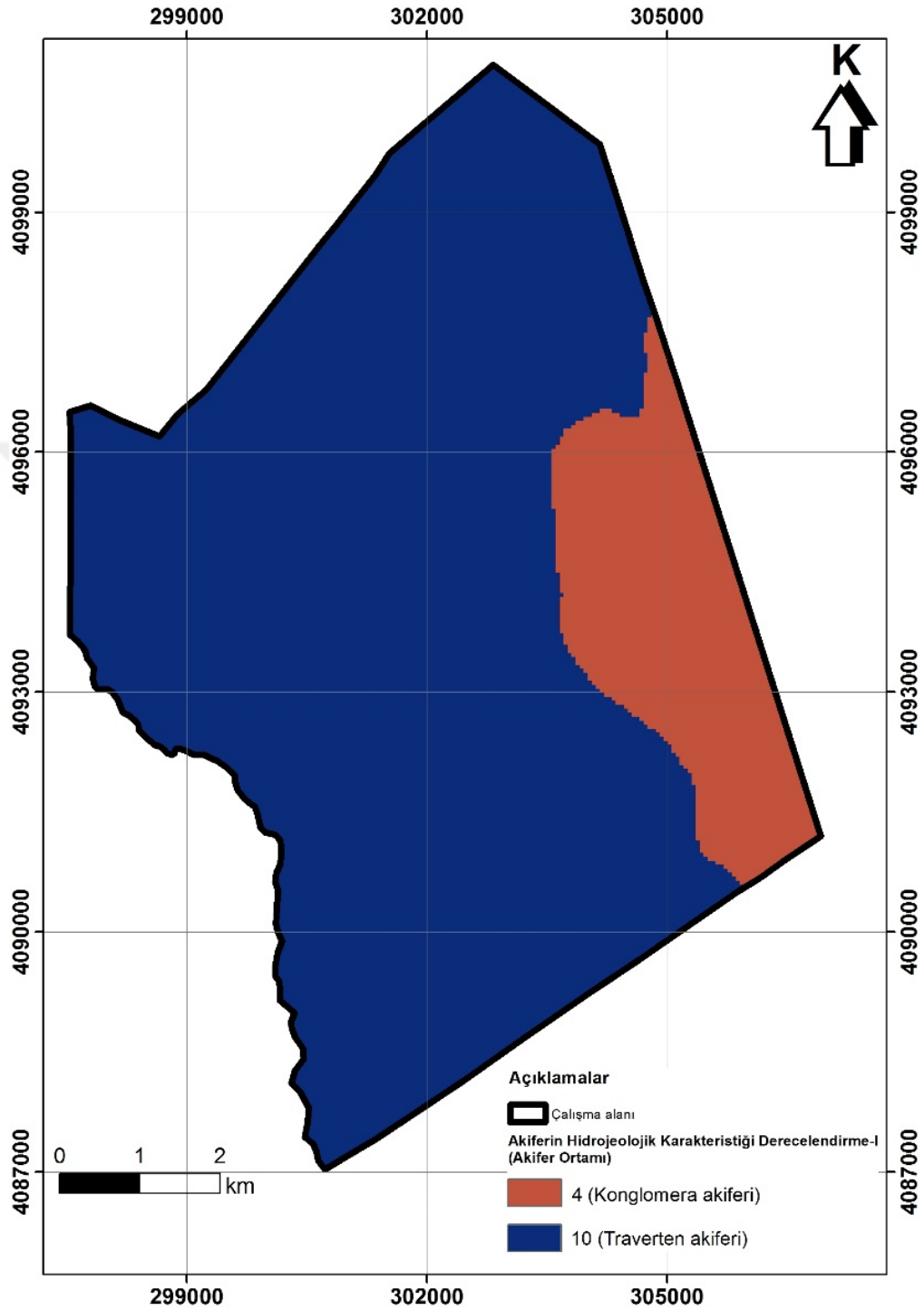


Şekil 3.12. II. Durum için oluşturulan vadoz zon sönümleme kapasitesi derecelendirme haritası.

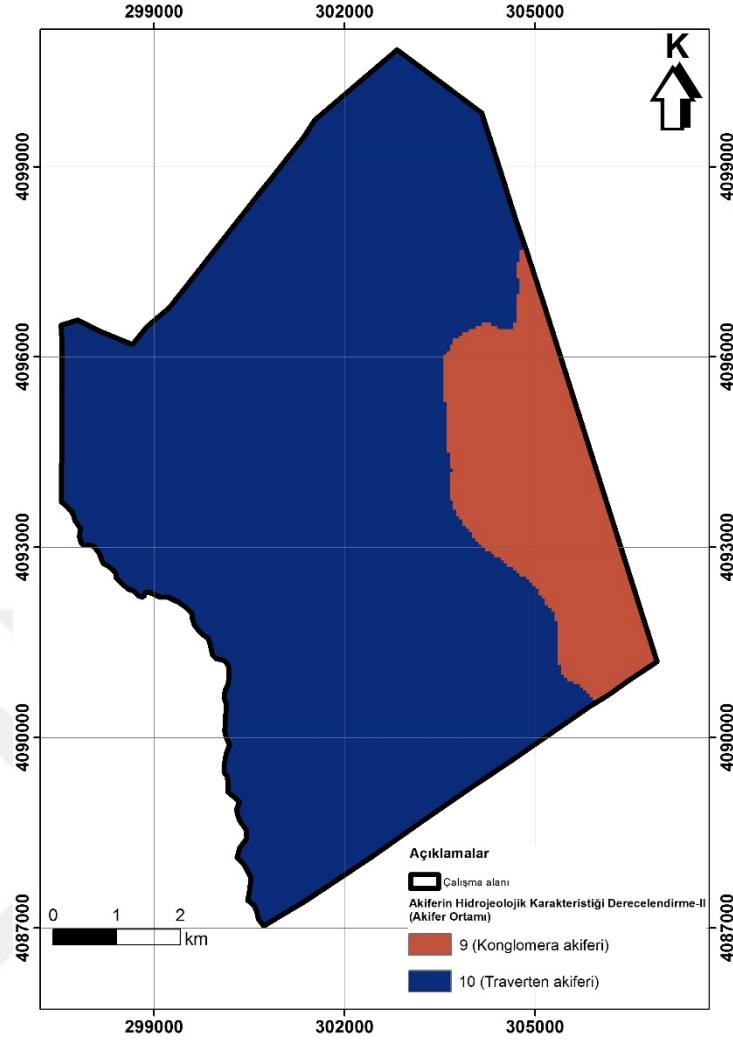
3.2.4. Akifer Ortamı (A)

N parametresinde olduğu gibi A parametresinde de çalışma alanının jeolojik yapısı göz önünde bulundurularak Çizelge-3.13'de verilen derecelendirme değerleri kullanılmıştır. Bu çalışmada, aralık olarak verilen derecelendirme değerlerinin alt ve üst sınırları kullanılarak çalışma alanı için en düşük ve en yüksek derecelendirme değerleri için ayrı ayrı hesaplama yapılmıştır. Her iki hesaplamada da yoğun karstlaşmanın geliştiği bilenen traverten akiferi için derecelendirme değeri 10 olarak kullanılmıştır. Ancak, konglomera akiferi için alt ve üst derecelendirme değerleri kullanılarak I. ve II. Duruma göre hesaplamalar yapılmıştır. Konglomera akiferi için en düşük derecelendirme değeri olan 4'ün kullanıldığı hesaplama I. Durum için derecelendirme haritası Şekil 3.13'de sunulmuştur. Konglomera akiferi için en yüksek

derecelendirme değeri olan 9'un kullanıldığı hesaplama II. Durum için derecelendirme haritası Şekil 3.14'de verilmiştir.



Şekil 3.13. I. Durum için oluşturulan akifer ortamı derecelendirme haritası.



Şekil 3.14. II. Durum için oluşturulan akifer ortamı derecelendirme haritası.

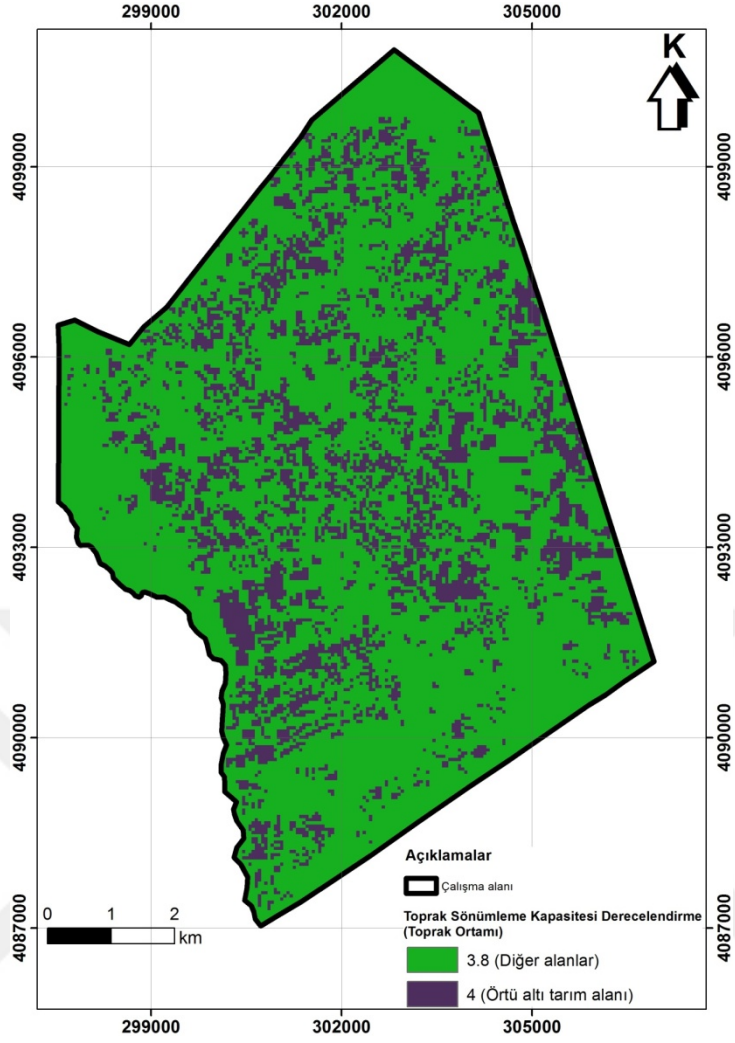
3.2.5. Toprak Sönümlleme Kapasitesi (T)

Toprak, vadoz zonunun üst bölümünde yer alan organik maddece zengin jeolojik birim bozunma ürünüdür. Beslenimi oluşturan yağış ve kirlenici ilk önce toprak tabakası ile temas etmektedir. Toprak, bünyesinde gerçekleşen fiziksel, kimyasal ve biyolojik faaliyetlerden dolayı YAS duyarlılığında kirlenicilerin karşılaştığı "birinci savunma hattı"dır [45]. Cizelge-3.14'de toprak sönümlleme kapasitesi toprak türü tanımlamasına göre sınıflandırılmış ve derecelendirme katsayıları gösterilmektedir.

Çizelge-3.14. Toprak sönümlleme kapasitesi ve derecelendirmeleri

Toprak Türü tanımlamasına göre Toprak sönümlleme kapasitesi sınıfları	Derecelendirme
Kil, Çamur, Siltli Kil	1 – 2
Killi Tın	2 – 3
Siltli, Killi Tın	3 – 4
Siltli Tın	3.5 - 4.2
Tın	4 - 5
Kumlu, Killi Tın	4.5 - 5.2
Kumlu Tın	5.6 - 6
Kumlu Kil	6.2 - 7
Turbo	7.4 - 8.2
Kumlu	8 - 8.4
Temiz Kum	8.8 - 9.5
Temiz Çakıl	9.6 - 10
İnce veya Yok	9.8 - 10

Çalışma alanında toprak türü parametresi derecelendirme değerleri belirlenirken örtü altı tarım alanları ve diğer alanlar ayrı ayrı dikkate alınmıştır. Yöntemin önerdiği toprak türü tanımlamalarına göre (bkz. Çizelge-3.14) örtü altı tarım yapılan alanlar “siltli killi tın” tanımlamasına karşılık gelen 4 derecelendirme değeri, diğer alanlar ise “siltli-tın” tanımlamasına karşılık gelen 3.8 derecelendirme değeri ile haritalanmıştır (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. Toprak sönümlleme kapasitesi derecelendirme haritası.

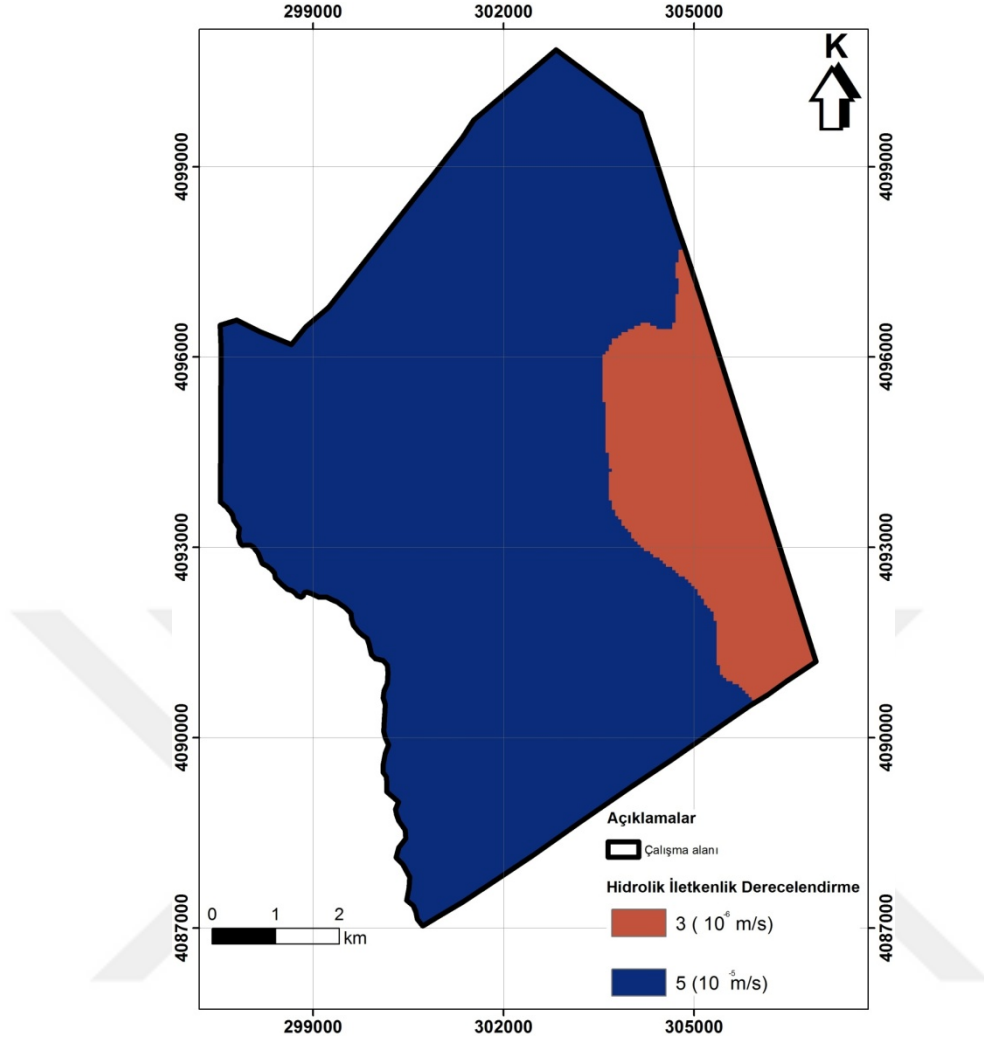
3.2.6. Hidrolik İletkenlik Katsayısı (C)

Hidrolik iletkenlik katsayısı, akiferin akifer ortamının özelliklerine bağlı yeraltısuyu iletebilme kabiliyetidir, genellikle L/T boyutunda tanımlanır. Hidrolik iletkenlik katsayısının yüksek olduğu akiferlerde kimyasal reaksiyonların gerçekleşmediği kabul edildiğinde kirlenme potansiyeli de artacaktır. Çizelge-3.15'te hidrolik iletkenlik sınıfları ve derecelendirme katsayıları [45] gösterilmektedir.

Çizelge-3.15. Hidrolik İletkenlik aralıkları ve derecelendirme

K aralıkları ($10^{\wedge}$ m/s)	Derecelendirme
10^{-10} - 10^{-9}	1
10^{-9} - 10^{-8}	1 - 1.2
10^{-8} - 10^{-7}	1.2 - 2
10^{-7} - 10^{-6}	2 - 3
10^{-6} - 10^{-5}	3 - 5
10^{-5} - 10^{-4}	5 - 7
10^{-4} - 10^{-3}	7 - 8.9
10^{-3} - 10^{-2}	8.9 - 9.9
10^{-2} - 10^{-1}	9.9 - 10

Çalışma alanında jeolojik birimler için hidrolik iletkenlik katsayıları literatürden alınmıştır. Traverten akifer için hidrolik iletkenlik katsayısı 864 mm/gün (10^{-5} m/s) olarak DSI raporlarından [22] alınmıştır. Konglomera akiferi için ise, iyi boylanmış kum-çakıl için Fetter 1994'e [40] göre 86.4 mm/gün (10^{-6} m/s) olarak kabul edilmiştir. Çalışma alanı için bilinen hidrolik iletkenlik katsayıları traverten için 10^{-5} m/s, Plk-Qb için 10^{-6} m/s olduğundan Çizelge-3.15'ten sırasıyla 5 ve 3 derecelendirme değeri seçilmiştir. Oluşturulan derecelendirme haritası Şekil 3.16'da verilmiştir.



Şekil 3.16. Hidrolik iletkenlik katsayısı derecelendirme haritası.

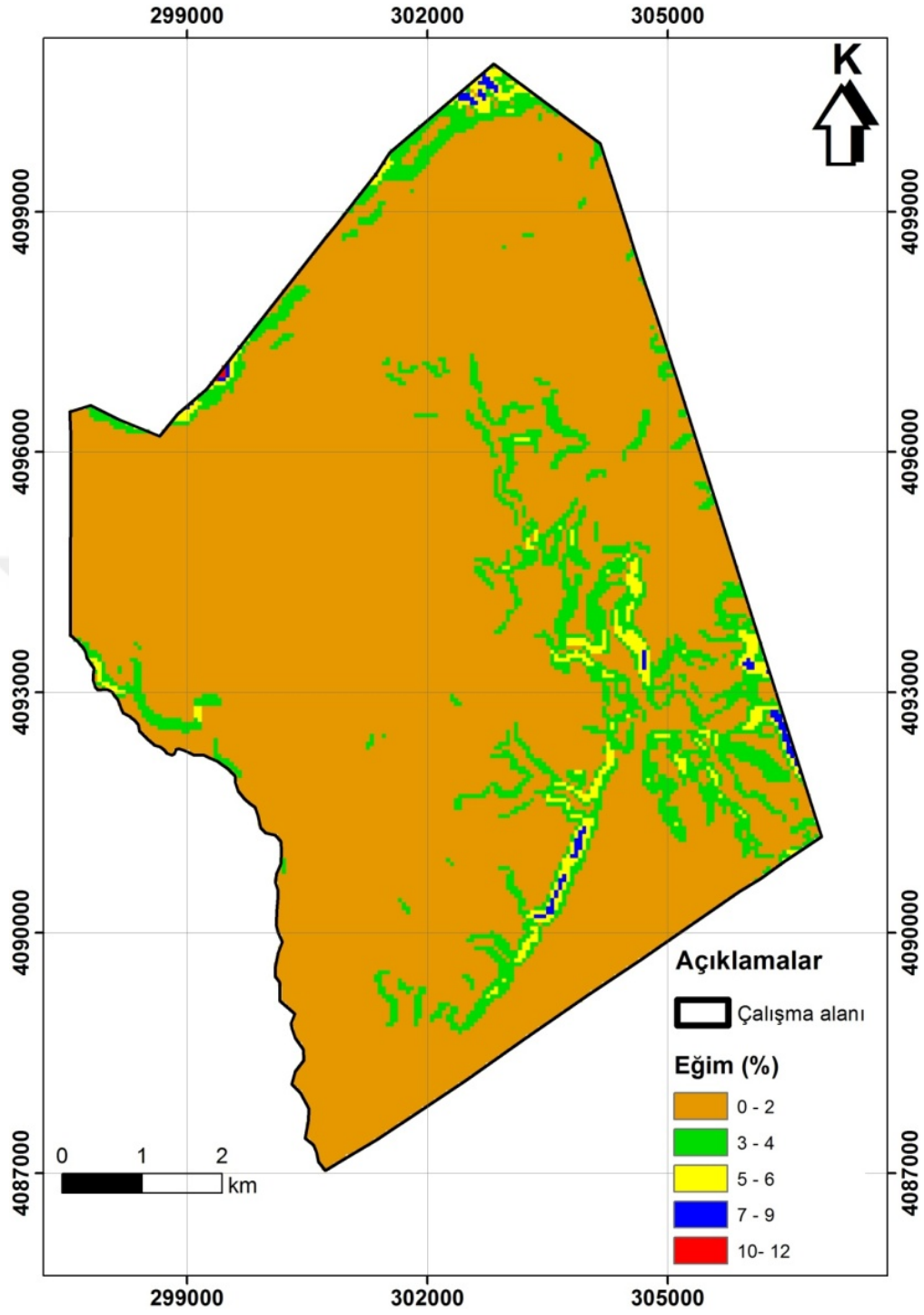
3.2.7. Eğim (S)

Topoğrafik eğim, suyun/yağışın yüzeysel akış hızını ve süzülme miktarını etkileyeceğinden suyla birlikte taşınan kirleticinin de yeraltısuyuna ulaşabilirliğini ve bolluğunu belirleyen bir parametredir. Eğim sınıfları ve derecelendirme katsayıları [45] Çizelge-3.16'da gösterilmektedir.

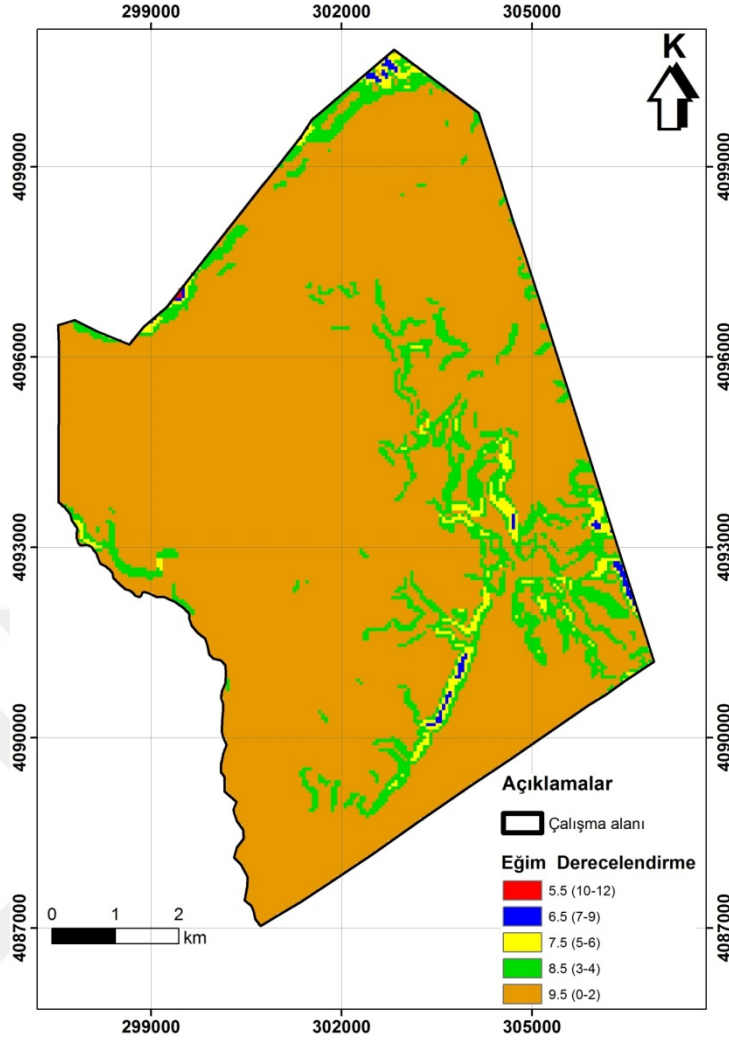
Çizelge-3.16. Eğim sınıfları ve dereceleri

Eğim sınıfları(%)	Derecelendirme
0 - 2	9.5
3 - 4	8.5
5 - 6	7.5
7 - 9	6.5
10 - 12	5.5
13 - 15	4.5
16 - 18	3.5
19 - 21	2.5
22 - 25	1.5
26 - 30	1

Çalışma alanı için; Sayısal Arazi Modelinden, ArcGIS programının eğim modülü kullanılarak 50*50 m çözünürlüklü eğim haritası üretilmiştir (Şekil 3.17). Bu yöntemde sınıf sayısı DRASTIC yönteminden fazla olduğu için harita yeniden üretilmiştir. Çalışma alanında topografik eğim genel olarak oldukça düşüktür (<%3), ancak çalışma alanı sınırları oluşturan akarsu yatak altı ve traverten üst plato sınırında eğim yer yer %9'a çıkmaktadır. Çalışma alanı için önerilen eğim sınıflarına karşılık gelen derecelendirme (bkz. Çizelge-3.16) haritası Şekil 3.18'de sunulmuştur.



Şekil 3.17. Eğim haritası (SINTACS).



Şekil 3.18. Eğim derecelendirme haritası (SINTACS).

3.2.8. SINTACS Yöntemi YAS Duyarlılık Haritası

Çalışma alanında SINTACS yönteminin tüm parametreleri için belirlenen derecelendirme haritalarının ilgili ağırlıklar ile çarpımı ve toplamlardan oluşan indeks (bknz. Eşitlik 3.2) haritası ArcGIS programında “raster calculator” hesaplama modülü kullanılarak oluşturulmuştur. Hesaplama da kullanılan tüm parametrelerin dereceleri ve ağırlık katsayıları Çizelge-3.17 (a ve b)’de toplu olarak verilmiştir. Farklı derecelendirme değerleri kullanılarak oluşturulan 2 farklı duruma ait SINTACS duyarlılık haritaları Şekil 3.19 ve Şekil 3.20’de sunulmuştur. Oluşturulan duyarlılık haritasına göre çalışma alanı düşük, orta, yüksek ve çok yüksek duyarlılıklı olarak belirlenmiştir. Düşük, orta, yüksek ve çok yüksek duyarlılıklı alanların tüm çalışma alanı içindeki büyüklükleri I. ve II. Durum için sırası ile %4, %11, %18 ve %67 ve %0, %4, %22 ve %74 olarak belirlenmiştir. SINTACS yöntemine I. Ve II. Durumları için sırası ile göre çalışma alanının % 85 ve % 96’sı ü yeraltısuyu kirliliği açısından yüksek-

çok yüksek duyarlılığa sahiptir. Örtü altı tarım yapılan alanlar etkin süzülmenin daha az gerçekleşmesi sonucunda düşük-orta duyarlılık olarak belirlenmiştir.

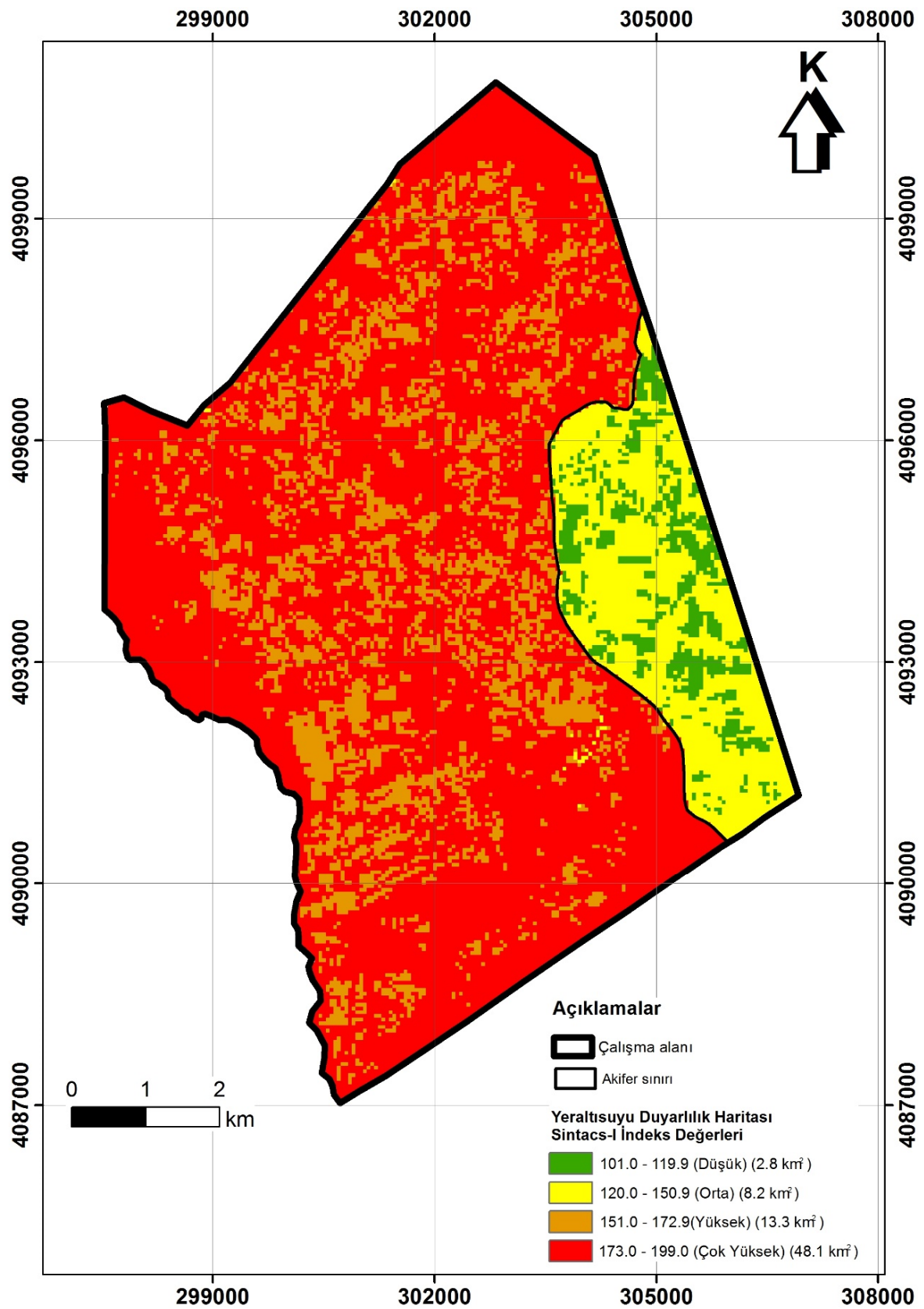
Yönteme ait sadece 2 parametrenin farklı olarak kullanılması duyarlılık tanımlamalarını ve kapsadığı alanları %10 oranında değiştirebilmektedir. Yapılan değerlendirme yönteminin parametre derecelendirmelerine ne denli hassas olduğunu göstermektedir. Yöntemin su kaynaklarının korunması açısından kullanıldığı durumlarda yönetim politikalarını etkileyecek farklılıklar oluşmaktadır. Parametrelerin sınıf tanımlamalarının doğru yapılması oldukça önemlidir.

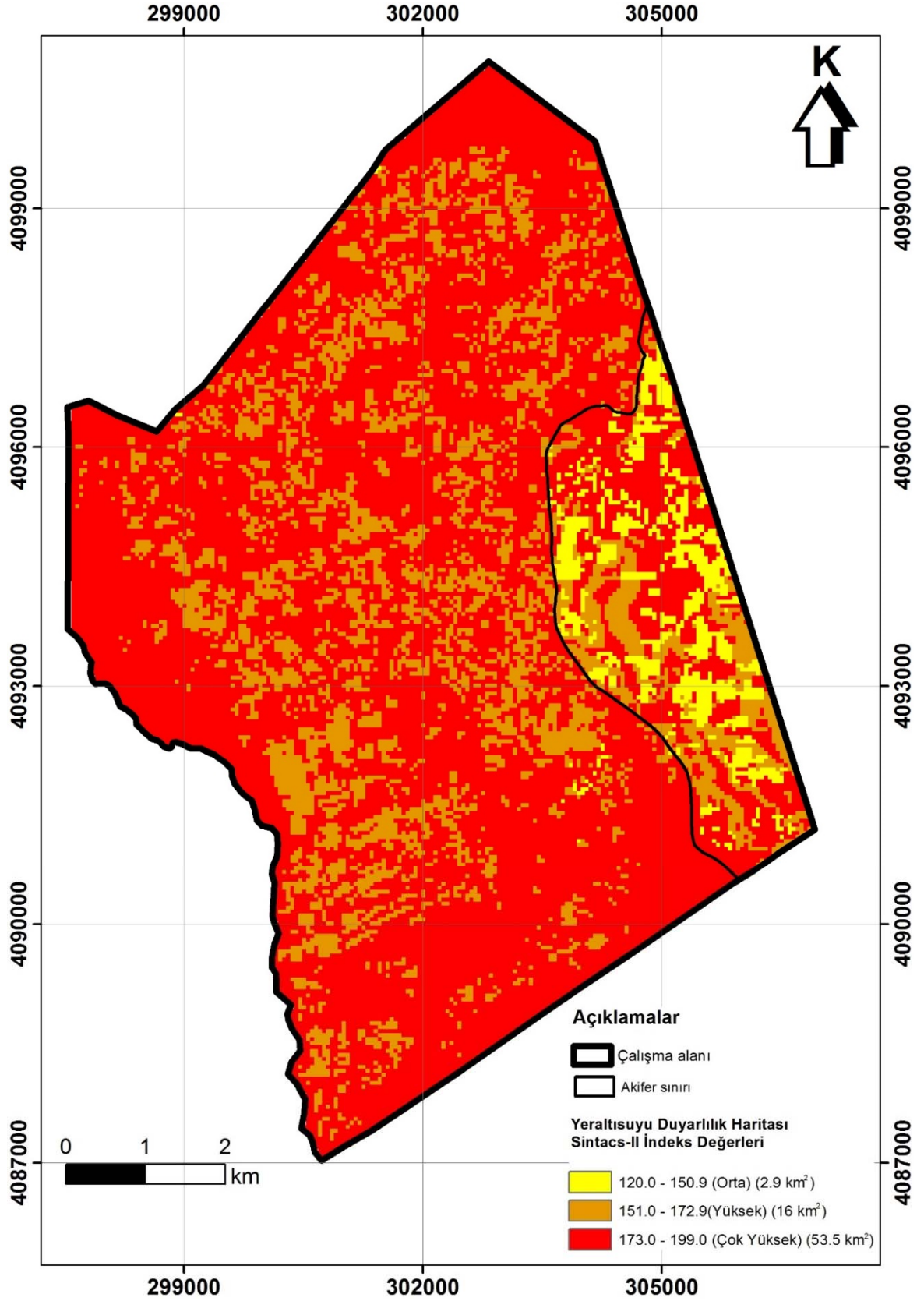
Çizelge-3.17. a) SINTACS-I yöntemi uygulamasında kullanılan tüm parametre dereceleri ve ağırlık katsayıları

Parametre	Açıklama/Değer	Derecelendirme	Ağırlık Katsayısı
Yeraltısuyu Derinliği (S)	5.6-8.2	6	2
	8.2-10.8	5	
	10.8-16.5	4	
	16.5-24.3	3	
	24.3-41.7	2	
	41.7-100	1	
Etkin Süzülme (I)	Örtü altı tarım alanı <50	2.2	5
	Diğer alanlar 300-350	8.5	
Vadoz zonun sönümleme kapasitesi (N)	Konglomera akiferi	5	1
	Traverten akiferi	10	
Toprak sönümleme kapasitesi (T)	Diğer alanlar	3.8	3
	Örtü altı tarım alanı	4	
Akifer ortamı (A)	Konglomera akiferi	4	5
	Traverten akiferi	10	
Hidrolik iletkenlik katsayısı (C)	Konglomera akiferi	3	5
	Traverten akiferi	4	
Eğim (S)	0-2	9.5	5
	3-4	8.5	
	5-6	7.5	
	7-9	6.5	
	10-12	5.5	

Çizelge-3.17. b) SINTACS-II yöntemi uygulamasında kullanılan tüm parametre dereceleri ve ağırlık katsayıları

Parametre	Açıklama/Değer	Derecelendirme	Ağırlık Katsayısı
Yeraltısuyu Derinliği (S)	5.6-8.2	6	2
	8.2-10.8	5	
	10.8-16.5	4	
	16.5-24.3	3	
	24.3-41.7	2	
	41.7-100	1	
Etkin süzülme (I)	Örtü altı tarım alanı <50	2.2	5
	Diğer alanlar 300-350	8.5	
Vadoz zonun sönümlleme kapasitesi (N)	Konglomera akiferi	8	1
	Traverten akiferi	10	
Toprak sönümlleme kapasitesi (T)	Diğer alanlar	3.8	3
	Örtü altı tarım alanı	4	
Akifer ortamı (A)	Konglomera akiferi	9	5
	Traverten akiferi	10	
Hidrolik iletkenlik katsayısı (C)	Konglomera akiferi	3	5
	Traverten akiferi	4	
Eğim (S)	0-2	9.5	5
	3-4	8.5	
	5-6	7.5	
	7-9	6.5	
	10-12	5.5	





Şekil 3.20. Sintacs-II yeraltısuyu duyarlılık haritası.

3.3. COP YÖNTEMİ

COP yöntemi, granüler akiferlerden farklı hidrojeolojik özelliklere sahip karstik akiferlerde değişken iklim koşulları ve difüz-kanal akım sistemlerinin varlığı göz önüne alınarak [44], Malaga Üniversitesi Hidrojeoloji grubu tarafından geliştirilmiştir [46]. Yöntem 3 parametreden oluşmaktadır. Bunlar, üst toprak ve doymamış zonun özelliklerinin belirlendiği örtü tabakası (O faktörü), yaygın ve yoğun süzülme süreçleri (C faktörü) ve iklim koşullarıdır (P faktörü). Bu 3 faktörün çarpımı ile COP indeks değeri hesaplanır [46] (Eşitlik 3.3). Çizelge-3.18'de verilen COP indeksinin azalan değerleri artan kirliliğe duyarlılığını göstermektedir.

$$COP_{indeks} = Cs \times Os \times Ps \quad (3.3.)$$

Eşitlikte; COP_{indeks} : COP indeks değeri, Cs: Akış yoğunluğu puanı, Os: Örtü tabakaları puanı, Ps: Yağış puanı olarak verilmiştir.

Çizelge-3.18. COP yöntemi duyarlılık sınıfları

COP İndeksi	Duyarlılık sınıfı
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

3.3.1. O Faktörü (Örtü tabakalar)

Topraktan süzülen kirlitici vadoz zondan geçeceği için, vadoz zonun litolojisi kirliticinin su tablasına ulaşmasında önemli bir basamaktır. Vadoz zonlu oluşturan jeolojik malzemenin gözeneklilik ve iletkenliği akifer ortamında olduğu gibi kirlenme potansiyeline etki etmektedir. O faktörü, vadoz zon litolojisinin özelliklerini dikkate alır ve iki alt faktörün (toprak (Os) ve litoloji (Ol)) toplanması ile hesaplanmaktadır ([17] [46]) (Eşitlik 3.4).

$$O \text{ Faktörü} = Os + Ol \quad (3.4.)$$

Eşitlikte; Os: Toprak alt faktörü, Ol: Litoloji alt faktörü olarak tanımlanmıştır.

3.3.1.1. Toprak alt faktörü

Vadoz zon üzerinde biyolojik faaliyetlerin gerçekleştiği bölgedir. Bu bölgenin ana karakterizasyonu kendini temizleme işlevidir. Toprağın tane boyu dağılımına bağlı

olarak toprak yapısı ve kalınlık tanımlaması yapılmaktadır [46]. Çizelge-3.19'da ve Çizelge-3.20'de sırası ile toprak yapısı ve toprak kalınlığı verilmiştir.

Çizelge-3.19. Toprak yapısı

Killi	> %30 Kil
Siltli	> %70 silt
Kumlu	Kum > % 70
	Kil <= % 15
Loam	Diğer durumlarda

Çizelge-3.20. Toprak türü ve kalınlığının Os parametresine dönüştürülmesi

Kalınlık	Killi	Siltli	Loam	Kumlu
> 1 m	5	4	3	2
0.5 - 1	4	3	2	1
< 0.5	3	2	1	0

3.3.1.1. Litoloji alt faktörü

Litoloji alt faktörü, vadoz zonun sönümlenme kapasitesini ifade etmektedir. Litoloji ve kırık-çatlak gelişimi (ly), tabaka kalınlığı (m) ve akiferin türü (cn) olmak üzere üç alt parametreye ayrılır [46].

Çizelge-3.21'de verilen ly değerleri, jeolojik birimlerin litolojik ve suyu iletme özelliklerini belirleyen ikincil gözenekliliklerini (kırık-çatlak, çözünme boşlukları) dikkate almaktadır. Tabaka kalınlıkları metre cinsinden ifade edilmektedir.

Litoloji ve kırık-çatlak gelişimi (ly) ile tabaka kalınlığı (m) çarpılarak tabaka indeksi (Ly) değeri hesaplanır (Eşitlik 3.5). Çizelge-3.22'de tabaka indeks aralıkları ve değerleri verilmiştir.

$$Tabaka\ İndeksi = \sum ly \times m \quad (3.5.)$$

Eşitlikte; ly: litoloji ve kırık-çatlak gelişimi, m: tabaka kalınlığı olarak verilmiştir.

Akiferin beslenme koşullarına göre tanımlanan akifer (serbest, basınçlı vb.) parametresi (cn), akiferin türüne göre belirlenen ağırlık katsayısıdır (Çizelge-3.23). Basınçlı akifer değeri en yüksek koruma verirken, serbest akifer değeri 1 olduğu için bu parametre etkisizdir.

Cn değeri ile tabaka indeksi çarpılarak litoloji alt faktörü (Ol) hesaplanır (Eşitlik 3.6).

$$Ol = Tabaka\ İndeksi \times cn \quad (3.6.)$$

Bu eşitlikte; cn: Akifer türü ağırlık katsayısı olarak verilmiştir.

Toprak (Os) ve litoloji (Ol) alt faktörlerinin toplanması (Eşitlik 3.4) ile elde edilen koruma değeri 1 ile 15 arasındadır ve beş sınıfa ayrılmıştır. 1 en düşük koruma, 15 ise en yüksek koruma değerini temsil eder. Çizelge-3.24'te O faktörü puan aralıkları ve duyarlılık sınıfları verilmiştir.

Çok düşük ve düşük duyarlılık sınıfları toprak örtüsünün ince ve kirletici tutma kabiliyetinin yetersiz olduğu alanları ya da toprak örtüsünün olmadığı alanları göstermektedir. Orta ve yüksek duyarlılık sınıfları, koruma derecesinin yüksek olduğu ve düşük geçirgenliğe sahip litolojiyi ve toprağın varlığını göstermektedir. Çok yüksek duyarlılık sınıfı, çalışma alanının yüzeyden beslenmeyen basınçlı akifer olduğunu göstermektedir ([17] [46]).

Çizelge-3.21. Litolojik birimler ve değerleri

Litoloji ve Çatlaklanma (ly)	Değer
Kil	1500
Silt	1200
Volkanik kayalar	1000
Marnlı kireçtaşı	500
Çatlaklı ve volkanik kayalar	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 kayac	1

Çizelge-3.22. Litolojik birim ve tabaka kalınlığına bağlı tabaka indeksi ve değerleri

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

Çizelge-3.23. Akifer türü ve değerleri

Sınırlama koşulları	Değer
Basıncılı akifer	2
Yarı basıncılı	1.5
Serbest	1

Çizelge-3.24. O faktörü puanı ve koruma sınıfları

O puan	Koruma sınıfı
1	Çok düşük
2	Düşük
2-4	Orta
4-8	Yüksek
8-15	Çok yüksek

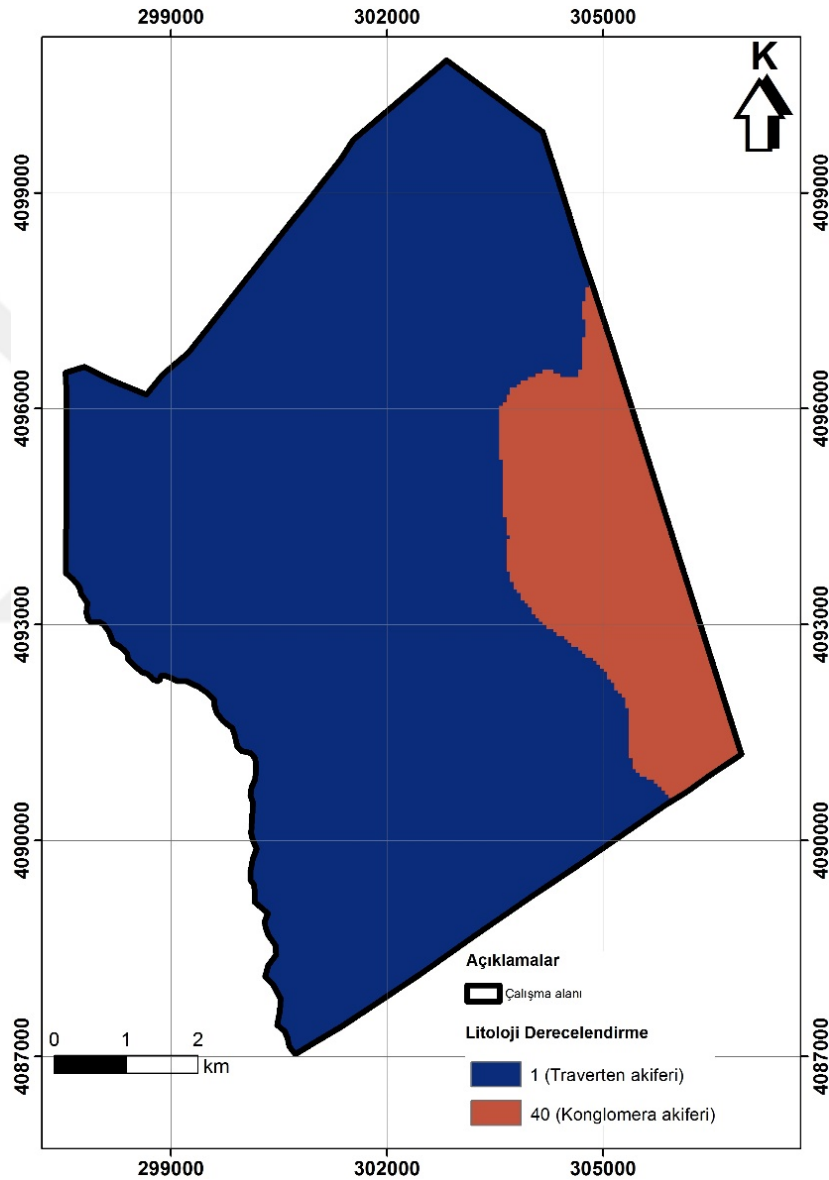
Toprak ve litoloji alt faktörü olarak ikiye ayrılan örtü tabakası parametresinde toprak alt faktörü için Çizelge-3.19'dan çalışma alanındaki toprak yapısı "Loam" olarak tanımlanmıştır. Çalışma alanındaki toprak örtüsü kalınlığı 0.5 m'den az olduğu kabul edilerek toprak türü ve kalınlığının etki değerlerini gösteren Çizelge-3.20'den 1 değeri seçilmiştir.

Litoloji alt faktörü belirlenirken çalışma alanının jeolojik yapısı dikkate alınarak Çizelge-3.21'den traverten akiferi için 1, konglomera akiferi için 40 değeri seçilmiştir (Şekil 3.21).

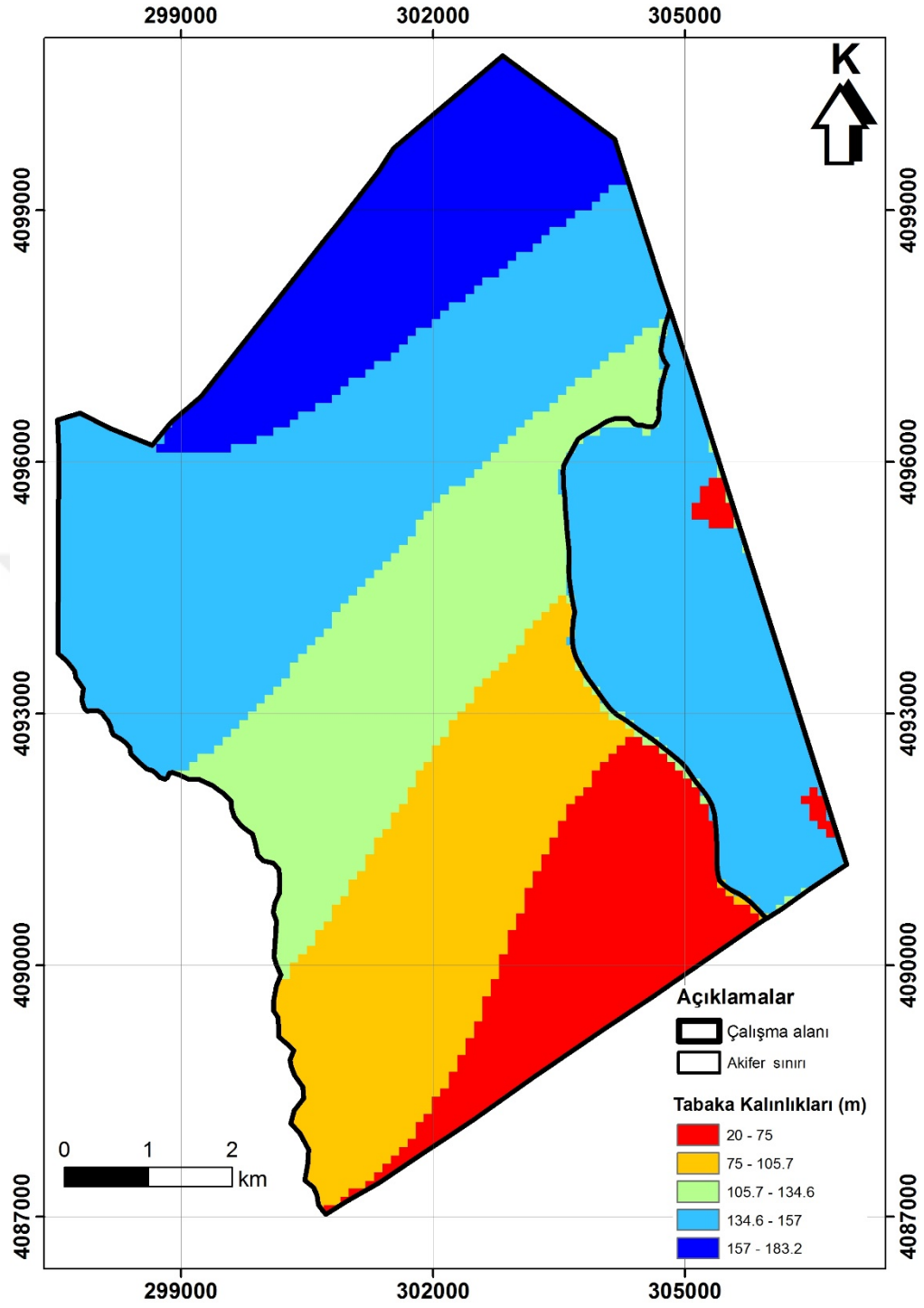
Traverten akiferin kalınlığı Özüş(1992) [23] ve DSİ [22] kuyu loglarındaki bilgiler (bkz Bölüm 2.3) kullanılarak belirlenmiştir. Konglomera akiferini oluşturan, Plk ve Qb birimlerin kalınlıkları 20 ve 150 m Şenel (1997)'den [36] alınmıştır. Jeolojik birimlerin kalınlıklarını gösteren harita Şekil 3.22'de verilmiştir. Seçilen litoloji alt faktör değerleri ile tabaka kalınlık haritası ArcGIS "Raster Calculator" modülü ile çarpılmış ve tabaka

indeksi haritası oluşturulmuştur (Şekil 3.23). Çizelge-3.22'deki değerlere göre tabaka indeksi haritası Şekil 3.24'de sınıflandırılmıştır.

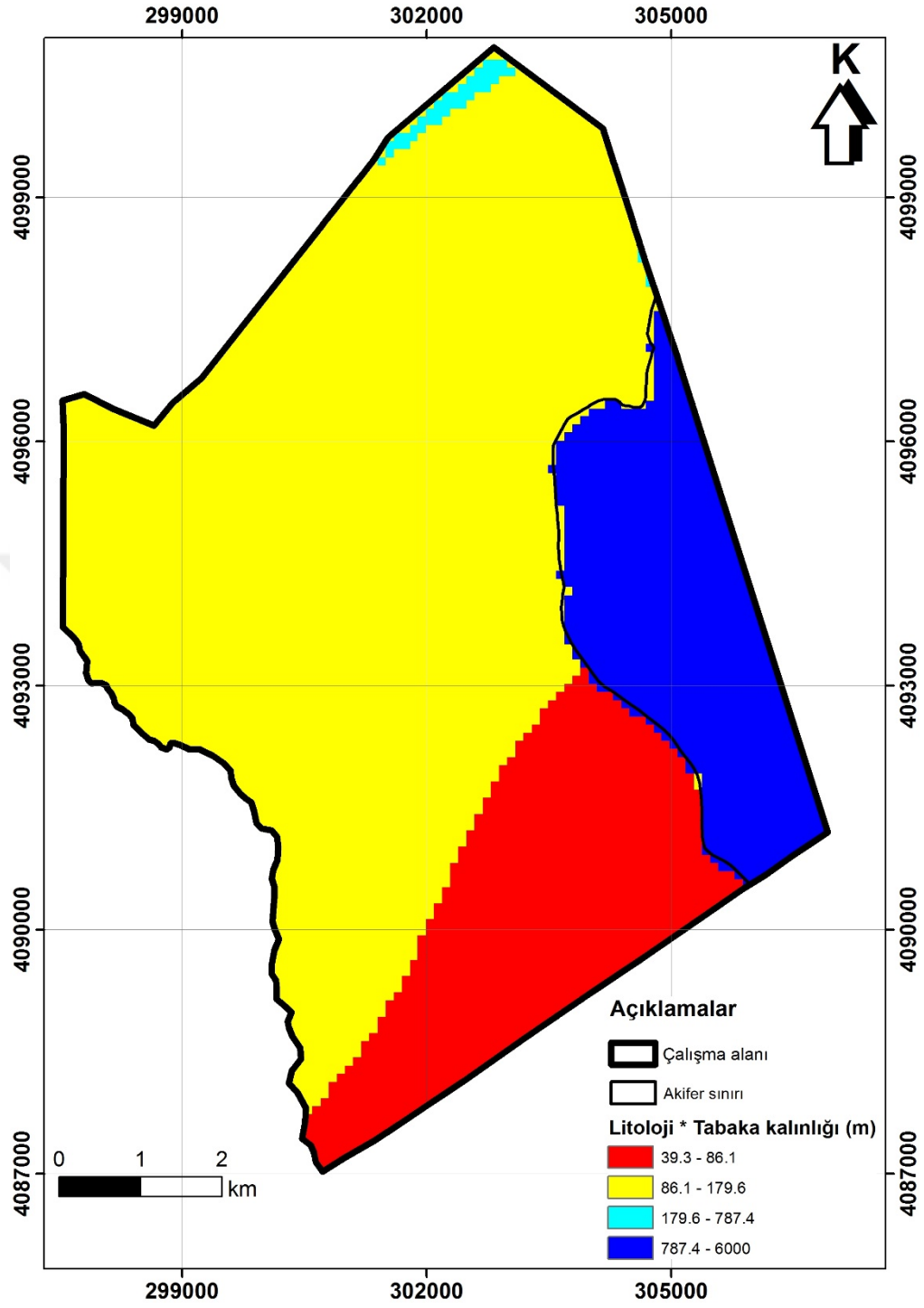
Çalışma alanındaki akiferlerin tamamı serbest akifer özelliğinde olduğu için Çizelge-3.23'den 1 değeri seçilmiştir. Elde edilen Toprak (Os) ve Litoloji (Ol) alt faktör haritaları ArcGIS “Raster Calculator” modülü ile toplanarak örtü tabakası haritası elde edilmiştir (Şekil 3.25).



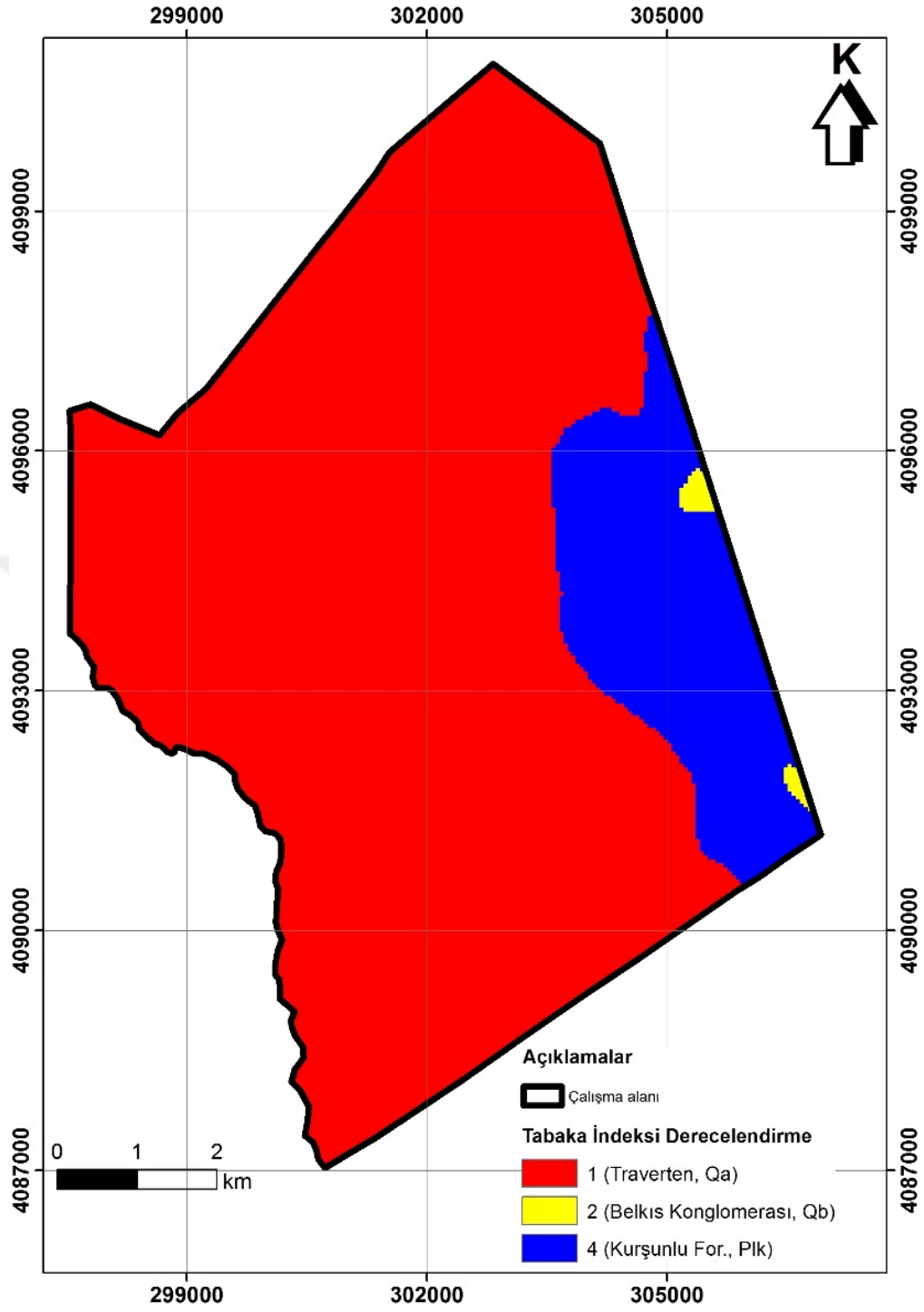
Şekil 3.21. Akifer haritası.



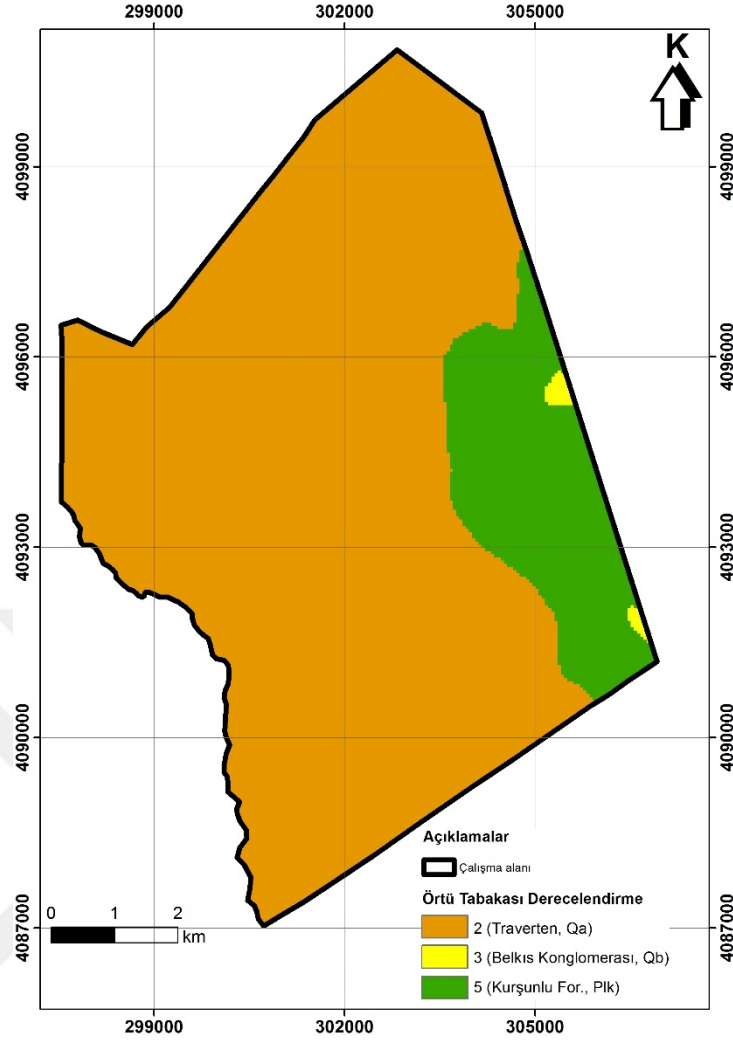
Şekil 3.22. Jeolojik birimlerin tabaka kalınlıkları haritası.



Şekil 3.23. Tabaka indeks haritası



Şekil 3.24. Tabaka indeksi haritası sınıfları.



Şekil 3.25. O faktörü (Örtü tabakası) haritası.

3.3.2. C Faktörü (Akış yoğunluğu)

C faktörü, torak zonu ve vadoz zonda gerçekleşen kirlenici sönümlenmesi etkisinin gerçekleşmediği durumları (noktasal beslenimin gerçekleştiği karstik akiferler) değerlendirmeye katmak için tanımlanmıştır. Daly et. al.(2002) [47], tarafından O faktörünün düzeltici katsayısı olarak tanımlanmıştır [46].

C faktörü için iki senaryo belirlenmiştir. Bu senaryolardan ilki, noktasal beslenimin geliştiği (düden vb.) karst morfolojileri, diğeri ise beslenimin alansal olarak gerçekleştiği karst akiferleridir ([46] ve [47]). C faktörünün azalan değerleri kirliliğe duyarlılığını artırmaktadır [46].

Senaryo 1'de düşük geçirimliğe sahip toprak örtüsü ya da vadoz zonun olduğu alanlarda bulunan karstik yapılar (düden, yeraltı nehirleri) nedeniyle beslenimin

noktasal olarak gerçekleştiği durum tanımlanmaktadır [46]. Bu koşullar altında C faktörü (3.7) No.lu eşitlik ile hesaplanmaktadır.

$$C = dh \cdot ds \cdot sv \quad (3.7.)$$

Bu eřitlikte; C: akıř yođunluđu, dh: dűdene olan uzaklık, ds: batan nehre uzaklık, sv: eđim ve bitki ۆrtűsű olarak verilmiřtir.

Çizelge-3.25'de dűdene olan uzaklık ve uzaklıđa karřılık gelen deđerler gۆsterilmektedir. 500 m'den daha dűřűk uzaklıđa sahip olan bۆlgelerde dh=0 olur. Akiferin koruma kapasitesi uzaklıđın artması ile dođru orantılıdır.

Batan nehirlere uzaklık değerleri izelge-3.26'da gۆsterilmektedir. 10 m mesafeden yakın olan bۆlgeler sıfır koruma alanı olarak tanımlanmıştır. 100 m'den uzak olan tűm alanlar içinde 1 değer verilmektedir.

Bitki ۆrtűsűnűn varlıđı ve yođunluđu ile eđim, sűzűlme ve yűzeysel akıřı etkileyeceđinden birlikte deđerlendirilmiřtir. Yűksek eđim ve bitki ۆrtűsűnűn yođunluđunun az olduđu bۆlgelerde suyun akıřı dűdenlere daha kolay olacađından olası bir kirleticinin de su tablasına ulařma zamanı azalacaktır. Bu bۆlgeler dűřűk koruma alanlarıdır (izelge-3.27).

Çizelge-3.25. Dűdene olan uzaklık aralıkları ve deđerleri

Dűdene uzaklık(m)	Değer	Dűdene 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

Çizelge-3.26. Batan nehre uzaklık aralıkları ve değerleri

Yeraltı nehirlerine uzaklık (m)	Değer
< 10	0
10 – 100	0.5
> 100	1

Çizelge-3.27. Eğim ve bitki örtüsü değerleri

Eğim (%)	Bitki örtüsü	Değer
≤8	-	1
8-31	Yüksek	0.95
	Düşük	0.9
31-76	Yüksek	0.85
	Düşük	0.8
>76	-	0.75

Senaryo 2 akifer besleniminin bir düden aracılığı ile değil alansal olarak gerçekleştiği durumları tanımlamaktadır [46]. Bu şartlar altında C faktör (3.8) No'lu eşitlik kullanılarak hesaplanır.

$$C = sf \cdot sv \quad (3.8.)$$

Bu eşitlikte; C: akış yoğunluğu, sf: yüzey özellikleri, sv: eğim ve bitki örtüsü olarak verilmiştir.

Yüzey özellikleri parametresi karbonatlı kayaçların jeomorfolojik özelliklerini ve süzülme/yüzeysel akış süreçlerini belirleyen geçirimli/geçirimsiz tabakanın olup olmamasını göstermektedir. Çizelge-3.28'de yüzey özellikleri parametresinin değer aralıkları gösterilmektedir.

Senaryo 2'de yüksek eğim ve bitki örtüsünün yokluğunda süzülme yerine yüzeysel akış gerçekleşir. Bu durumda olası bir kirleticiyi hızlıca doygun zona ulaştırılacak beslenim alansal olduğundan dolayı örtü tabakanın sunduğu koruma azalmayacaktır (Çizelge-3.29).

Senaryo 1'deki C faktörünün değer aralığı 0-1 iken Senaryo 2'de bu durum 0.1875 - 1'dir. Bunun nedeni kirleticinin ilk durumda akifere ulaşma hızının yüksek olmasından kaynaklanır. Noktasal beslenimin gerçekleştiği durumlarda C değeri 0 olduğundan; örtü tabakası koruma görevi görmez.

C faktörü beş duyarlılık sınıfında değerlendirilir. Çok yüksek sınıf değeri, bölgede bir ya da daha fazla düdenin olduğunu toprak örtüsü ve vadoz zon koruması gerçekleşmediğini göstermektedir. Çok düşük duyarlılık sınıfı, hızlı süzülmeden çok yüzeysel akışın gerçekleşmesi nedeniyle toprak örtüsü ve vadoz zon korumasının arttığını göstermektedir [46]. Çizelge-3.30'da C faktörü değer aralıkları ve duyarlılık sınıfları gösterilmektedir.

Çizelge-3.28. Yüzey özellikleri ve değerleri

Yüzey tabakaları	Yok	Geçirimli	Geçirimsiz
Gelişmiş Karst	0.25	0.5	0.75
Az gelişmiş karst ya da çözünme yapıları	0.5	0.75	1
Kırık-Çatlaklı karbonat	0.75	0.75	1
Karstik olmayan	1	1	1

Çizelge-3.29. Eğim/bitki örtüsü ve değerleri

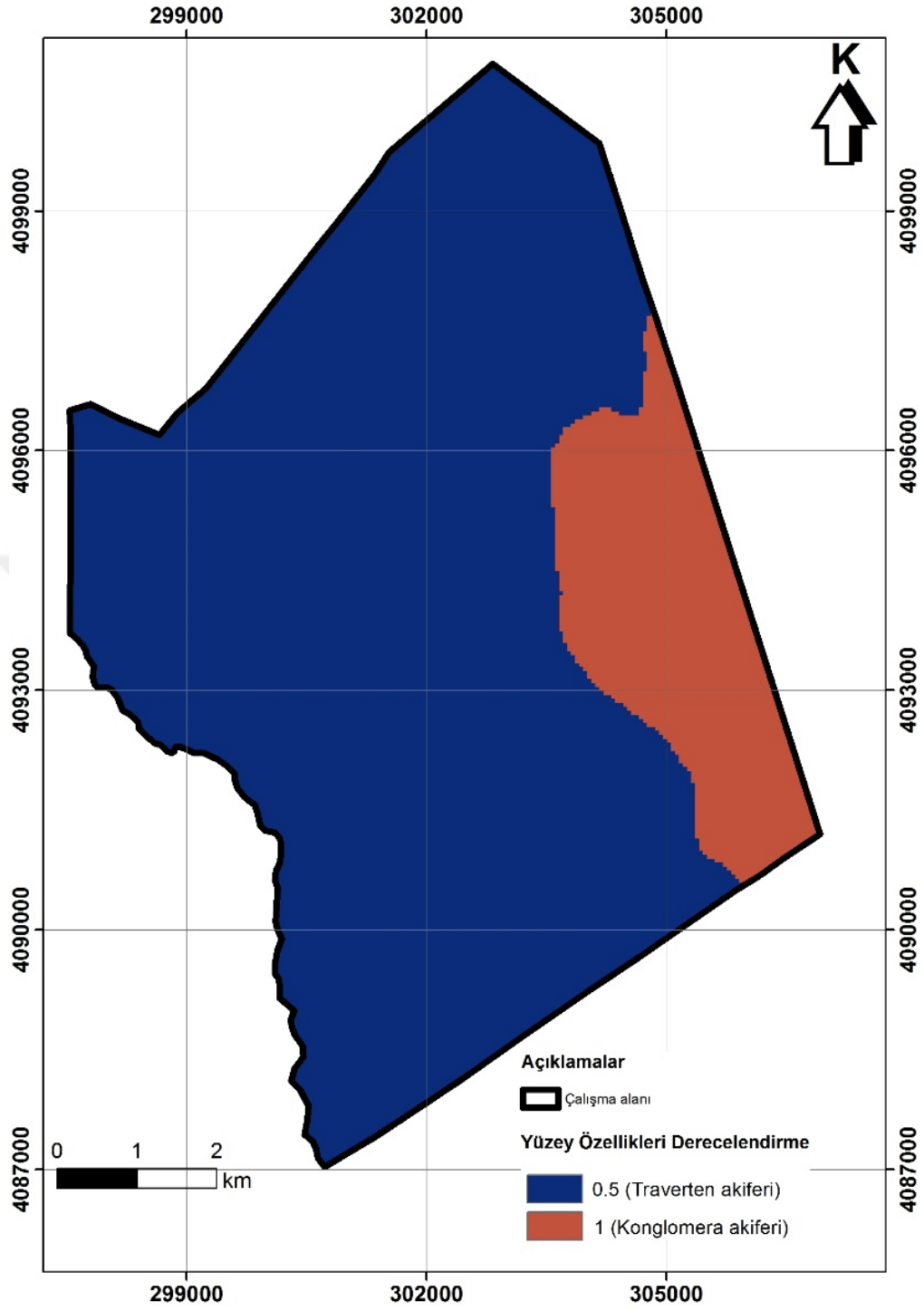
Eğim (%)	Bitki örtüsü	Değer
≤ 8	-	0.75
8-31	Yüksek	0.8
	Düşük	0.85
31-76	Yüksek	0.9
	Düşük	0.95
>76	-	1

Çizelge-3.30. C parametresi duyarlılık sınıfı

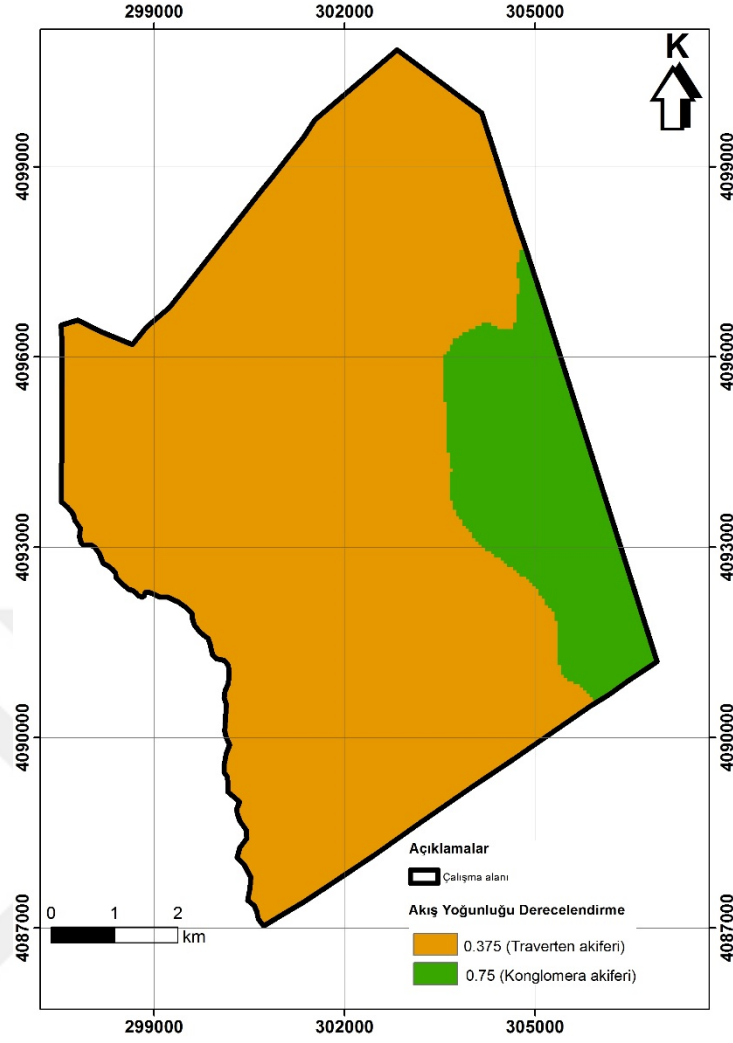
Cs	Duyarlılık
0-0.2	Çok yüksek
0.2-0.4	Yüksek
0.4-0.6	Orta
0.6-0.8	Düşük
0.8- 1	Çok düşük

Çalışma alanı içinde düden vb. karst yapıları bulunmadığından beslenimin alansal olarak gerçekleştiği kabul edilerek C parametresinin belirlenmesinde Senaryo-2 dikkate alınmıştır. Çalışma alanında yaygın olarak gözlenen jeolojik birim olan traverten için sf parametresi Daily et. al. (2002) [47] tarafından belirlenen ve yüzey özelliklerini ve değerlerini gösteren Çizelge-3.28'den gelişmiş karst olarak tanımlanmış ve 0.5 değeri seçilmiştir. Çalışma alanında yüzeyleyen diğer jeolojik birimler olan Belkıs konglomerası (Qb) ve Kurşunlu formasyonu (Plk) için sf değeri 1 olarak seçilmiştir (Şekil 3.26).

Çalışma alanının eğimi ≤ 9 (Şekil 3.16 ve Şekil 3.17) ve bitki örtüsü ihmal edilecek kadar az olduğundan tüm alan için Çizelge-3.29'dan 0.75 değeri seçilmiştir. Belirlenen değerlere göre (3.8) No.lu eşitlik kullanılarak çalışma alanı için C Faktörü (akış yoğunluğu) haritası Şekil 3.27'de oluşturulmuştur.



Şekil 3.26. Yüzey özellikleri (sf) haritası.



Şekil 3.27. C Faktörü (akış yoğunluğu) haritası.

3.3.3. P Faktörü (Yağış)

Daily et. al. [47] göre P faktörü yıllık toplam yağış ve yağışlı gün sayısını dikkate alan bir parametredir. Yağış akifere iletilecek kirletici miktarını belirleyen temel faktörlerden biridir. P faktörü yağış miktarı (PQ) ve yoğunluğuna (PI) bağlıdır.

Yağış miktarı (PQ), yeraltısuyunun yıllık net beslenme miktarını etkileyeceğinden önemli bir alt faktördür. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, taşınma süresi ve seyreltmedir. Yağış yüksekliğinin artması taşınma süresinin azalmasına ve seyreltmenin artmasına neden olur. Azalan taşınma süresi nedeniyle duyarlılık artarken, seyreltmenin artması duyarlılığın azalması anlamına gelmektedir [46]. Yıllık yağış miktarı değerleri potansiyel kirleticinin taşınma süresine ve seyreltme kapasitesine bağlı olarak beş sınıfa ayrılmıştır. Çizelge-3.31'de yağış miktarı ve değer aralıkları gösterilmektedir.

Yağış yoğunluğu (PI); yıllık toplam yağışın, yıl içindeki yağışlı gün sayısına oranıdır (Eşitlik 3.9).Çizelge-3.32'de yağış yoğunluğuna karşılık değerler gösterilmektedir.

$$Yağış\ yoğunluğu\ (PI) = \frac{yillik\ yağış\ (mm)}{yağmurlu\ gün\ sayısı} \quad (3.9.)$$

Yüksek yağış yoğunluğu ortalama beslenme miktarını artıracığından korunmanın azalmasına sebep olur. Özellikle karstik ortamlarda yağış yoğunluğunun yüksekliği kırık-çatlak ve çözünme boşlukları boyunca süzülmenin yüksek ve hızlı olmasını sağlar. Düşük yağış yoğunluğunda yaygın ve yavaş süzülme gerçekleşirken buharlaşma gibi süreçler daha hızlıdır. Bu durumda net beslenme miktarında azalmaya neden olur. Artan yağış yoğunluğu korunmanın azalması demektir.

P faktör değeri, PQ ve PI değerlerinin toplanması ile elde edilir (Eşitlik 3.10) ve beş duyarlılık sınıfı tanımlanmıştır (Çizelge-3.33). 0.4 değeri korunmanın minimum düzeyde olduğunu göstermektedir. 1'e yakın değerler yüksek korumayı ifade ederken aynı zamanda yağış faktörünün O faktöründe hesaplanan koruma değeri üzerinde çok az etkisi olduğunu göstermektedir [46].

$$P = PQ + PI \quad (3.10.)$$

Eşitlikte; P: Yağış (mm/yıl), PQ: Yağış miktarı (mm/yıl), PI: Yağış yoğunluğu (mm/gün) olarak tanımlanmıştır.

Çizelge-3.31. Yağış miktarı ve karşılık gelen değerler

Yağış (mm/yıl)	miktarı	Değer
> 1600		0.4
1200 - 1600		0.3
800 - 1200		0.2
400 - 800		0.3
< 400		0.4

Çizelge-3.32. Yağış yoğunluğu ve karşılık gelen değerler

Yağışın (mm/gün)	zamansal dağılımı	Değer
< 10		0.6
10 – 20		0.4

Çizelge-3.33. P faktörü duyarlılık sınıfları

Ppuan	Duyarlılık sınıfı
0.4 - 0.5	Çok yüksek
0.6	Yüksek
0.7	Orta
0.8	Düşük
0.9 -1	Çok düşük

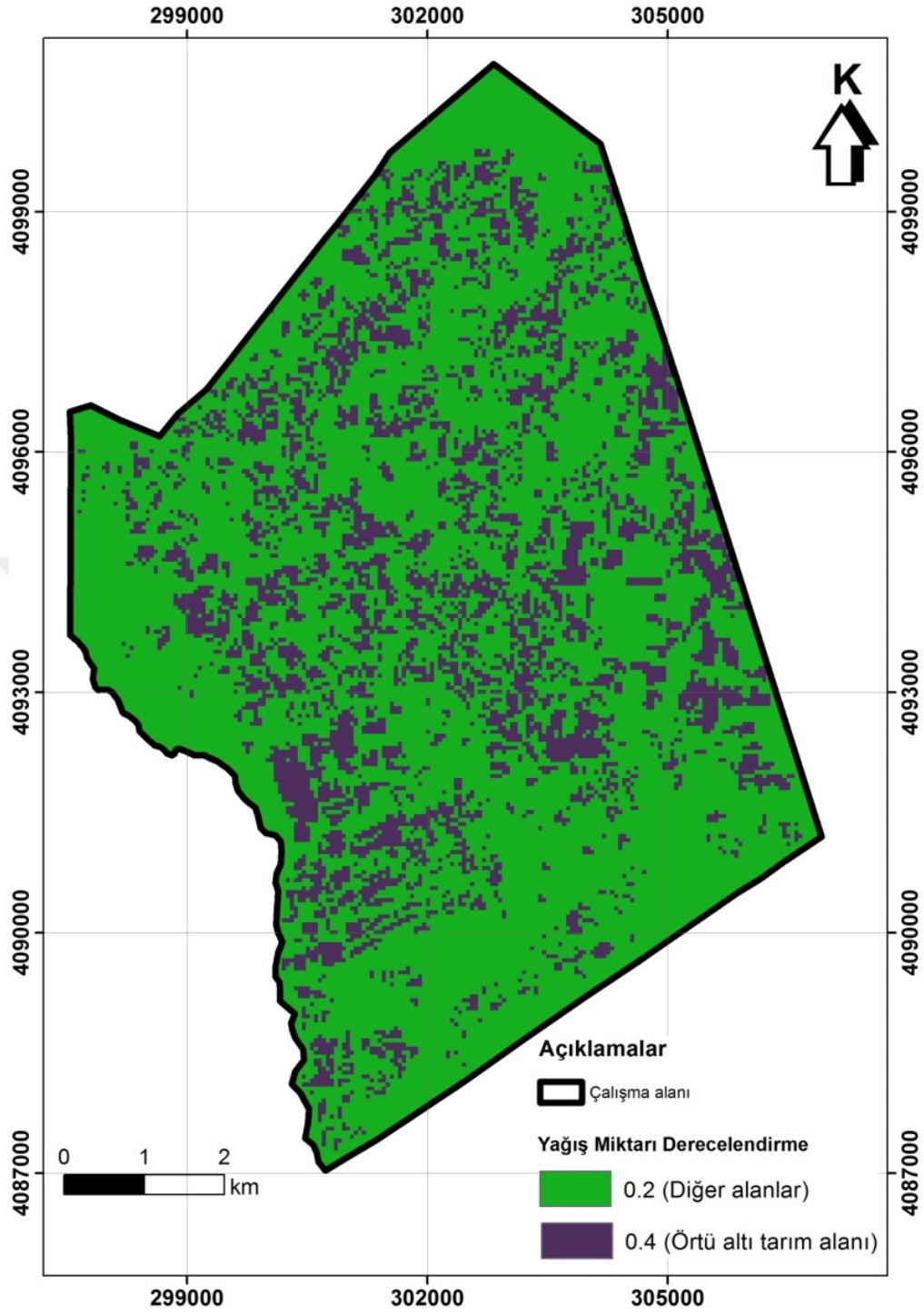
Yağış miktarı (PQ) belirlenirken 1970-2015 yılları arasındaki yağış verileri kullanılmıştır (Çizelge-2.1). 1970-2015 dönemi için ortalama yağış 1106.1 mm'dir. Çalışma alanında örtü altı tarım yapılan alanlarda yağıştan süzülme doğrudan gerçekleşmediği sadece sulama suyu fazlasının yeraltına süzüldüğü kabul edilerek bu alanlara düşen yağış miktarı < 400 mm/yıl olduğu ön görülmüştür. Buna göre yağış miktarı ve karşılık gelen değerleri gösteren Çizelge-3.31'den örtü altı tarım alanına 0.4, diğer alanlar için 0.2 değeri seçilmiştir. Elde edilen yağış miktarı (PQ) haritası Şekil 3.28'de gösterilmektedir.

Çalışma alanı için yağış yoğunluğu (PI) belirlenirken Antalya için 1929-2016 yılları arasındaki ortalama yağışlı gün verisi kullanılmıştır [48] (Çizelge-3.34). Bu verilere göre yıllık ortalama yağışlı gün sayısı 75.1 gün olarak belirlenmiştir. (3.9) No.lu eşitlik kullanılarak çalışma alanı için yağış yoğunluğu 14.72 mm/gün olarak hesaplanmıştır. Yağışın zamansal dağılımı ve değerlerini gösteren Çizelge-3.32'den tüm alan için 0.4 değeri seçilmiştir.

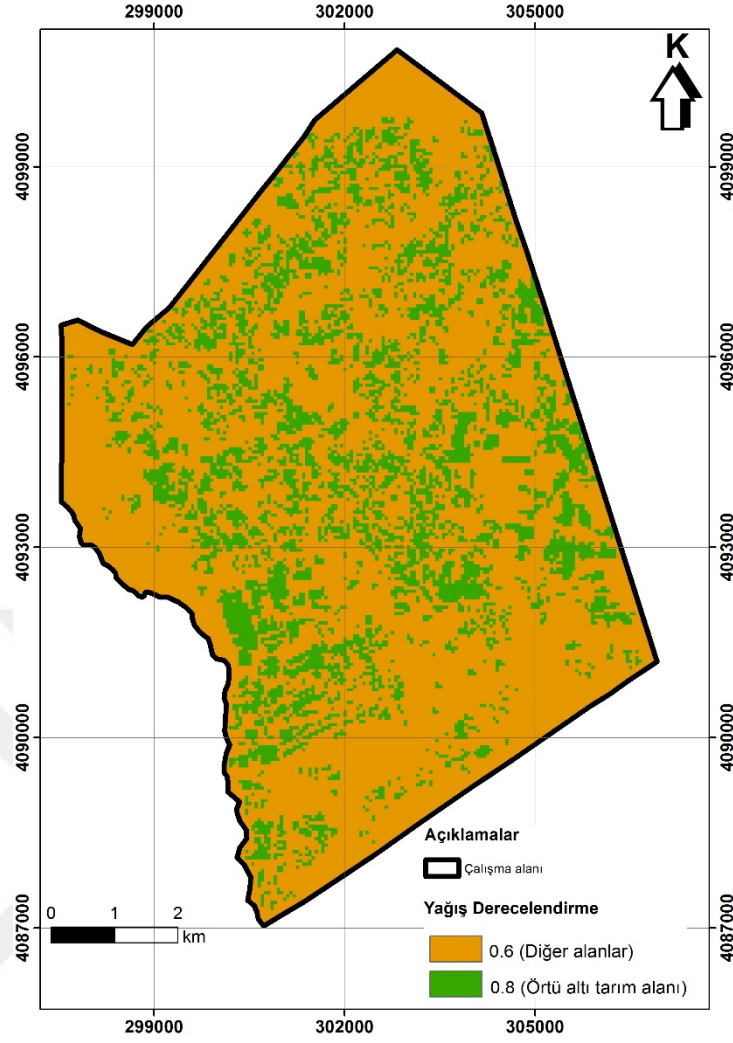
Çalışma alanı için belirlenen PQ ve PI değerlerinin toplanması ile elde edilen yağış haritası Şekil 3.29'de gösterilmektedir.

Çizelge-3.34. Yağışlı gün sayısı

Aylar >	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Yıllık toplam
Ort.yağışlı gün sayısı	12.8	10.8	8.8	6.7	5.3	2.5	0.6	0.6	1.8	5.6	7.5	12.1	75.1



Şekil 3.28. Yağış miktarı (PQ) haritası.



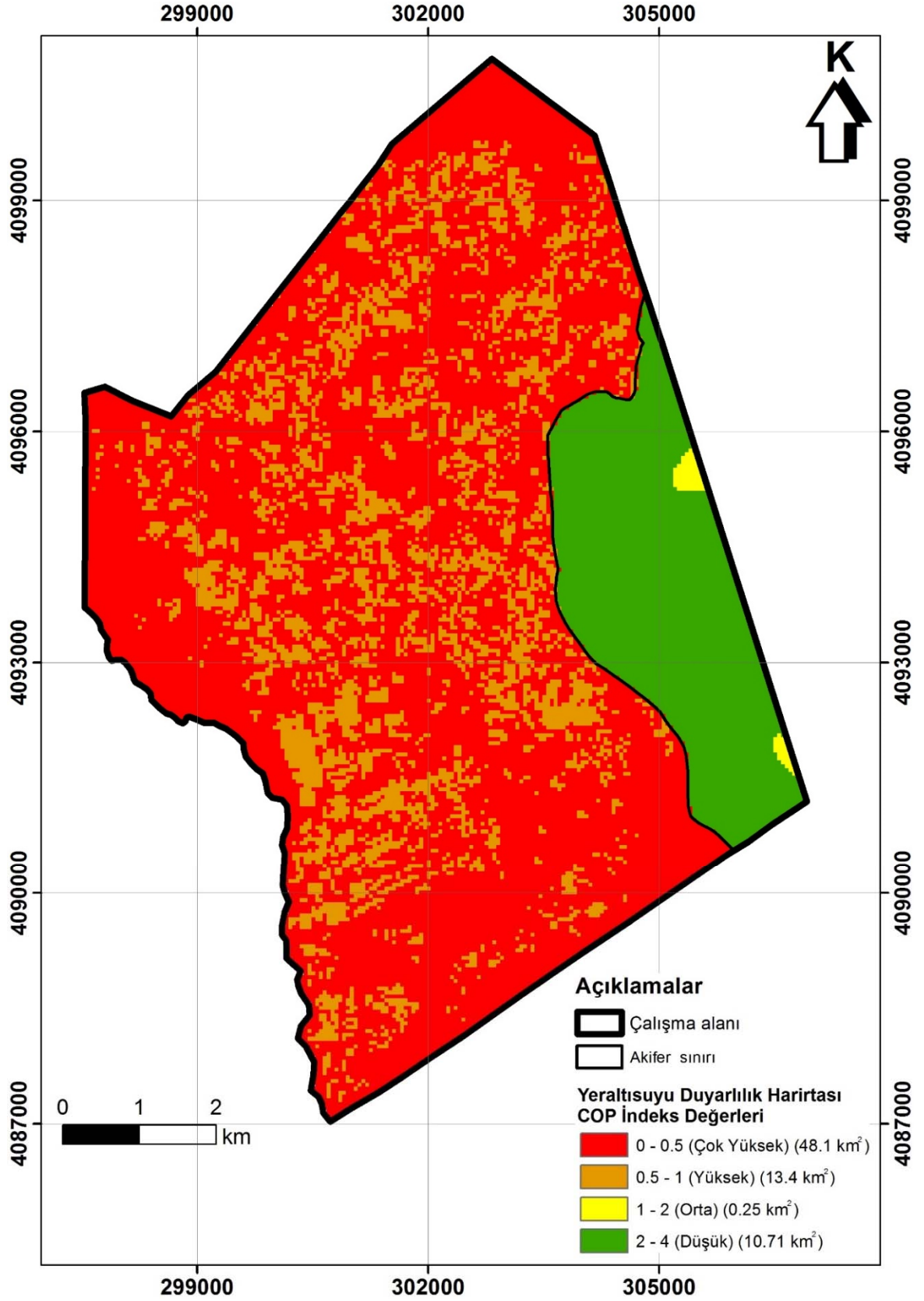
Şekil 3.29. P faktörü (yağış) haritası.

3.3.4. COP Yöntemi YAS Duyarlılık Haritası

COP yönteminde üretilen C, O, P Faktörü haritaları ArcGIS yazılımı “Raster Calculator” modülü ile çarpılarak COP Yöntemi YAS duyarlılık haritası (Şekil 3.30) üretilmiştir. Çizelge-3.35’de COP yönteminde kullanılan parametreler ve değerleri gösterilmektedir. Oluşturulan duyarlılık haritasına göre çalışma alanı düşük, orta, yüksek ve çok yüksek duyarlılık olarak belirlenmiştir. Düşük, orta, yüksek ve çok yüksek duyarlılık alanların tüm çalışma alanı içindeki sırası ile %15, %0, %19 ve %67 olarak belirlenmiştir. Çalışma alanının % 86’sı yeraltısuyu kirliliği açısından yüksek-çok yüksek duyarlılığa sahiptir. Konglomera akiferi olarak tanımlanan Plk ve Qb jeolojik birimlerinin tabaka kalınlıklarının traverten akifere göre düşük olması ve karstlaşmanın gelişmemiş olması nedeniyle YAS duyarlılığı Düşük ve Orta olarak belirlenmiştir. Traverten akifer içindeki arazi kullanımı (Örtü altı tarım alanı) duyarlılık sınıfının değişmesinde önemli rol oynamıştır.

Çizelge-3.35. COP yönteminde kullanılan parametreler ve değerleri

	Parametre	Açıklama/Değer	Derecelendirme
C	Yüzey özellikleri (Sf)	Traverten akiferi	0.5
		Konglomera akiferi	1
	Eğim (Sv)	Tüm alan	0.75
	Toprak örtüsü (Os)	Tüm alan	1
O	Litoloji (Ol)	Traverten akiferi	1
		Konglomera akiferi	40
	Tabaka indeksi (Ly)	Traverten akiferi	1
		Konglomera akiferi	2
	Örtü tabakası (O)	Traverten(Qa)	2
		Belkıs Konglomerası(Qb)	3
		Kurşunlu formasyonu (Kumtaşı, konglomera)(Plk)	5
P	Yağış miktarı (PQ)	Diğer alanlar	0.2
		Örtü altı tarım alanı	0.4
	Yağış yoğunluğu (PI)	Tüm alan	0.4
	Yağış (P)	Diğer alanlar	0.6
		Örtü altı tarım alanı	0.8



Şekil 3.30. COP yöntemi YAS duyarlılık haritası.

3.4. EPIK YÖNTEMİ

EPIK yöntemi, karstik akiferlerin YAS'ın kirliliğe duyarlılığının belirlenmesi amacıyla Doerflinger et. al. (1999) [49] tarafından İsviçre'de geliştirilmiştir. Dört ana parametreyi göz önünde bulunduran ağırlık-derecelendirme yöntemidir. Yöntem parametreleri Epikarst (E), Koruyucu örtü (P), Süzülme koşulları (I) ve Karst ağı gelişimidir (K). Her bir parametreye bir ağırlık katsayısı ve derecelendirme katsayısı tanımlanmıştır. Derecelendirme katsayısı ilgili ağırlık ile çarpılır ve toplamı EPIK duyarlılık indeksini belirler (Eşitlik 3.11).

$$F_p = \alpha \times E + \beta \times P + \gamma \times I + \delta \times K \quad (3.11.)$$

Eşitlikte; F_p : EPIK duyarlılık indeksi, α : Epikarst parametresi ağırlık katsayısı, E : Epikarst parametresi derecelendirme katsayısı, β : Koruyucu örtü parametresi ağırlık katsayısı, P : Koruyucu örtü derecelendirme katsayısı, γ : Süzülme koşulları ağırlık katsayısı, I : Süzülme koşulları derecelendirme katsayısı, δ : Karst ağı gelişimi ağırlık katsayısı, K : Karst ağı gelişimi derecelendirme katsayısı olarak verilmiştir.

EPIK duyarlılık indeksine göre farklı duyarlılık sınıfları tanımlanmıştır (Çizelge-3.36) EPIK duyarlılık indeksine göre indeks değeri arttıkça duyarlılık azalmaktadır. EPIK parametreleri için atanan standart ağırlık katsayıları Çizelge-3.37'de gösterilmiştir.

Çizelge-3.36. EPIK yöntemi koruma faktörü ve duyarlılık sınıfı

EPIK duyarlılık indeksi (F_p)	Duyarlılık Sınıfı
$F_p \leq 19$	Çok yüksek
$20 < F_p < 25$	Yüksek
$F_p > 25$	Orta
P4 varlığı	Düşük

Çizelge-3.37. EPIK parametreleri için standart ağırlık katsayıları

E	P	I	K
α	β	γ	δ
3	1	3	2

3.4.1. Epikarst (E)

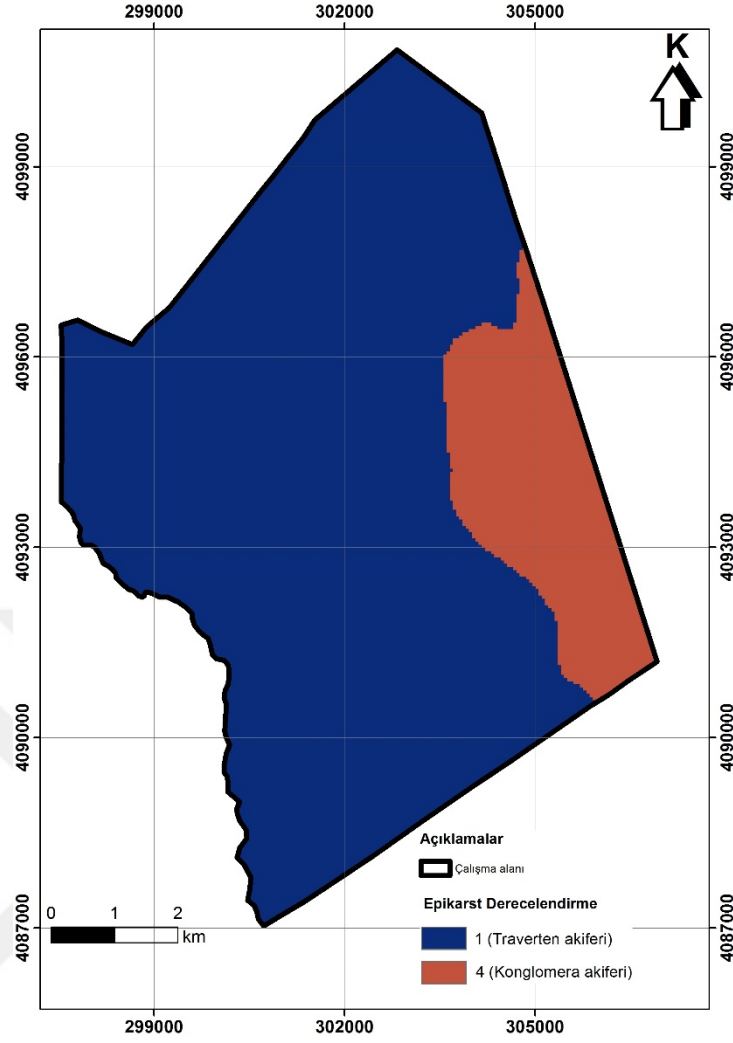
Epikarst parametresi yeraltısuyunun farklı karstlaşma süreçleri sonucunda depolanması veya çözünme kanalları ile hızla akışa geçme durumlarını dikkate alır. Karst akiferi üzerine yayılmış olan epikarst heterojen yapıda olabileceği için epikarst bölgelerini ayrıntılı sınıflama yapmak zordur. Bu nedenle de epikarst zonu dolaylı olarak kolayca haritalanabilen jeomorfolojik özelliklere göre karakterize edilmiştir [50].

Çizelge-3.38’de karst morfolojisi gözlemlerine dayanan epikarst parametresinin sınıfları ve derecelendirme katsayıları gösterilmektedir.

Çizelge-3.38. Epikarst parametresinin sınıfları ve derecelendirme katsayıları

Epikarst Parametresi		Açıklama	Derecelendirme katsayısı
Karst morfolojisi gözlemleri (epikarst eğilimi gösteren)	Çok iyi gelişmiş (E1)	Mağaralar, sığ delikler, düdenler, karen alanları, birikme alanları	1
	Orta düzeyde gelişmiş (E2)	Düden yapıları, uvalalar, kuru vadiler, kanyonlar, polyeler	3
	Az ya da bulunmayan (E3)	Drenaj alanının geri kalanı	4

Çalışma alanının jeolojik yapısı dikkate alınarak epikarst gelişimi belirlenmiştir. Buna göre çalışma alanının bulunduğu ATP’de yaygın olarak yüzeyleyen traverten (Qa), mağaralar ve düdenlerce zengin olduğundan E1 parametresi ile ilişkilendirilmiştir. Konglomera akiferinde ise epikarst gelişimi söz konusu olmadığından E3 parametresi ile tanımlanmıştır. Çalışma alanı için oluşturulan Epikarst derecelendirme haritası Şekil 3.31’de gösterilmiştir.



Şekil 3.31. Epikarst (E) derecelendirme haritası.

3.4.2. Koruyucu Örtü (P)

Koruyucu örtü, karst akiferinin üzerini kaplayan toprak ve Kuvaterner çökeller (moren, alüvyon, yamaç molozu, lös) ya da karstik olmayan tabakaları (kil, kumtaşı, marn) içeren jeolojik malzemedir [50]. Akiferin üzerinde bulunan vadoz zon, duyarlılığın değerlendirilmesinde önemli parametrelerden biridir. Toprak ve diğer jeolojik unsurlar, doku/yapı, kalınlık, organik madde içeriği, kil minarelleri ve hidrolik iletkenlik gibi parametrelerinden dolayı kirletici derişiminin sönümlenmesinde önemli bir yere sahiptir. Koruyucu örtü tabakası incelidikçe duyarlılık artacaktır. Koruyucu örtü kalınlığı ve hidrolik iletkenlik temel parametre olarak duyarlılık değerlendirilmesinde ele alınmaktadır. Havzalarda koruyucu örtü tanımlaması yapılırken jeolojik haritalar, hava fotoğrafları ve uydu görüntüleri kullanılarak toprağın varlığı ya da yokluğuna ilişkin bilgiler elde edilir. Çizelge-3.39'da koruyucu örtü kalınlıkları, hidrolik iletkenlikleri ve derecelendirme katsayıları verilmiştir.

Çizelge-3.39. Koruyucu örtü parametresinin sınıfları ve derecelendirme katsayıları

EPIK Yöntemi Parametresi	Açıklama	EPIK derecelendirme katsayısı
	A. Karbonatlı kayalar B. Düşük iletkenliği olan üzerinde olan toprak veya jeolojik birimler üzerindeki çok yüksek hidrolik iletkenlikli toprak pekişmemiş malzemeler	
Mevcut olmayan P1	0-20cm toprak örtüsü	20cm den daha ince düşük iletkenlikli jeolojik birimler 1
P2	20-100cm toprak örtüsü	20-100cm toprak/düşük hidrolik iletkenliği olan yapılar 2
P3	>100cm toprak örtüsü	>100cm toprak/düşük iletkenlikli jeolojik birimler 3
Mevcut P4		>8m çok düşük iletkenlikli jeolojik birim veya 1m toprağı ve 6m'den daha kalın çok düşük iletkenlikli jeolojik birim 4

Çalışma alanında bulunan traverten akifer, yoğun karstlaşma gelişimi gösterdiğinden üzerinde koruyucu örtü bulunmamaktadır. Alanda yüzeylenen konglomera akiferini oluşturan jeolojik malzemenin aşındığı ve koruyucu örtünün 20 cm'den az kalınlığa sahip olduğu kabul edilmiştir. Alanın tamamında koruyucu örtü için P1 parametresine karşılık gelen 1 değeri seçilmiştir. Oluşturulan harita tez metni içinde sunulmamıştır.

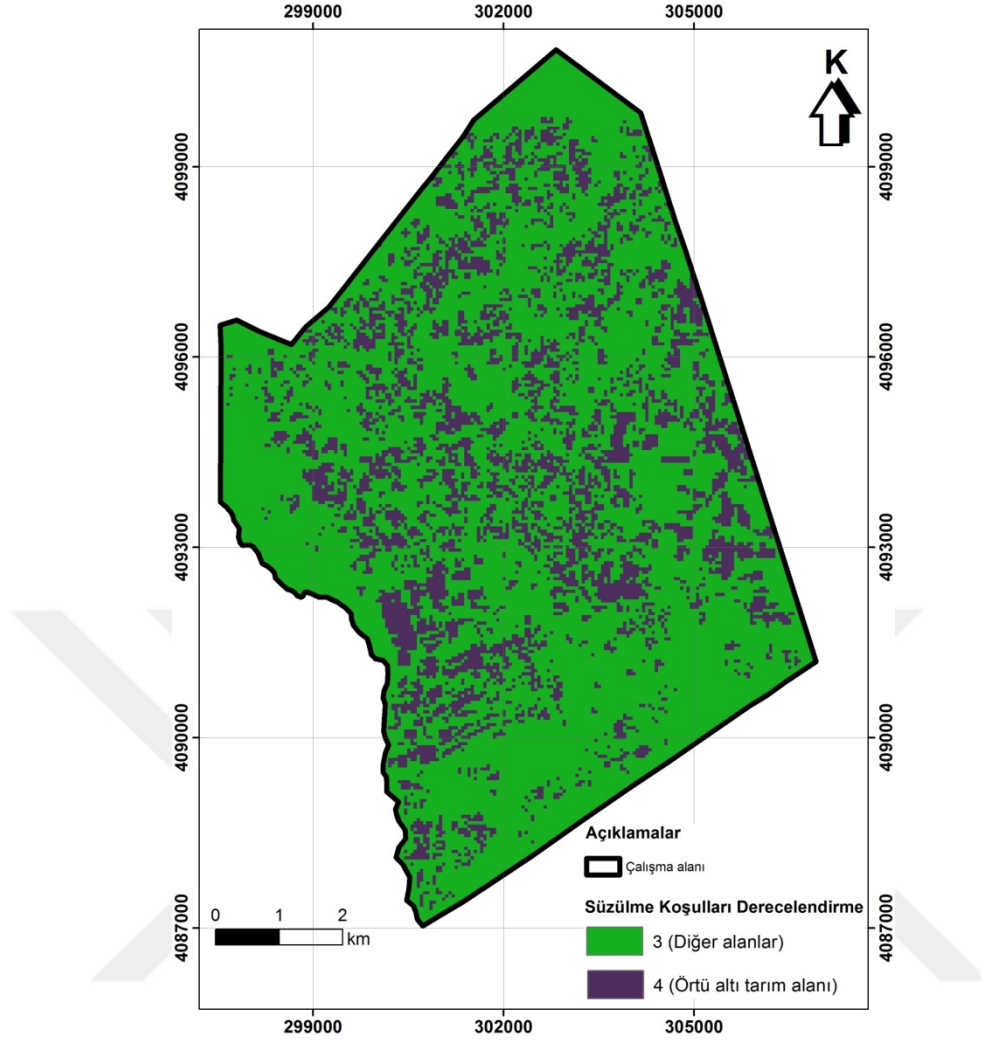
3.4.3. Süzülme Koşulları (I)

Süzülme koşulları, karst akiferlerinde noktasal beslenme bölgelerinin (düden, geçici ya da sürekli akarsular, yapay drenaj alanları) ve yaygın beslenme alanlarının belirlenmesine dayanır [50]. Noktasal ve yaygın beslenme farklı duyarlılık sonuçları oluşturacağından Çizelge-3.40'da verilen dört süzülme sınıfı tanımlanmıştır [49]. Karst morfolojisinin yanı sıra süzülme koşulları bitki örtüsü ve eğimi ile karakterize edilmiştir. Yüksek eğim ve zayıf bitki örtüsü yüksek duyarlılığa sebep olmaktadır.

Çizelge-3.40. Süzülme koşulları parametresinin sınıfları ve derecelendirme katsayıları

EPIK Yöntemi Parametresi	Açıklama	EPIK Derecelendirme Katsayısı
Noktasal Beslenim	Çok yıllık veya geçici düdenler–düdene su taşıyan geçici veya kalıcı akarsu yatak ve kıyıları - yapay drenaj alanları	1
I1		
I2	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
I3	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
I4	Su toplama alanının geri kalanı	4

Çalışma alanında süzülme koşulları için örtü altı tarım alanı ve diğer alanları gösteren harita kullanılmıştır. Bölgede yoğun olarak örtü altı tarım yapılmakta ve bu alanlarda süzülme doğrudan gerçekleşmediği için örtü altı tarım alanları için süzülme koşulları I4 parametresi ile tanımlanmıştır (Çizelge-3.40). Diğer alanlarda ise eğim <%9'dan daha düşük olduğu ve süzülme gerçekleştiği için süzülme koşulları için I3 parametresi seçilmiştir. Bu değerlere göre oluşturulan süzülme koşulları derecelendirme haritası Şekil 3.32'de gösterilmektedir.



Şekil 3.32. Süzülme koşulları (I) derecelendirme haritası.

3.4.4. Karst Ağı Gelişimi (K)

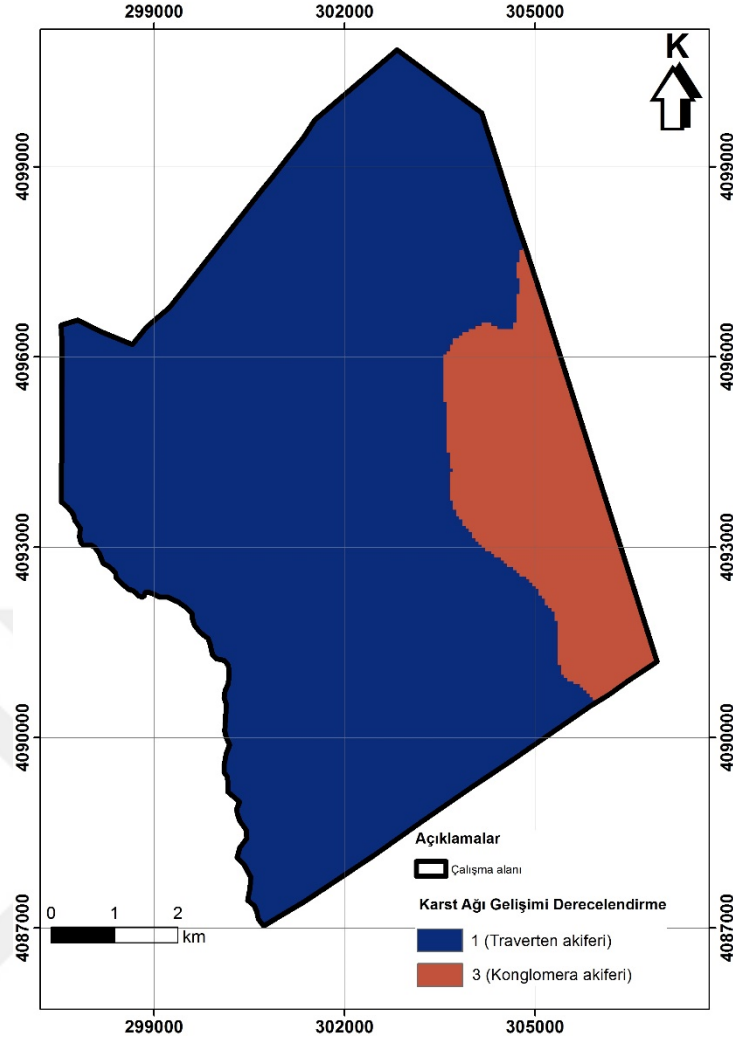
Karst ağı gelişimi parametresi, karst ağının varlığı ya da yokluğunun belirlenmesinin yanı sıra karst ağı gelişiminin derecesinin tanımlanması için önerilmiştir. Karst morfolojileri (mağaralar, aktif mağara sistemleri ve düdenler vb.) karst ağı gelişimi değerlendirilirken göz önünde bulundurulmaktadır. Herhangi bir karst ağı göstergesi bulunmuyorsa akım hidrografı analizleri, izleyici testleri, su kalitesindeki değişimin incelenmesi ve yorumlanması gibi yöntemlere başvurulmaktadır [50]. Akım hidrografları karst ağı gelişiminin ve akifer yapısının yorumlanmasına olanak sağlamaktadır. İzleyici testleriyle hesaplanan ortalama hız süresi, karst ağının varlığı ya da yokluğunun belirlenmesine olanak sağlamaktadır. Kaynak suyunun kalitesindeki değişim karst ağının varlığı ya da yokluğunun iyi bir göstergesidir.

Karst ağı gelişimi, suyun akım hızı üzerinde dolayısıyla da duyarlılığın belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Fakat karst ağlarının ayrıntılı haritalanması mümkün olmadığından yaygın olarak her havza için tek değer kullanılmaktadır [49]. Çizelge-3.41'de Karst ağı gelişiminin sınıfları ve derecelendirme katsayıları gösterilmektedir.

Çizelge-3.41. Karst ağı gelişimi sınıfları cv derecelendirme katsayıları

EPIK Yöntem Parametresi	Açıklama	EPIK Derecelendirme Katsayısı
İyi gelişmiş karstik ağ K1	Desimetre ile metre genişliğinde çözünme boşluklu, az dolgulu ve iyi bağlantılı olan iyi gelişmiş karstik ağ	1
Az gelişmiş karstik ağ K2	Desimetre ya da daha dar çaplı tıkanmış ya da az gelişmiş kanallar içeren az gelişmiş karst ağı	2
Karışık veya çatlaklı akifer K3	Gözenekli ortamın süzülme koşullarını kontrol ettiği sistemler ve çatlaklı karstlaşmamış kireçtaşı akiferleri dahil	3

Karst ağı gelişiminin belirlenmesi için çalışma alanının hidrojeoloji haritası dikkate alınmıştır. Epikarst parametresinde de belirtildiği gibi çalışma alanının bulunduğu ATP'de yaygın olarak yüzeylenen traverten, mağaralar ve düdenlerce zengin olduğundan Çizelge-3.41'den iyi gelişmiş karst ağını temsil eden K1 parametresi, akifer özelliği taşıyan ve karstik olmayan konglomera akiferi için de K3 parametresi seçilmiştir. Bu değerler doğrultusunda oluşturulan karst ağı gelişimi derecelendirme haritası Şekil 3.33'de gösterilmektedir.



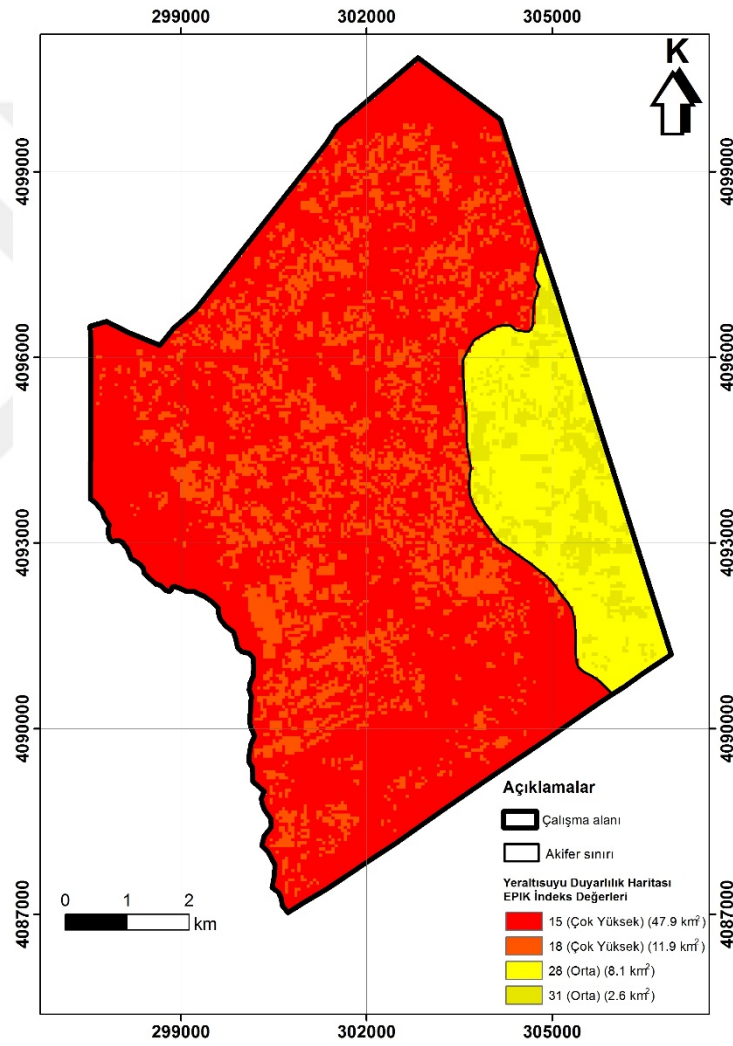
Şekil 3.33. Karst ağı gelişimi (K) derecelendirme haritası.

3.4.5. EPIK Yöntemi YAS Duyarlılık Haritası

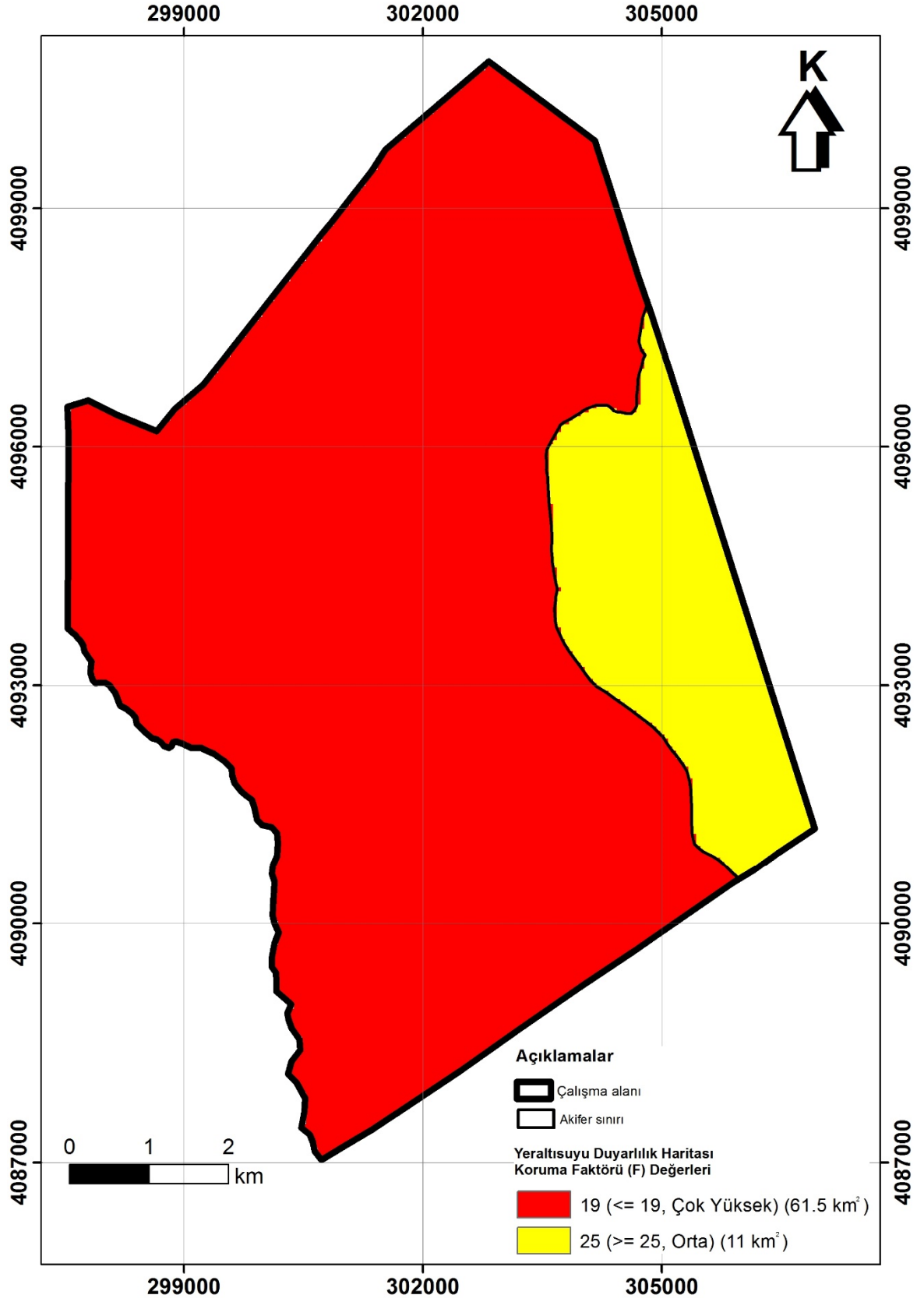
EPIK yönteminde kullanılan parametreler ve değerleri Çizelge-3.42’de gösterilmektedir. EPIK yönteminde üretilen E, P, I, K Faktörü haritaları ArcGIS yazılımı “Raster Calculator” modülü ile ağırlık katsayıları ile çarpılıp, toplanarak EPIK Yöntemi duyarlılık indeksi haritası (Şekil 3.34) üretilmiştir. EPIK Yöntemi duyarlılık indeksi haritası değerleri incelendiğinde arazi kullanımına (Örtü altı tarım alanı) bağlı olarak değişen 4 farklı indeks değeri hesaplanmıştır. Ancak yöntemin önerdiği sınıf aralıklarına göre YAS Duyarlılık Haritası (Şekil 3.35) “Orta” ve “Çok Yüksek” duyarlılık sınıflarından oluşmaktadır. Orta ve çok yüksek duyarlılıktaki alanların tüm çalışma alanı içindeki büyüklükleri sırası ile %15, ve %85 olarak belirlenmiştir.

Çizelge-3.42. EPIK yönteminde kullanılan parametreler ve değerleri

Parametre	Açıklama/Değer	Derecelendirme
Epikarst (E)	Traverten akiferi	1
	Konglomera akiferi	4
Koruyucu örtü (P)	Tüm alan	1
Süzülme koşulları (I)	Diğer alanlar	3
	Örtü altı tarım alanı	4
Karst ağı gelişimi (K)	Traverten akiferi	1
	Konglomera akiferi	3



Şekil 3.34. EPIK yöntemi YAS İndeks haritası



Şekil 3.35. EPIK yöntemi YAS duyarlılık haritası.

3.5. PI YÖNTEMİ

Farklı akifer türlerine de uygulanabilen PI yöntemi, karst akiferleri için özel olarak tasarlanmış parametreler içeren YAS'ın kirliliğe duyarlılığını haritalamak için geliştirilen CBS tabanlı bir yaklaşımdır [51].

Yöntemin ayrıntılı şemaları Avrupa Cost Action 620 de raporlanmıştır [46]. Duyarlılık 2 faktörün, P faktör ve I faktör değerinin çarpılması ile hesaplanmaktadır (Eşitlik 3.12). Cost 620'de [46] verilen PI yöntemi için duyarlılık sınıfları Çizelge-3.43'de verilmiştir.

$$\pi = P \times I \quad (3.12.)$$

Bu eşitlikte; π : PI duyarlılık indeksi, P: Koruyucu örtü parametresi, I: Süzülme koşulları parametresi olarak verilmiştir.

Çizelge-3.43. PI yöntemi için duyarlılık sınıfları

Duyarlılık indeksi			P haritası		I haritası	
	Tanım	π faktör	Tanım	P-faktör	Tanım	I-faktör
Kırmızı	Çok yüksek	0-1	Çok düşük	1	Çok yüksek	0-0.2
Turuncu	Yüksek	>1-2	Düşük	2	Yüksek	0.4
Sarı	Orta	>2-3	Orta	3	Orta	0.6
Yeşil	Düşük	>3-4	Yüksek	4	Düşük	0.8
Mavi	Çok düşük	>4-5	Çok yüksek	5	Çok düşük	1

3.5.1. Koruyucu Örtü (P)

Koruyucu örtü parametresi, yüzeyden yeraltısuyu tablasına kadar olan bütün katmanların (toprak, alt toprak, karstik olmayan kayaçlar ve karstik vadoz zon) koruyucu örtü özelliğini tanımlamaktadır. P parametresini tanımlayan eşitlik (Eşitlik 3.13) GLA yönteminin (Hölting et. al.1995) modifiye edilmiş versiyonu olup, toprağın eFC değeri (etkili alan kapasitesi) (Çizelge-3.44), alt toprak türü ve tane boyu dağılımı (Çizelge-3.45), net beslenim (Çizelge-3.46), litoloji (Çizelge-3.47), kayaçların kırık-çatlak yoğunluğu (Çizelge-3.48) alt parametreleri ile tanımlanmaktadır [46]. eFC değeri; bitkinin kullanabileceği su hacminin göstergesi olup, tane boyu, gözeneklilik, tane şekil-boyut homojenliği, sıkışma derecesi ve organik madde içeriğine bağlıdır. Genellikle kök derinliğine inen toprak profili için deneysel olarak belirlenmektedir [52]. Koruyucu örtü toplam puanına (Pts) göre 5 farklı sınıf tanımlanmıştır (Çizelge-3.49). P faktör sınıfları GLA yöntemi ile tanımlanan sınıflardan çok daha ayrıntılı olup koruyucu

örtünün daha iyi tanımlanmasına olanak sağlamaktadır. Koruyucu örtü puanı arttıkça ortamın kirliliğe karşı duyarlılığı azalmaktadır [46].

$$Pts = \left[T + \left[\sum_{i=1}^m Si \times Mi + \sum_{j=1}^n Bj \times Mj \right] \right] \times R + A \quad (3.13.)$$

Bu eşitlikte; Pts: Koruyucu örtü toplam puanı, T: Üst toprak, S: Alt toprak, M: Tabaka kalınlığı (m), B: Ana kaya, R: Net beslenim (mm/yıl), A: Artezyen basıncı olarak tanımlanmıştır.

$$B = L \times F \quad (3.14)$$

Bu eşitlikte; L: Litoloji, F: kırık-çatlak yoğunluğu olarak tanımlanmıştır.

Çizelge-3.44. Üst toprak (T) alt parametresi derecelendirmesi

1m derinliğe kadar eFC (mm)	T derecelendirme
> 250	750
> 200 - 250	500
> 140 - 200	250
> 90 - 140	125
> 50 - 90	50
< 50	10

Çizelge-3.45. Alt toprak (S) alt parametresi derecelendirmesi

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

Çizelge-3.46. Net Beslenim (R) alt parametresi derecelendirmesi

Net Beslenim (mm/y)	R derecelendirme
0 - 100	1.75
> 100 - 200	1.50
> 200 - 300	1.25
> 300 - 400	1
>400	0.75

Çizelge-3.47. Litoloji (L) alt parametresi derecelendirmesi

Litoloji	L derecelendirme
Kiltaşı, Silt, Marn, Silttaşı	20
Kumtaşı, Kuvarsit, Volkanik kayaç, plütonik, Metamorfik	15
Gözenekli kumtaşı, Gözenekli volkanik kayaç	10
Konglomera, Breş, Kireçtaşı, Dolomit, Jips	5

Çizelge-3.48. Kırık-çatlak yoğunluğu (F) alt parametresi derecelendirmesi

Kırık-çatlak yoğunluğu	F derecelendirme
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

Çizelge-3.49. Koruyucu örtü toplam puanı (Pts) ve P-faktör sınıfları

Pts puanı	Koruyucu örtü etkisi	P-faktör	Örnek
0-10	Çok düşük	1	0-2m çakıl
>10-100	Düşük	2	1-10m çakıllı kum
>100-1000	Orta	3	2-20m az siltli kum
>1000-10000	Yüksek	4	2-20m kil
>10000	Çok yüksek	5	>20m kil

PI yönteminde P parametresi beş alt sınıfa ayrılmış ve koruyucu örtü toplam puanının hesaplanması için Hölting et. al. (1995) tarafından Eşitlik 3.13 geliştirilmiştir [46]. Çalışma alanı için P parametresinin belirlenmesinde her bir alt parametre kendi içerisinde değerlendirilmiş, Çizelgelerden (Çizelge-3.44 - Çizelge-3.49) yararlanılarak koruyucu örtü toplam puanı (Pts) belirlenmiştir.

Çalışma alanında üst toprak (T) alt parametresinin belirlenmesi için kullanılan eFC değeri bitkinin kullanabileceği su hacminin göstergesi olup, deneysel yöntemlerle belirlenmektedir. eFC değerini belirlemek için gerekli ayrıntılı veri bulunmadığından arazi kullanımını göz önünde bulunduracak şekilde örtü altı tarım alanı ve diğer alanlar için aşağıdaki öngöründe bulunulmuştur. ATP topraklarında kurak dönemde su içeriği Başal (1999) [25] tarafından %10 olarak belirlenmiştir. Toprak kalınlığı ortalama 50 cm kabul edildiğinden su içeriği (eFC) 50 mm olarak belirlenmiş ve Çizelge-3.44'den T alt parametresi 10 olarak seçilmiştir. Örtü altı tarım yapılan alanlarda ise bitki sulama suyu ihtiyacına göre sulama yapıldığından toprağın suya doygunluğu görece daha yüksektir. Buna göre T alt parametresi 50-90 mm eFC değerine karşılık gelen 50 derecelendirme katsayısı seçilmiştir. Oluşturulan Üst toprak (T) derecelendirme

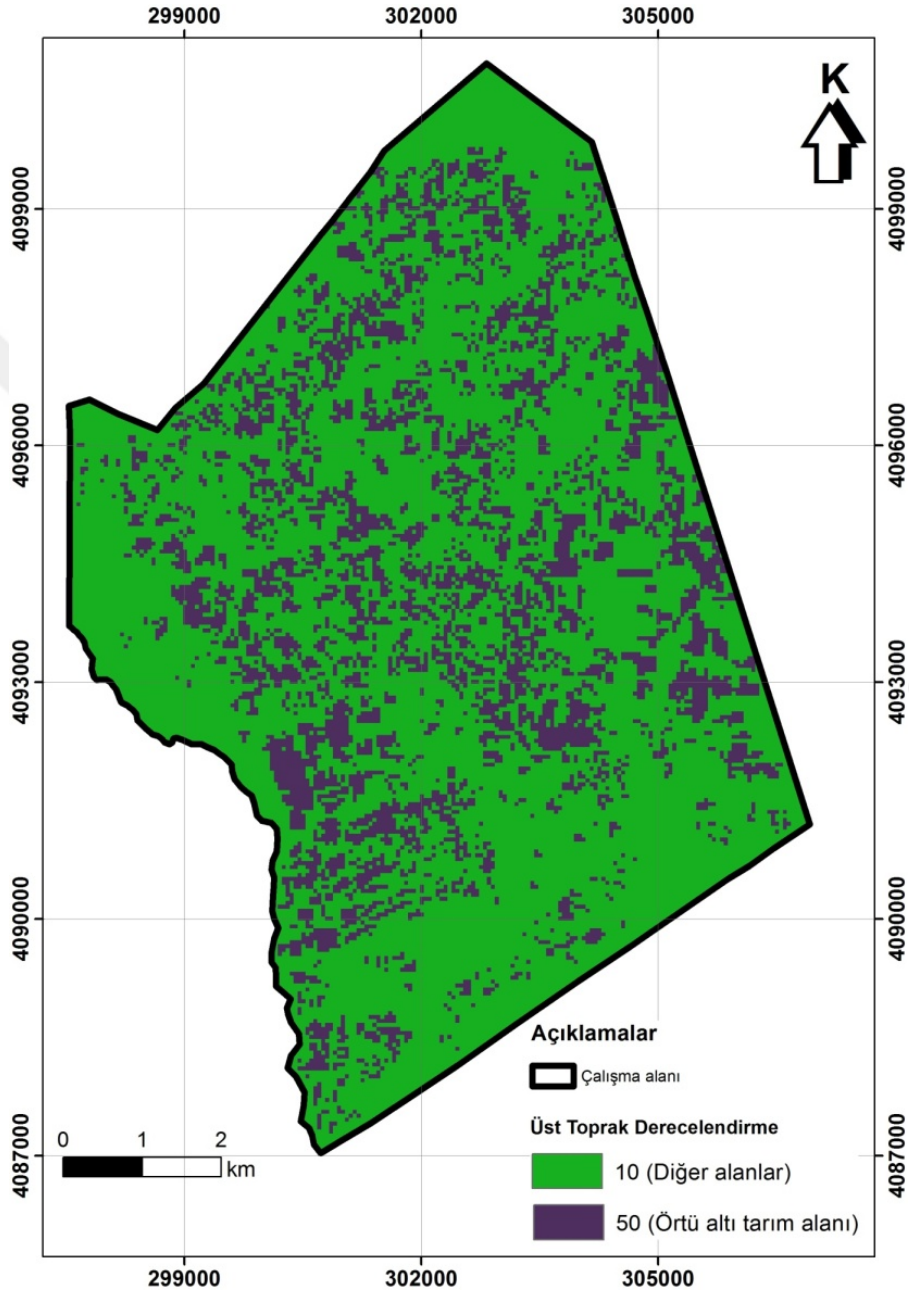
haritası Şekil-3.36'da gösterilmektedir. Çalışma alanında alt toprak tanımlaması yapılamadığından hesaplamalara dahil edilememiştir.

PI yönteminde net beslenme (R) alt parametresi DRASTIC yöntemi ile aynı şekilde değerlendirilmiştir. Altınova akiferinde 1970-2015 yılları verilerine göre ortalama net beslenme ortalama yağış ve gerçek buharlaşma-terleme farkından 334.9 mm/yıl olarak hesaplanmıştır. Çalışma alanının %24'ü örtü altı tarım alanı ile kaplı olduğundan çalışma alanındaki net beslenme örtü altı tarım yapılan ve diğer alanlar olarak ikiye ayrılmıştır. Örtü altı tarım alanı için net beslenme değeri 50 mm kabul edilmiştir. Örtü altı tarım alanları dışındaki alanlar için net beslenme 334.9 mm olarak doğrudan kullanılmıştır (bkz 3.1.4. Net Beslenimin (R) Belirlenmesi). Goldscheider et. al (2000) [51] tarafından belirlenen Çizelge-3.46'dan örtü altı tarım alanı için derecelendirme değeri 1.75, diğer alanlar için derecelendirme değeri 1 olarak seçilmiştir. Net beslenme için oluşturulan derecelendirme haritası Şekil-3.37'de gösterilmektedir.

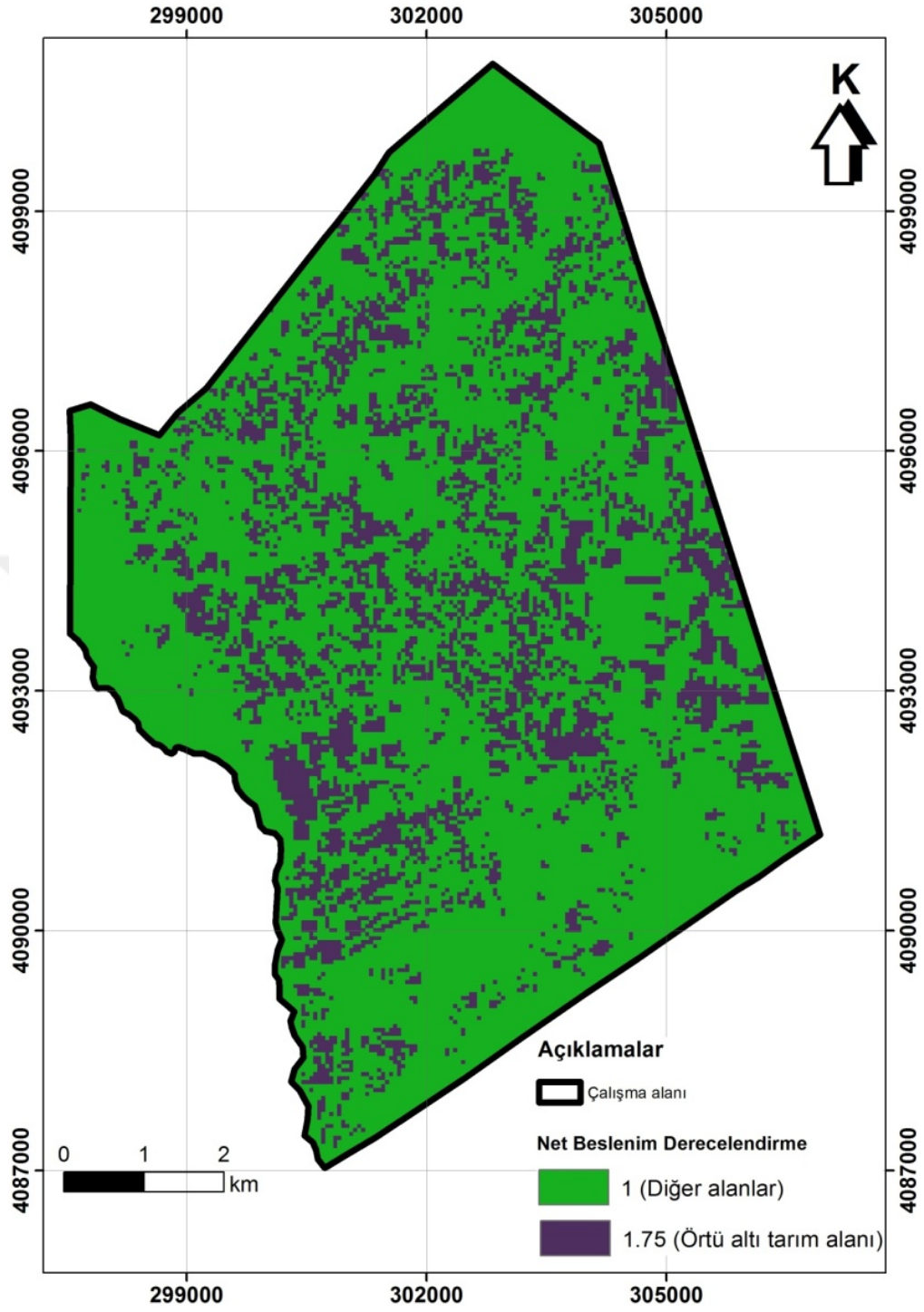
Hölting et al. (1995) tarafından belirlenen Eşitlik 3.14'te, litoloji (L) ve kırık-çatlak yoğunluğu (F) alt parametresi çarpılarak ana kaya (B) parametresi oluşturulmuştur. Litoloji (L) alt parametresinin belirlenmesinde bölgenin jeolojik yapısı dikkate alınmıştır. Çalışma alanında yüzeyleyen jeolojik birimler için (traverten (Qa), konglomera ve kumtaşı formasyonlarını temsil eden (Qb ve Plk) Çizelge-3.47'den L derecelendirme değeri 5 seçilmiştir. Kırık-çatlak yoğunluğu (F) alt parametresi belirlenirken traverten akiferi için, yoğun çatlaklı ve aşırı karstlaşmış olduğundan 0.3, konglomera akiferi çok az çatlaklı olduğu için (F) alt parametresi derecelendirme değeri 4 olarak seçilmiştir (Çizelge-3.48). L ve F derecelendirme haritaları ArcGIS yazılımı "Raster Calculator" modülünde çarpılarak Ana Kaya (B) haritası oluşturulmuştur (Şekil 3.38).

ATP için traverten (Qa) kalınlık haritası A.Özüş (1992)'in [23] tez çalışmasında belirtilen kuyulara ait traverten kalınlık bilgileri ve ATP platosunda DSİ [22] tarafından açılan kuyuların litoloji loglarında yer alan traverten kalınlık değerleri (Şekil 2.8) ArcGIS yazılımı ile "Topo to Raster" enterpolasyon yöntemi kullanılarak oluşturulmuştur. Qb ve plk birimlerinin kalınlıkları için Şenel (1997)'de [36] sunulan ortalama kalınlıklar (Qb 20, Plk 150 m) tanımlanmıştır. Çalışma tabaka kalınlığı (M) haritası Şekil 3.39'da verilmiştir. B (ana kaya) ve M (tabaka kalınlıkları) haritaları ArcGIS yazılımı "Raster Calculator" modülünde çarpılarak (Eşitlik 3.13) B*M haritası oluşturulmuştur (Şekil 3.40).

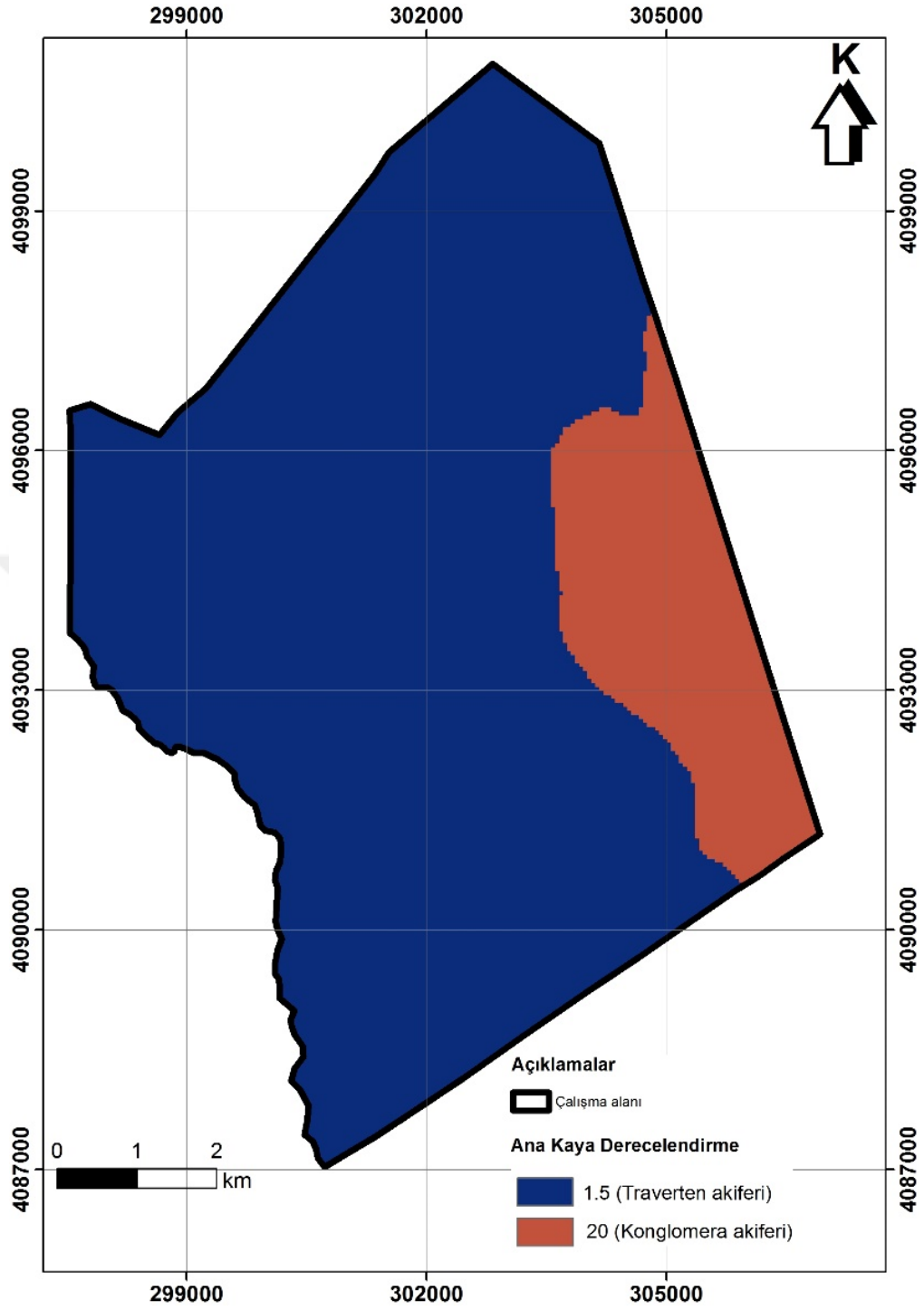
Çalışma alanını oluşturan akiferler serbest akifer özelliği gösterdiğinden artezyen (A) alt parametresi hesaplamaaya dahil edilmemiştir. Koruyucu Örtü Alt parametresini oluşturan haritalar Eşitlik 3.13'de tanımlandığı gibi hesaplanarak Koruyucu örtü toplam puanı (Pts) hesaplanmıştır. Pts puanı Çielge-3.49'da yer alan sınıflandırma kullanılarak P-faktör sınıf haritası oluşturulmuştur (Şekil 3.41).



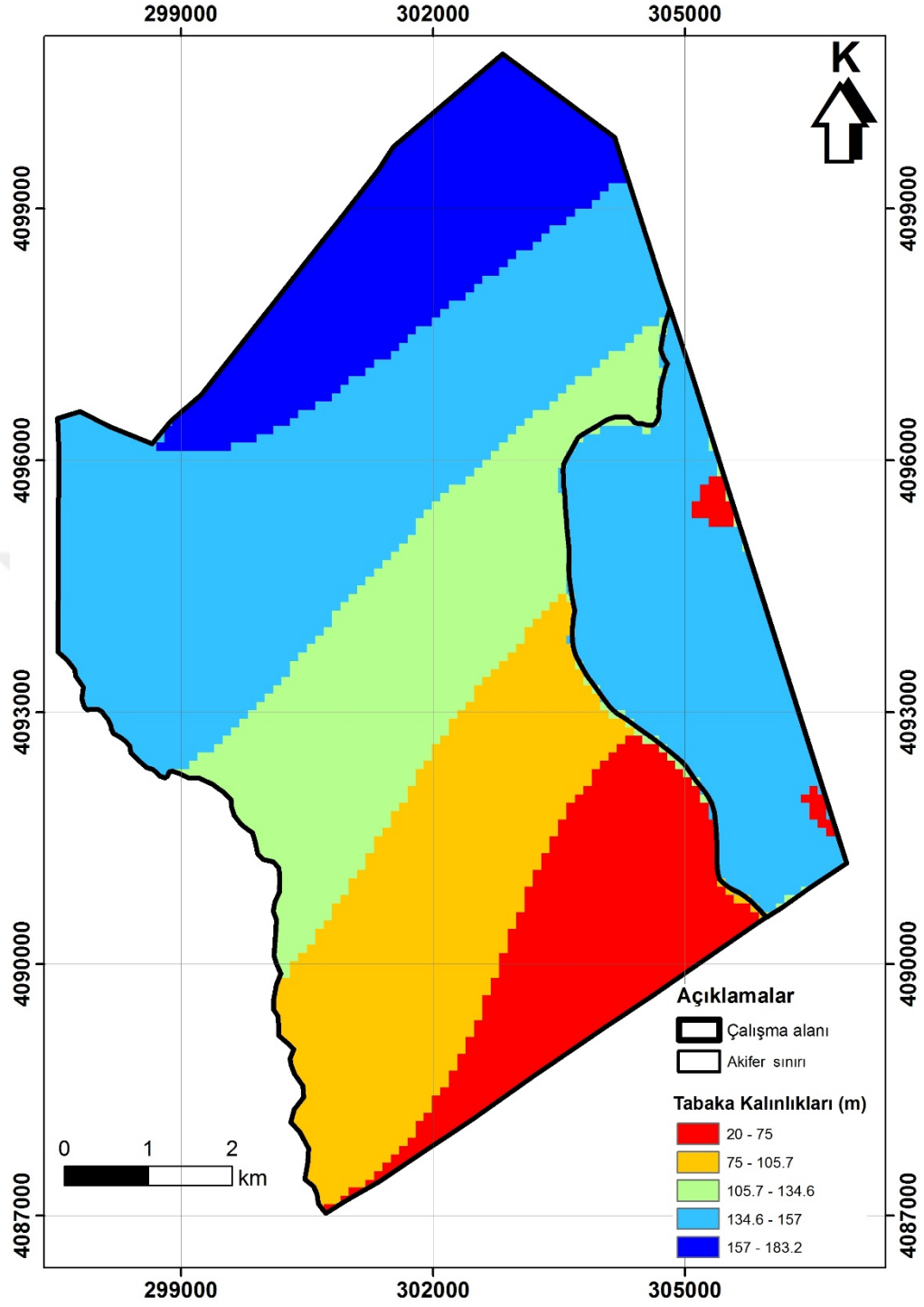
Şekil 3.36. Üst toprak (T) derecelendirme haritası.



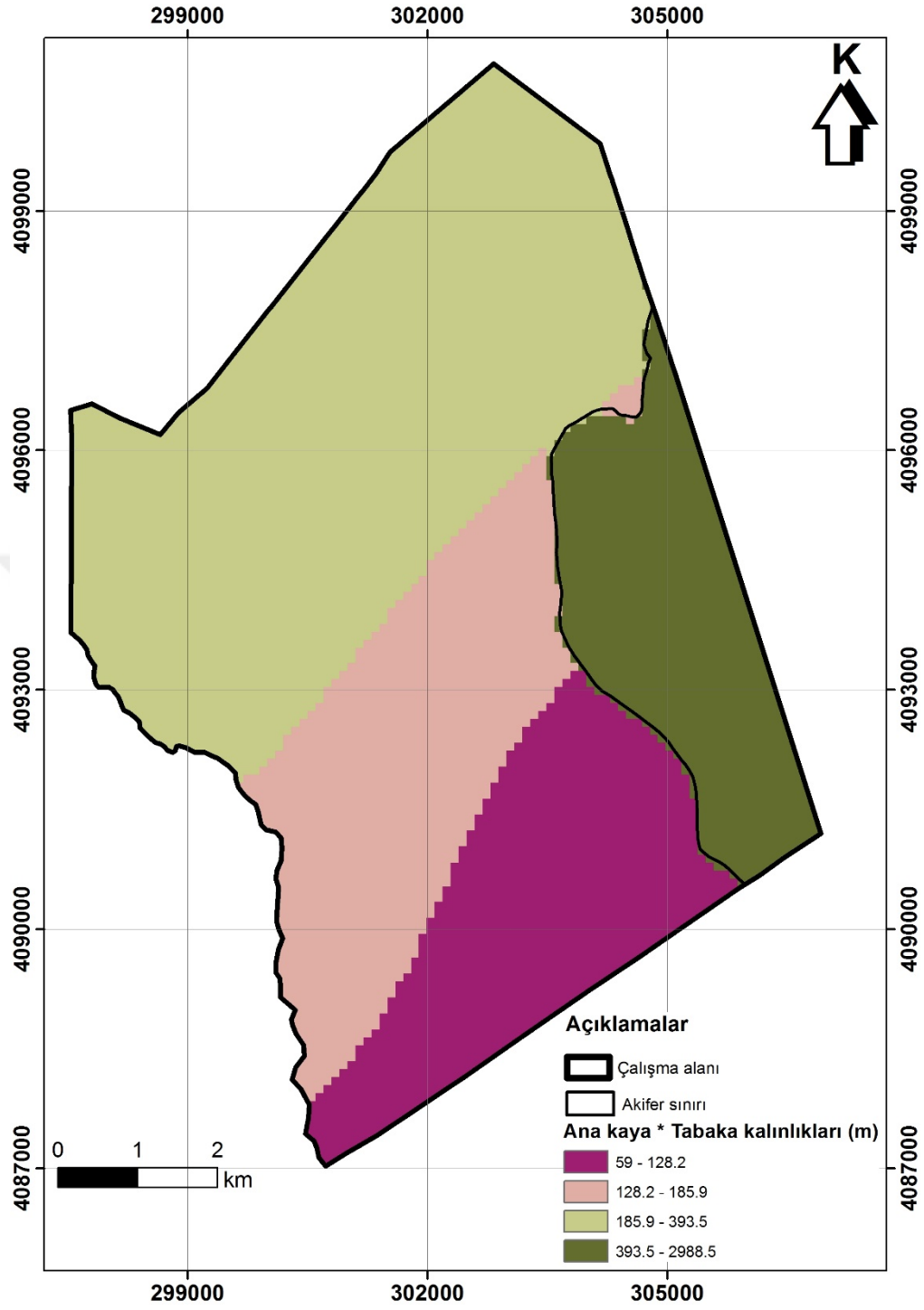
Şekil 3.37. Net beslenme (R) derecelendirme haritası.



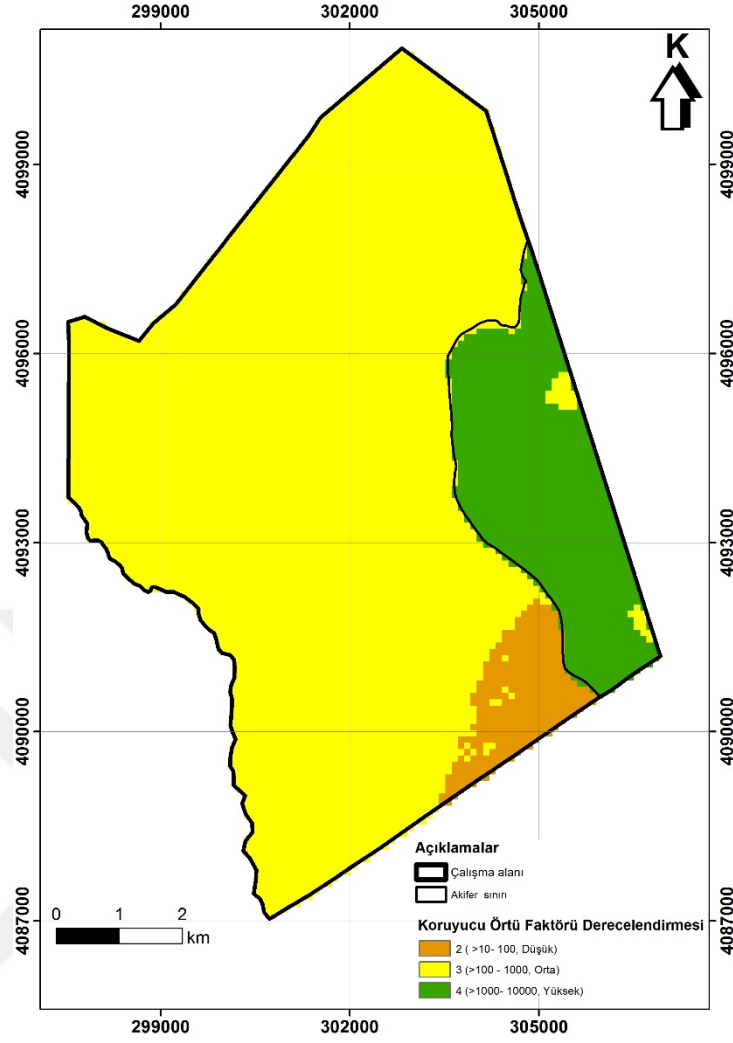
Şekil 3.38. Ana kaya (B) haritası.



Şekil 3.39. Tabaka kalınlığı (M) haritası.



Şekil 3.40. Ana kaya (B) * Tabaka kalınlığı (M) haritası.



Şekil 3.41. P-faktör (koruyucu örtü) sınıf haritası.

3.5.2. Süzülme koşulları (I)

Karstik alanlarda mevsimlik ya da sürekli akarsuyun düden ile doğrudan yeraltına iletilmesi ile koruyucu örtü ortadan kalkmaktadır. Bu nedenle karstik alanlarda koruyucu örtü varlığı ve yokluğu ile ilişkilendirilmiş, süzülme koşullarını tanımlayan I faktörü kullanılmaktadır. Süzülme düşük eğime sahip bir yüzeyde yoğun akış ile gerçekleşirse I faktörü 1'dir ve bu durum koruyucu örtünün tam verimle etkili olduğunu gösterir. Fakat koruyucu örtü karstlaşma ile yok olmuş ise I faktörü 0'dır. I parametresi yüzeyin eğimine ve yüzeysel akışa göre 0-1 arasında değişen değerler alır [51]. Süzülme koşulları toprak özellikleri, eğim ve bitki örtüsünü tanımlayan 3 aşamada belirlenmektedir. İlk aşamada yüzeysel akışın tanımlanabilmesi için doygun hidrolik iletkenlik katsayısı ve akifer tabanını oluşturan düşük geçirimli birimin derinliği dikkate alınmaktadır (Çizelge-3.50). İlk aşamada belirlenen yüzeysel akışın türü ikinci aşamada eğim ve akışın gerçekleştiği bölgeye (süzülme, yüzey ve yüzey altı) göre

yeniden tanımlanır (Çizelge-3.51). Son aşamada, ikinci aşamada belirlenen puan çalışma alanının karst akiferinin drenaj alanı içindeki konumuna göre yeniden sınıflanır (Çizelge-3.52) ve I faktör (Süzülme koşulları) sınıfı elde edilmiş olur.

Çizelge-3.50. Yüzeysel akışın belirlenmesi

Doygun hidrolik iletkenlik katsayısı (m/s)	Düşük geçirimli tabakanın derinliği		
	<30 cm	30-100	>100cm
$>10^{-4}$	D	C	A
$>10^{-4}-10^{-5}$	D	B	A
$>10^{-5}-10^{-6}$	E	E	E
$<10^{-6}$	F	F	F

Çizelge-3.51. I' faktörünün belirlenmesi

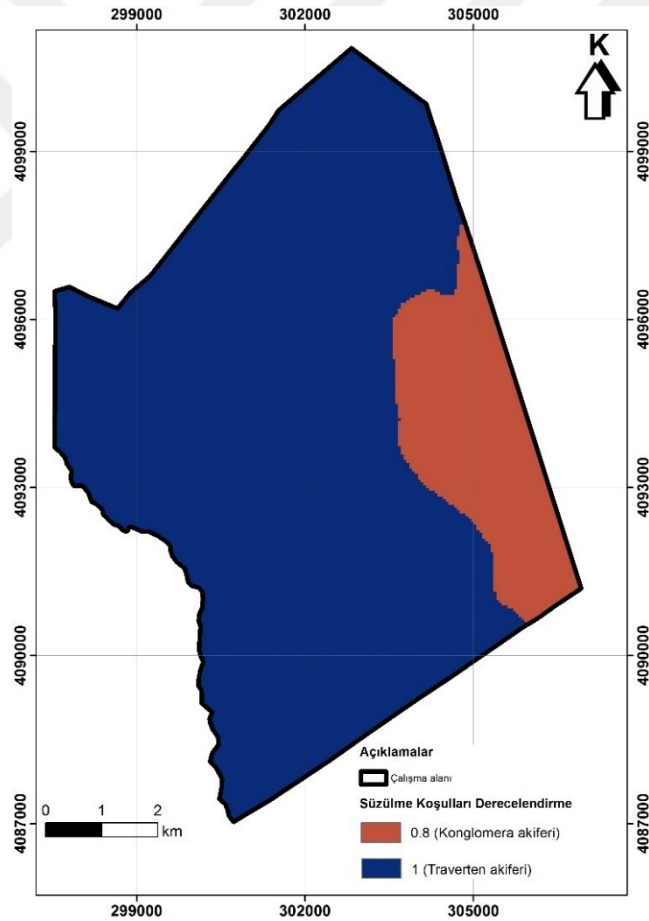
Arazi kullanımı: Orman				
Baskın akış süreci		Eğim		
		<3.5%	3.5-27	>27%
Süzülme	A	1	1	1
Yüzey altı akış	B	1	0.8	0.6
	C	1	0.6	0.6
Yüzeysel akış	D	0.8	0.6	0.4
	E	1	0.6	0.4
	F	0.8	0.4	0.2

Arazi kullanımı: Tarla/Çayır				
Baskın akış süreci		Eğim		
		<3.5%	3.5-27	>27%
İnfiltrasyon	A	1	1	0.8
Yüzey altı akış	B	1	0.6	0.4
	C	1	0.4	0.2
	D	0.6	0.4	0.2
Yüzeysel akış	E	0.8	0.4	0.2
	F	0.6	0.2	0

Çizelge-3.52. I faktörünün belirlenmesi

Su toplama havzasının özellikleri		I faktör					
		0	0.2	0.4	0.6	0.8	1
a	Düden, yeraltı nehirlerine 10m uzaklıkta	0	0	0	0	0	0
b	Düden, yeraltı nehirlerine 100m uzaklıkta	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1
c	Yeraltı nehrinin beslenme alanı içinde	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1
d	Karstik bölge içinde boşalım	0.4	0.6	0.8	1	1	1
e	Karstik bölge dışında boşalım	1	1	1	1	1	1

PI metodunun I faktör (süzülme koşulları) parametresinin belirlenmesi için Çizelge-3.50 ve Çizelge 3-52’de tanımlanan değerler kullanılmıştır. Birinci aşama olan baskın yüzeysel akış süreci belirlenirken çalışma alanının jeolojik yapısı dikkate alınmıştır. Çalışma alanında yüzeyleyen traverten ve konglomera akiferlerini oluşturan jeolojik birimlerin kalınlıkları 100 cm ‘den büyük olduğu için hidrolik iletkenlik katsayılarına göre tanımlama yapılmıştır (Çizelge-3.50). Buna göre baskın yüzeysel akış parametresi traverten akiferinde A değerini alırken konglomera akiferi için E değeri seçilmiştir. Çalışma alanında eğim en fazla 9⁰ olduğu için traverten için eğim derecelendirmesi 1 diğer birimler için (Plk, Qb) 0.4 derecelendirme değeri seçilmiştir (Çizelge-3.51). I faktörü belirlenirken çalışma alanının boşalımının karstik ATP içine olduğu düşünülerek traverten akifer için 1 derecelendirme değeri, konglomera akiferi için 0.8 derecelendirme değeri seçilmiştir. I faktör sınıf haritası Şekil 3.42’de gösterilmektedir.



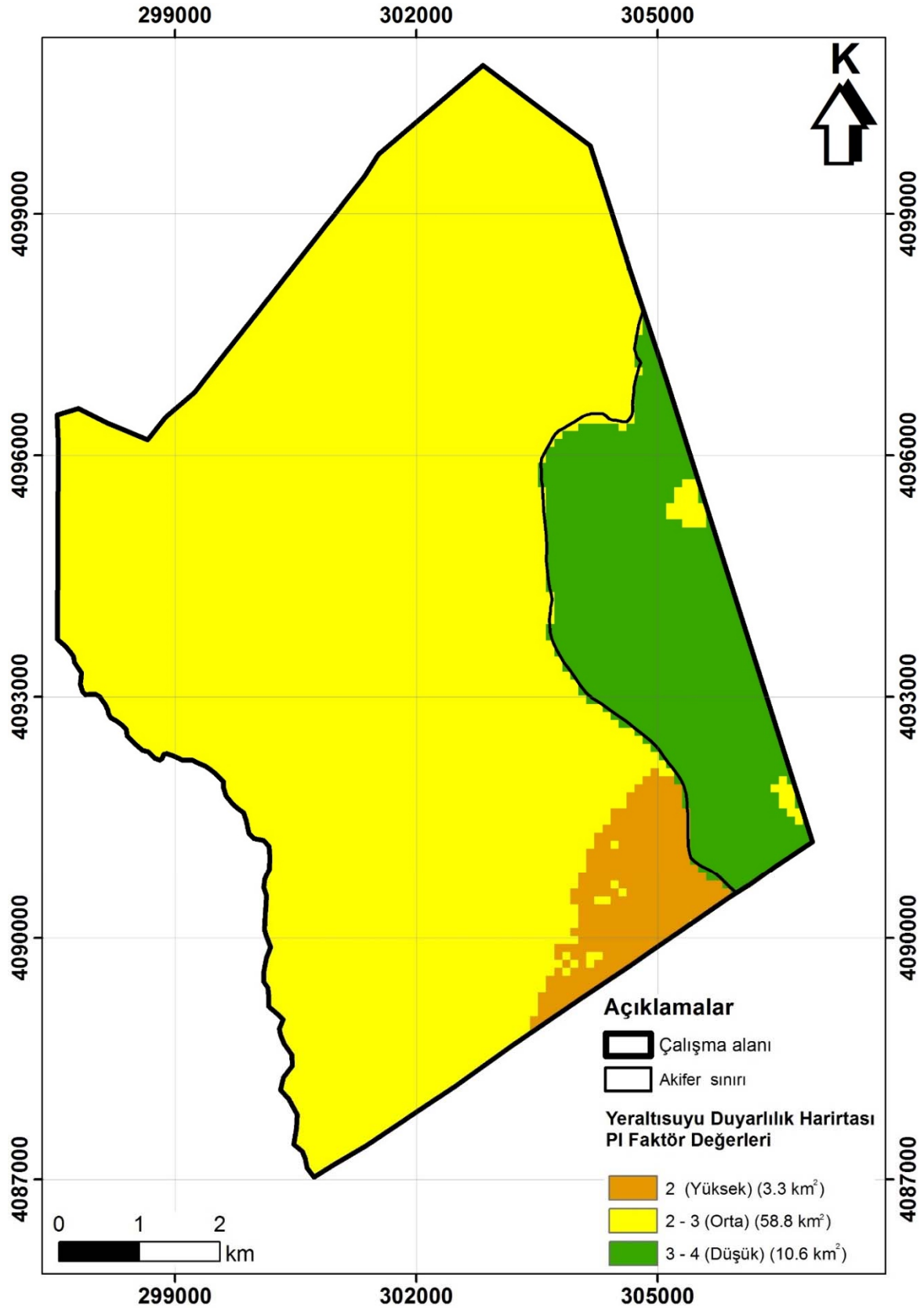
Şekil 3.42. I faktör (süzülme koşulları) sınıfı haritası.

3.5.3. PI Yöntemi YAS Duyarlılık Haritası

PI yönteminde üretilen, P ve I Faktörü haritaları ArcGIS yazılımı “Raster Calculator” modülü ile çarpılarak (Eşitlik-3.35) PI Yöntemi YAS duyarlılık haritası (Şekil 3.43) üretilmiştir. Çizelge-3.53’de PI yönteminde kullanılan parametreler ve değerleri gösterilmektedir. Oluşturulan YAS duyarlılık haritasına göre çalışma alanı düşük, orta ve yüksek duyarlılık olarak belirlenmiştir. Düşük, orta ve yüksek duyarlılık alanların tüm çalışma alanı içindeki büyüklükleri sırası ile %15, %80 ve %5 olarak belirlenmiştir. Altınova akiferi YAS duyarlılığının belirlenmesinde kullanılan diğer yöntemlerden (DRASTIC, SINTACS, COP, EPIK) farklı olarak PI yönteminde yüksek duyarlılığa sahip alanlar toplam alanın %5’ini oluşturmaktadır. Çalışma alanında uygulanan diğer yöntemlerde yüksek-çok yüksek duyarlılığa sahip alanlar %75-95 aralığında iken, PI yönteminde %5 değerini almıştır. PI Yöntemi YAS duyarlılık haritası (Şekil 3.43) incelendiğinde yüksek duyarlılığa sahip alanın traverten akiferinin en düşük kalınlıklı bölgesi olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum PI yönteminde kullanılan tabaka kalınlığının P faktör sınıfında (koruyucu örtü) önemli rolü olduğunu göstermektedir.

Çizelge-3.53. PI yönteminde kullanılan parametreler ve değerleri

	Parametre	Açıklama/Değer	Derecelendirme
P	Üst toprak (T)	Diğer alanlar	10
		Örtü altı tarım alanı	50
	Net beslenim (R)	Diğer alanlar	1
		Örtü altı tarım alanı	1.75
	Litoloji (L)	Tüm alan	5
		Traverten akiferi	0.3
	Kırık- çatlak yoğunluğu (F)	Konglomera akiferi	4
		Traverten akiferi	1.5
	Ana kaya (B)	Konglomera akiferi	20
		Traverten akiferi	1
I	Süzülme koşulları (I)	Konglomera akiferi	0.8



Şekil 3.43. PI yöntemi YAS duyarlılık haritası.

4. YERALTISUYU DUYARLILIK HARİTALARININ KARŞILAŞTIRILMASI VE DOĞRULANMASI

4.1. Yeraltısuyu Duyarlılık Haritalarının Karşılaştırılması

Çalışma alanı için DRASTIC, SINTACS, COP, EPIK ve PI yöntemleri ile oluşturulan YAS duyarlılık haritaları 3. Bölümde ayrıntılarıyla açıklanmış, bu bölümde ise oluşturulan haritalar karşılaştırılmıştır. YAS duyarlılık haritaları düşük, orta, yüksek ve çok yüksek duyarlılık sınıflarından oluşmuştur. DRASTIC ve SINTACS yöntemlerinde duyarlılık indeks değerleri için yöntemde sınıf tanımlaması yapılmadığından alan için hesaplanan 120-199 indeks değerleri 4 sınıfa ayrılmıştır. SINTACS yönteminin yüksek değer aralığının kullanıldığı SINTACS-II haritasında düşük duyarlılık sınıfı tanımlanamamıştır. COP, EPIK ve PI yöntemlerinde ise yöntemce tanımlanan duyarlılık sınıfları kullanılmıştır. EPIK yönteminde çalışma alanı için düşük ve yüksek duyarlılık sınıfları, PI yönteminde ise çok yüksek duyarlılık sınıfı ile temsil edilecek alanlar bulunmamaktadır. Çizelge-4.1.'de yöntemlerin duyarlılık sınıflarının alanları verilmiştir. Toplam çalışma alanı 72.8 km² olup; DRASTIC yönteminde 53.6 km², SINTACS yönteminde 61.4 ve 69.5 km², COP ve EPIK yöntemlerinde 61.5 km², PI yönteminde ise 3.3 km² yüksek-çok yüksek duyarlılık olarak tanımlanmıştır.

Çizelge-4.1. YAS duyarlılık sınıflarına karşılık tanımlanan alanlar

Yöntem	Duyarlılık sınıfı (alan, km ²)			
	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek
DRASTIC	2.8	15.9	34.0	19.6
SINTACS-I	2.8	8.2	13.3	48.1
SINTACS-II	-	2.9	16.0	53.5
COP	10.7	0.3	13.4	48.1
EPIK	-	11	-	61.5
PI	10.6	58.8	3.3	-

Duyarlılık haritaları üretilirken kullanılan parametreler ve bu parametrelerin kullanıldığı yöntemler Çizelge-4.2'de değerlendirilmiştir. Değerlendirmeye göre yeraltısuyu derinliği ve hidrolik iletkenlik katsayısı parametreleri DRASTIC ve SINTACS yöntemleri için ayırt edici olurken, Yağış parametresi COP yönteminde, karst gelişimi parametresi EPIK yönteminde, kırık-çatlak yoğunluğu parametresi PI yönteminin parametresi olup, diğer yöntemlerde değerlendirmeye alınmamıştır. Vadoz zon/koruyucu örtü parametresi uygulanan bütün yöntemlerde kullanılmıştır.

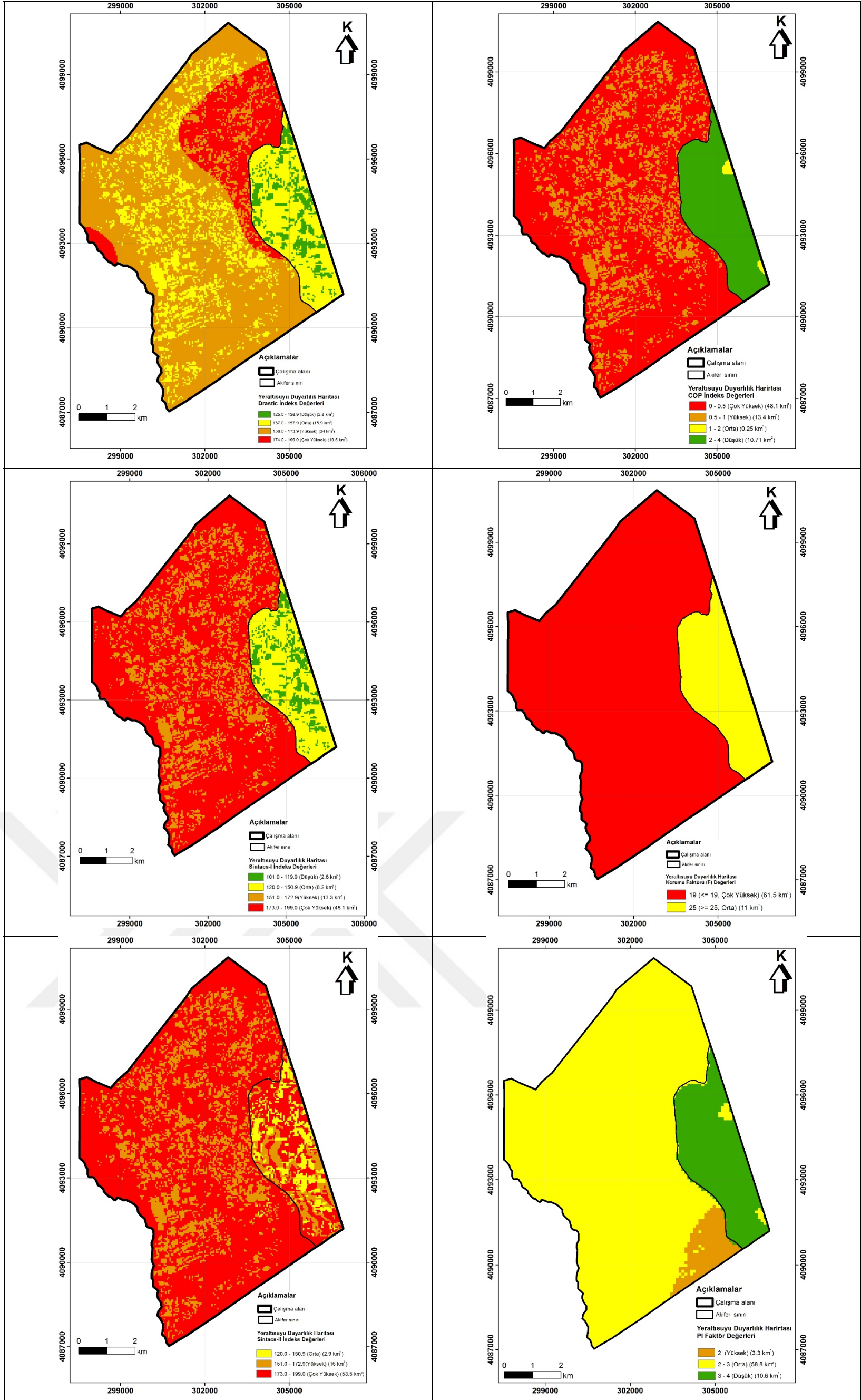
Çalışma alanı için oluşturulan YAS duyarlılık haritaları karşılaştırılırken kullanılan yöntemlerin benzerlikleri ve farklılıklarına dikkat edilmiştir. Buna göre; akifer ortamı/ litoloji tanımlaması tüm yöntemler için farklı duyarlılık sınıfı oluşturmuştur. Bu çalışmada arazi kullanımını dikkate alan yöntem modifikasyonu (tarım alanı- örtü altı tarım alanı) tüm yöntemlere uygulanmıştır. Bu modifikasyon arazi kullanımı nedeniyle farklılaşan net beslenme/etkin süzülme, yağış ve toprak türü (arazi kullanımı) parametrelerinin tanımlanmasıyla yöntemlere eklenmiştir.

Çizelge-4.2. Duyarlılık haritaları üretilirken kullanılan parametreler ve bu parametrelerin kullanıldığı yöntemler

	DRASTIC	SINTACS	COP	EPIK	PI
Yeraltısuyu derinliği	x	x			
Net beslenme/etkin süzülme	x	x		x	x
Akifer ortamı/litoloji	x	x	x		x
Toprak türü (arazi kullanımı)	x	x			
Eğim	x	x	x		
Vadoz zon/koruyucu örtü	x	x	x	x	x
Hidrolik iletkenlik katsayısı	x	x			
Yağış			x		
Karst gelişimi				x	
Tabaka indeksi/kalınlığı			x		x
Kırık çatlak yoğunluğu					x

3. bölümde ayrıntılı olarak sunulan YAS duyarlılık haritaları karşılaştırılmalı olarak Şekil 4.1’de verilmiştir. YAS duyarlılık haritalarında kullanılan parametrelerin aynı olduğu DRASTIC ve SINTACS yöntemleri için üretilen haritaların aynı olması beklenirken haritalar farklılık göstermiştir. Bu durumun nedeni DRASTIC yönteminden itibaren geliştirilen SINTACS yönteminin DRASTIC ile aynı parametreleri kullanmasına karşın yeraltısuyu derinliği ve net beslenme tanımlamasının DRASTIC yöntemine göre daha ayrıntılı olmasıdır. Bu yöntemde örtü altı tarım alanlarından gerçekleşen net beslenme daha düşük ve toprak örtünün koruyucu etkisi yüksek olduğundan görece düşük duyarlılık alanları oluşturmaktadır. COP yöntemi diğer yöntemlerden farklı olarak yağış, yağış yoğunluğu (yağışlı gün sayısı) ve litoloji kalınlık parametrelerini kullanmaktadır. Buna göre oluşturulan duyarlılık haritasındaki sınıflar temel olarak litoloji kalınlığına göre ayrılmıştır. Traverten akiferine göre daha kalın olan konglomera akiferi düşük duyarlılık alanı oluşurken, 20-180 m arasında

değişen kalınlıktaki traverten akiferi içinde farklı duyarlılık sınıfı oluşturulamamıştır. EPIK ve PI, karst ortamları için özel olarak tanımlanmış yöntemlerdir. EPIK yöntemi YAS indeks değerleri hesaplanırken dört farklı değer hesaplanmış olup, yöntemin tanımladığı sınıf aralıkları ile oluşturulan YAS duyarlılık haritası litoloji ayrımı ile belirlenen iki sınıftan oluşmuştur. Yöntemin kullandığı net beslenim ve koruyucu örtü parametrelerinin oluşturulan duyarlılık haritaları üzerinde bir etkisi gözlemlenmemiştir. PI yöntemi YAS haritası duyarlılık sınıflarında litoloji kalınlık bilgisi belirleyici olmuştur. Travertenin en ince olduğu kesim yüksek duyarlılıkta iken, traverten kalınlığı daha fazla olan alan orta duyarlılıktadır. Yöntemin kullandığı net beslenim parametresinin duyarlılık sınıfları üzerinde belirleyici etkisi bulunmamaktadır. COP, EPIK ve PI yöntemlerinde yöntemin tanımladığı duyarlılık sınıfları çalışma alanının az sayıda duyarlılık sınıfı ile tanımlanmasına neden olmuştur.



Şekil 4.1. YAS duyarlılık haritalarının karşılaştırılması.

4.2. YAS Duyarlılık Haritalarının Doğrulanması

Tez çalışması kapsamında Altınova akiferinde 5 farklı yöntem kullanılarak oluşturulan YAS duyarlılık haritalarının doğruluğunun kontrol edilmesi için sularda kirlilik oluşturan iyon ve iz elementlerin yeraltısuyundaki içeriklerine bakılmıştır. Bu amaçla 2016 yılı Mayıs ayında yapılan arazi çalışmasında alanda 26 örnekleme noktasından majör iyon kimyası ve iz element içeriğinin belirlenmesi için yeraltısuyu örneği alınmıştır.

Altınova bölgesinde temel geçim kaynağı tarım olup, özellikle örtü altı tarım alanlarında sulama suyu ihtiyacı yeraltısuyundan sağlanmaktadır. Bölgede içme suyu şebekesinin olmadığı kısımlarda yeraltısuyu içme suyu olarak da kullanılmaktadır. Bu nedenle alınan örneklerin analiz sonuçları sulama suyu ve içme suyu limitleri için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Çalışmada sulama suyu için Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO)'nın belirlediği limit değerler [53] kullanılırken, içme suyu için Sağlık Bakanlığı'nın İnsani Tüketim Amaçlı Sular Yönetmeliği'nde [54] belirtilen limit değerler kullanılmıştır.

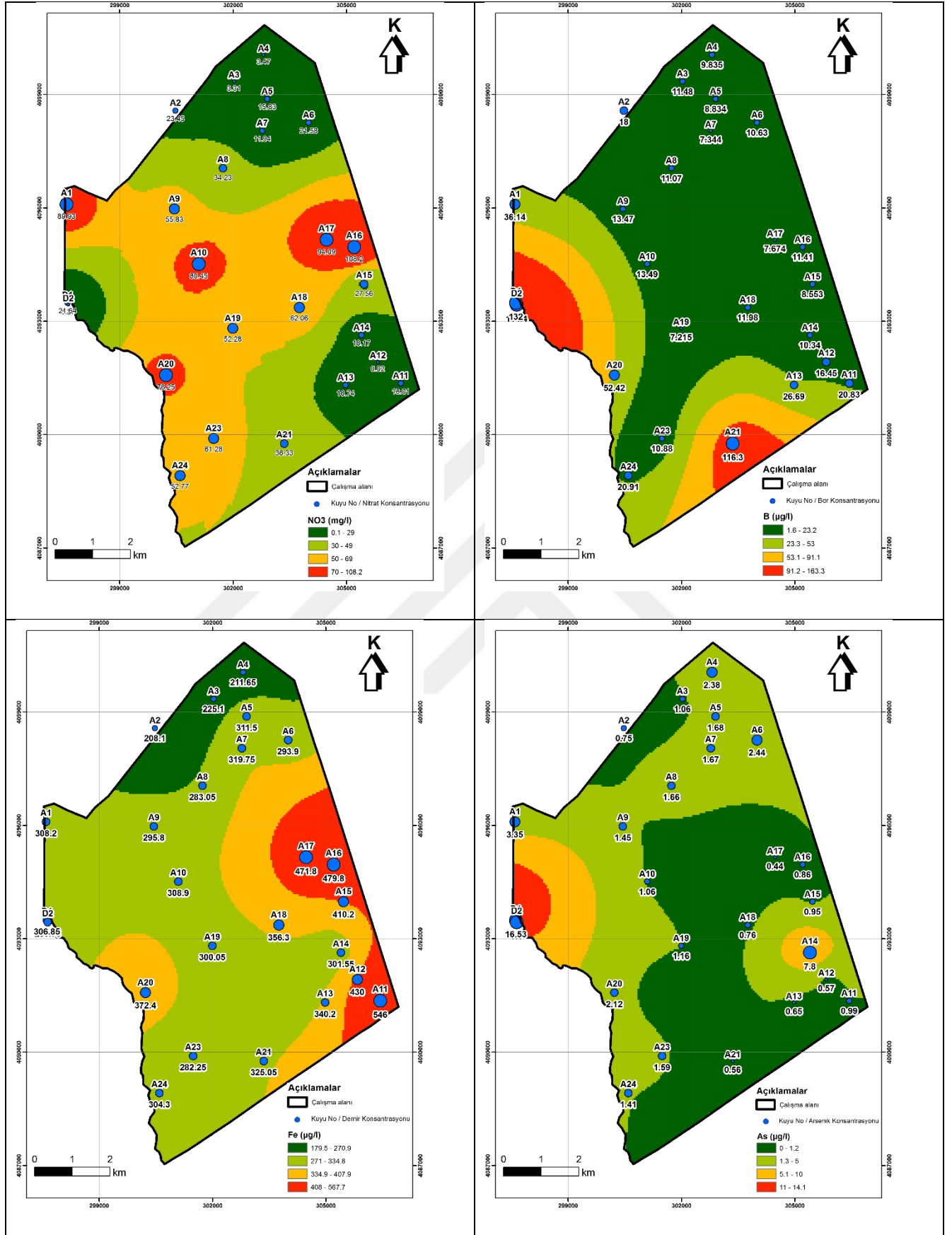
Çalışma kapsamında alınan örneklerin sulama ve içme suyu limit değerlerine ilişkin değerlendirmeler yapılmıştır. FAO'nun belirlediği sulama suyu limit değerlerine göre Altınova akiferinde limit değerini sadece Nitrat (NO_3^-) iyonu aşmaktadır. FAO sulama suyu limitlerine göre NO_3^- iyonun suda 0-10 mg/l düzeyinde olup, 30 mg/l'den fazla olması kullanım kısıtlama derecesi oluşturmaktadır [53]. Altınova akiferinden alınan 16 örnekte NO_3^- iyon miktarı 30 mg/l üzerindedir (Çizelge 4-3). Sağlık Bakanlığı'nın İnsani Tüketim Amaçlı Sular Yönetmeliği'nde [54] belirlenen içme suyu limitlerine göre içme sularında NO_3^- iyon miktarı 50 mg/l, Arsenik (As) 10 µg/l, Bor (B) 1 µg/l, Demir (Fe) 200 µg/l düzeyini aşmamalıdır. Çizelge 4.3'de içme-kullanma ve sulama suyu için limit değerler ve analiz sonuçları verilmiştir (limit değeri aşan örnekler sarı renkle işaretlenmiştir). Buna göre Bor ve Demir elementleri örneklenen tüm noktalarda limit değerinin üzerindedir. İçme suyu limitlerine göre NO_3^- iyon miktarı 50 mg/l olup, 12 noktada bu değerinin üzerindedir. Arsenik değeri ise analiz sonuçlarına göre sadece D1 ve D2 olarak gösterilen Düdenbaşı kaynağı ve kaynak yakınında bulunan rekreasyon amaçlı kullanılan kuyuda limit değeri üzerinde ve limit değere yakındır.

Çizelge-4.3. İçme-kullanma ve sulama suları için limit değerler ve analiz sonuçları

İçme-Kullanma suyu limitleri					Sulama suyu limiti	
örnek	NO ₃ ⁻	As	B	Fe	örnek	NO ₃ ⁻
limit değer	50 mg/l	10 µg/l	1 µg/l	200 µg/l	limit değer	30 mg/l
A1	899.30	3.35	36.14	308.20	A1	899.30
A2	234.50	0.75	18.00	208.10	A2	234.50
A3	3.31	1.06	11.48	225.10	A3	3.31
A4	3.47	2.38	9.83	211.65	A4	3.47
A5	15.83	1.67	8.83	311.50	A5	15.83
A6	21.58	2.44	10.63	293.90	A6	21.58
A7	11.94	1.67	7.34	319.75	A7	11.94
A8	34.23	1.66	11.07	283.05	A8	34.23
A9	55.83	1.45	13.47	295.80	A9	55.83
A10	80.45	1.06	13.49	308.90	A10	80.45
A11	18.01	0.99	20.83	546.00	A11	18.01
A12	0.02	0.57	16.45	430.00	A12	0.02
A13	18.74	0.65	26.69	340.20	A13	18.74
A14	18.17	7.80	10.34	301.55	A14	18.17
A15	27.55	0.95	8.55	410.20	A15	27.55
A16	108.20	0.86	11.41	479.80	A16	108.20
A17	94.09	0.44	7.67	471.80	A17	94.09
A18	62.06	0.76	11.98	356.30	A18	62.06
A19	52.28	1.16	7.21	300.05	A19	52.28
A20	76.25	2.12	52.42	372.40	A20	76.25
A21	36.33	0.56	116.30	325.05	A21	36.33
A23	61.28	1.59	10.88	282.25	A23	61.28
A24	52.77	1.41	20.91	304.30	A24	52.77
D1	216.41	16.53	132.00	306.85	D1	216.41
D2	52.67	9.10	184.40	286.75	D2	52.67

(Sarı ile boyalı değerler limitin üzerindeki değerleri göstermektedir.)

Çalışma kapsamında içme-kullanma ve sulama suyu için kirlilik riski oluşturan iyon ve iz elementlerin dağılım haritaları oluşturulmuş (Şekil 4.2) ve bu haritalar limit değerlere göre sınıflandırılarak limit değerleri aşan alanlar belirlenmiştir (Çizelge 4-4). Dağılım haritaları noktasal veriden itibaren ArcGIS yazılımında “Topo to Raster” enterpolasyon yöntemi ile oluşturulmuştur. Harita daha sonra içme-kullanma ve sulama suyu limit değerlerine göre tekrar sınıflandırılıp bu sınıfların çalışma alanı içindeki toplam alanı hesaplanmıştır. Beklenildiği gibi Bor ve Demir elementler tüm örnekleme noktalarında limit değerden daha yüksek derişimde olduğu için limit değeri aşan alan tüm çalışma alanının kapsamıştır. Arsenik elementi D1 ve D2 örnekleme noktaları için noktasal kirlletici oluşturduğundan limit değeri aşan alan da 1.1 km² olarak belirlenmiştir. NO₃⁻ iyon konsantrasyonu sulama suyu limitlerine göre çalışma alanının 55.0 km² 'sinde, içme suyu limitlerine göre ise çalışma alanının 34.5 km²'sinde limit değerin üzerindedir. NO₃⁻ derişimleri çalışma alanı içinde yeraltısuyu akım yönü, akifer türü, arazi kullanımı ve vadoz zon kalınlığı parametrelerinden bağımsız olarak bazı noktalarda limit değerleri aşmıştır. Bu dağılım NO₃⁻ derişiminin noktasal kirlletici yükünden kaynaklandığını düşündürmektedir.



Şekil 4.2. Kirlilik riski oluşturan iyon ve iz elementlerin alansal dağılımlarının belirlenmesi.

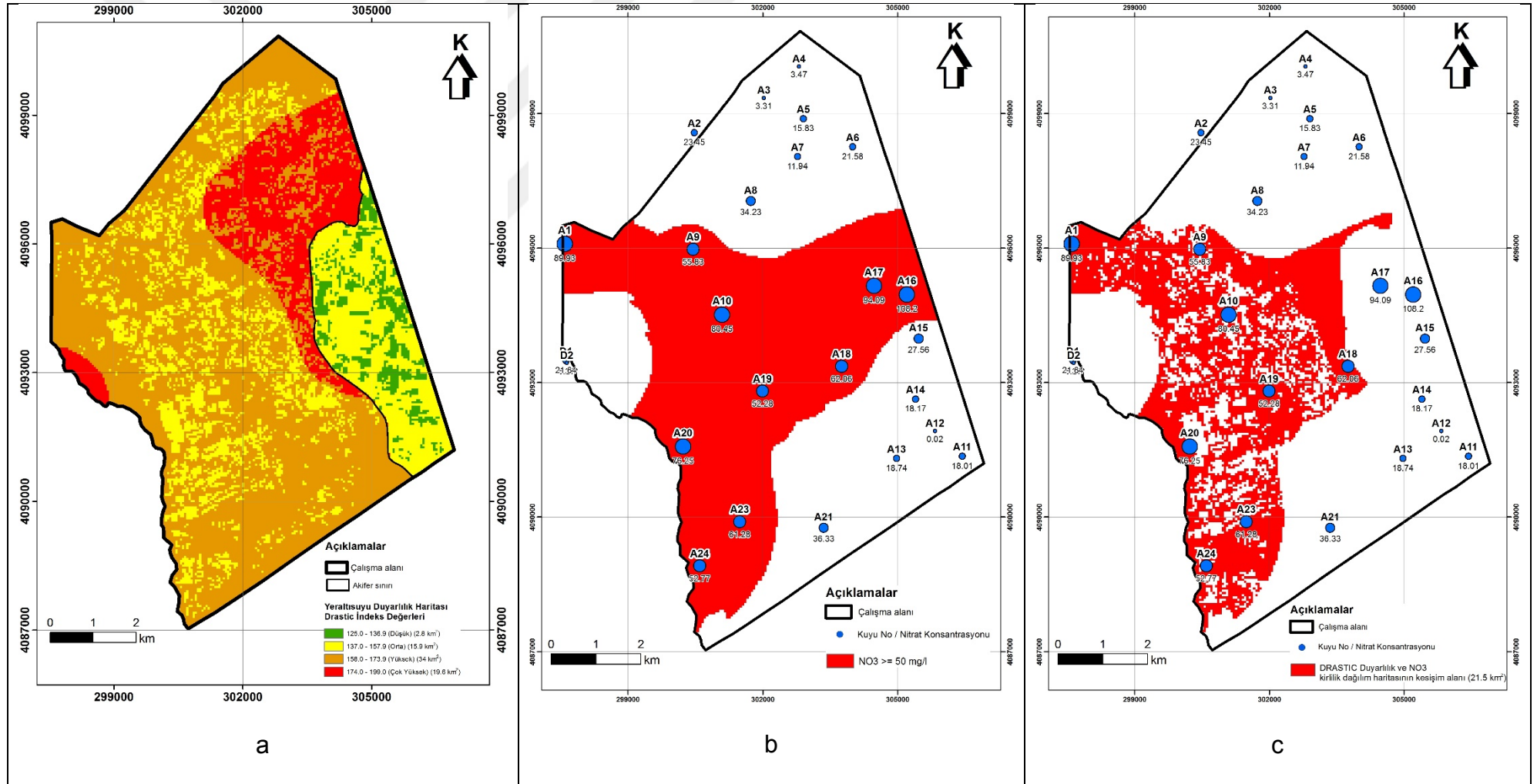
Çizelge-4.4. Kirlilik limit değeri aşan alanlar

Kirletici Limit değerleri	Alan(km ²)
NO ₃ (Sulama, >= 30 mg/l)	55.0
NO ₃ (İçme, >= 50 mg/l)	34.53
As (İçme, >= 10µg/l)	1.1
B (İçme, >= 1µg/l)	72.8
Fe (İçme, >= 200 µg/l)	72.2

YAS duyarlılık haritalarının doğrulanması için her bir yöntem için oluşturulan harita kirlilik riski oluşturan iyon ve iz elementlerin alansal dağılım haritası ile karşılaştırılarak iki haritanın kesişim alanı bulunmuştur. Bunun için GIS yazılımı “Raster Calculator” modülünde bir eşitlik tanımlanmıştır. Eşitliğe göre her bir yöntemin yüksek ve çok yüksek duyarlılık sınıfı ile ilgilenilen kirleticinin limit değeri aşan alanları karşılaştırılmıştır. Örneğin; DRASTIC yönteminin içme suyu standartlarına göre NO₃⁻ iyonu için kesişim alanı belirlenirken, YAS duyarlılık haritasının 158’e eşit ve büyük olduğu değer aralığı yüksek-çok yüksek duyarlılık sınıfı (Şekil 4.3.a) ve NO₃⁻ iyonu dağılım haritasında 50 mg/l’ye eşit ve 50 mg/l’den büyük alanlar (Şekil 4.3.b) karşılaştırılmıştır. Bunun için Raster Calculator modülünde yazılan eşitlik şöyledir:

“YAS duyarlılık alanı= (Drastic Index >=158) and (NO₃ >=50)”

Hesaplanan kesişim alanı haritası Şekil 4.3.c ‘de verilmiştir. Buna göre DRASTIC yöntemine göre içme suyunda NO₃⁻ iyonuna göre kirlilik gösteren alan haritada kırmızı ile işaretlenmiş olup 21.5 km²’dir.



Şekil 4.3. YAS duyarlılık haritası ve kirlilik dağılım haritalarının kesişim alanının belirlenmesi.

4.2.1. Sulama Suyu Standartlarına Göre YAS Duyarlılık Alanlarının Belirlenmesi

Sulama suyu standartlarına göre YAS duyarlılık alanlarının belirlenmesinde FAO [53] sulama suyu limitleri kullanılmıştır. Bu değerlere göre çalışma alanında 16 örnekleme noktasında limit değerin (30 mg/l) üzerinde NO_3^- iyon derişimi ölçülmüştür. Çalışma kapsamında kullanılan yöntemlerin duyarlılık haritaları ile NO_3^- iyon derişimi dağılım haritaları karşılaştırılarak NO_3^- iyonu için YAS duyarlılık alanları belirlenmiştir (Şekil 4.4 (a ve b)). Sulama suyunda NO_3^- iyonu için YAS duyarlılık alanları Çizelge-4.5’de, YAS duyarlılık haritaları Şekil 4.4(a ve b)’de verilmiştir.

Çizelge-4.5. Sulama suyunda NO_3^- iyonu için YAS duyarlılık alanları

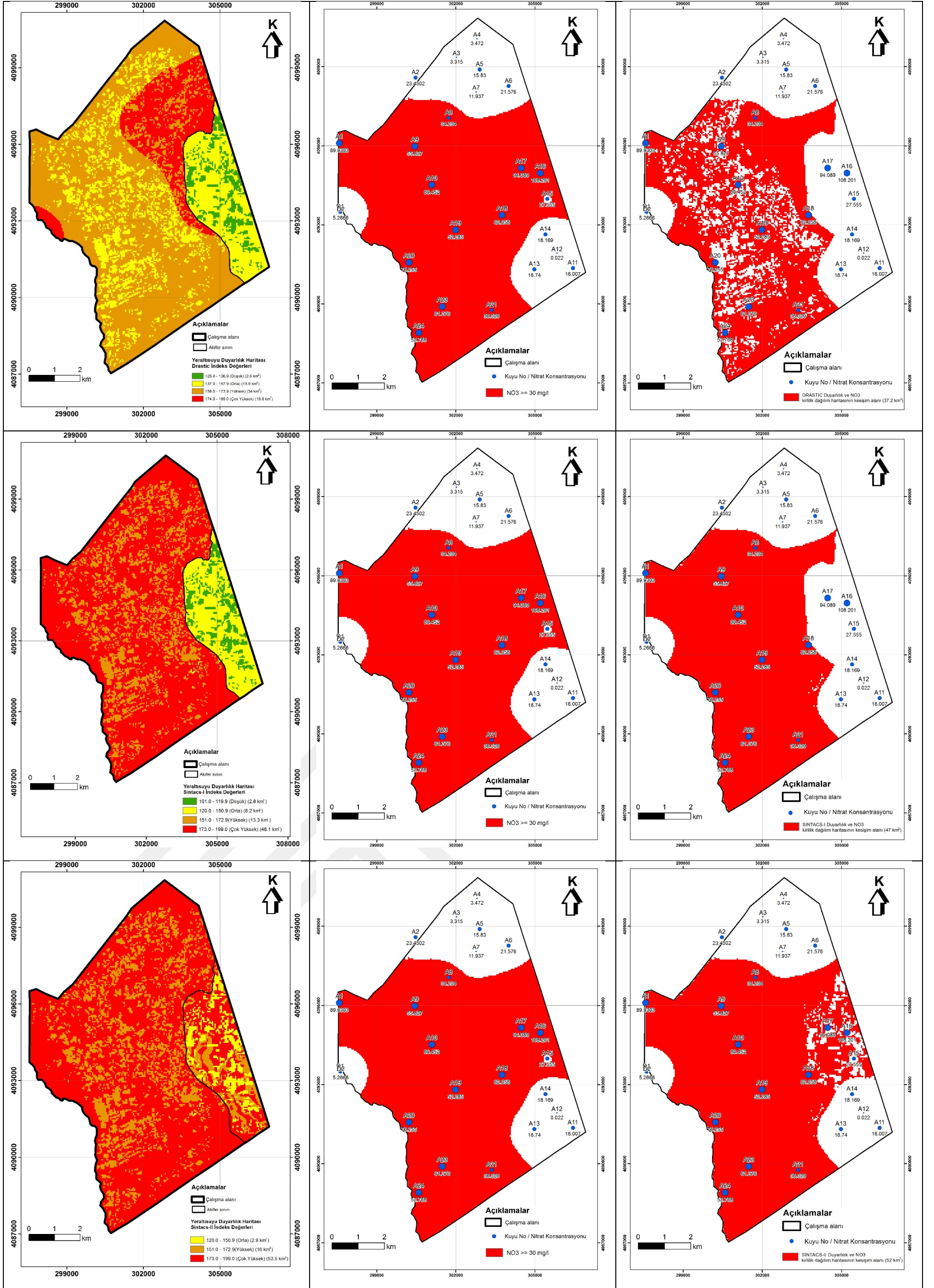
YÖNTEM	ALAN (km ²)
DRASTIC	37.2
SINTACS-I	47.0
SINTACS-II	52.0
COP	47.1
EPIK	47.1
PI	1.1

Çalışma alanında NO_3^- iyonu için sulama suyu kirlilik limit değerini aşan alan 55.0 km² iken kullanılan yöntemlerdeki alanlar yöntem parametreleri gereğince birbirinden farklı olmuştur. Sulama suyunda NO_3^- iyonu için en yüksek duyarlılık alanı SINTACS, EPIK ve COP yöntemleri ile belirlenirken, DRASTIC ve PI yöntemleri ise görece düşük duyarlılık alanları oluşturmuştur. Bu durumun temel nedeni SINTACS, EPIK ve COP yöntemlerinde net beslenim/etkin süzülme parametresinin değer aralıklarının daha ayrıntılı tanımlanmış olmasıdır. Aynı parametre DRASTIC yönteminde çok daha kısıtlı bir değer aralığı için tanımlanmış olduğundan çalışma alanı için doğru bir duyarlılık alanı üretememiştir. PI yöntemi ise karst akiferlerinde YAS duyarlılığını litoloji kalınlığı ile ilişkilendirdiğinden sadece traverten kalınlığının görece ince olduğu alanları NO_3^- iyonu için YAS duyarlılık alanı olarak belirlemiştir. Sulama suyunda NO_3^- iyonu için YAS duyarlılık haritaları (Şekil 4.4 (a ve b)) incelendiğinde SINTACS, EPIK ve COP yöntemlerinde traverten akiferin duyarlılığının konglomera akiferine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum yöntemlerde tanımlanan akifer ortamı/litoloji parametresi ile de doğrudan ilişkilidir.

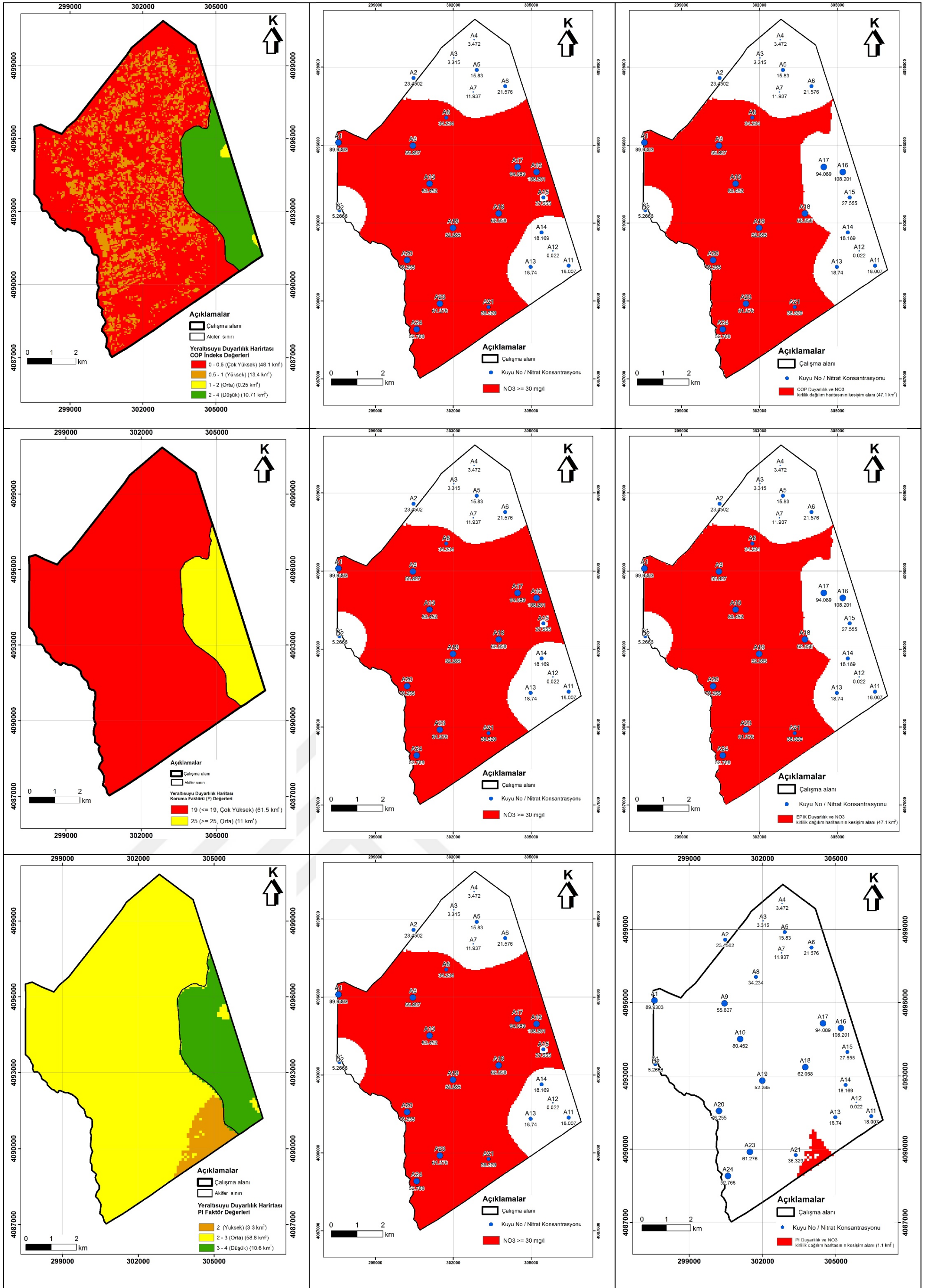
Sulama suyu limitlerine göre NO_3^- iyonu için 30 mg/l üzerindeki derişimler kullanımı kısıtlayıcı önlem alma düzeyindedir. Altınova akiferi yeraltısuyunun özellikle sulama

suyunda kullanıldığı göz önüne alındığında bölgede düzenli olarak örnekleme yapılarak NO_3^- iyon derişimi takip edilmelidir.





Şekil 4.4.a. Sulama suyunda NO₃⁻ iyonu için YAS duyarlılık haritaları (DRASTIC, SINTACS-I ve SINTACS-II yöntemleri)



Şekil 4.4.b. Sulama suyunda NO₃⁻ iyonu için YAS duyarlılık haritaları (COP, EPIK, PI yöntemleri)

4.2.2. İçme Suyu Standartlarına Göre YAS Duyarlılık Alanlarının Belirlenmesi

İçme suyu standartlarına göre YAS duyarlılık alanlarının belirlenmesinde İnsani Tüketim Amaçlı Sular Yönetmeliği'nde [54] belirlenen içme suyu limit değerleri kullanılmıştır. Bu değerlere göre çalışma alanında 13 örnekleme noktasında limit değer (50 mg/l) üzerinde NO_3^- iyon derişimi ölçülmüştür. Çalışma alanında örneklenen 26 noktanın tamamında Bor ve Demir elementleri içme suyu limit değerlerinin (1µg/l ve 200µg/l) üzerindedir.

Çalışma kapsamında kullanılan yöntemlerin duyarlılık haritaları ile NO_3^- iyon ve Bor ve Demir iz element derişimi dağılım haritaları karşılaştırılarak YAS duyarlılık alanları belirlenmiştir. Örnekleme noktalarında Arsenik derişimi sadece bir noktada limit değer (10µg/l) üzerinde olduğu için YAS duyarlılık alanı noktasal olarak belirlenmiş olup, bu nedenle çakışma alanı haritası üretilmemiştir. İçme-kullanma suyunda NO_3^- iyonu ve Bor ve Demir elementleri için YAS duyarlılık alanları Çizelge-4.6'de, içme-kullanma suyunda NO_3^- iyonu YAS duyarlılık haritası Şekil 4.5 (a ve b)'de Bor ve Demir elementleri için YAS duyarlılık haritaları Şekil 4.6(a ve b) ve 4.7(a ve b)'de verilmiştir.

Çizelge-4.6. İçme-kullanma suyunda NO_3^- iyonu ve Bor ve Demir elementleri için YAS duyarlılık alanları

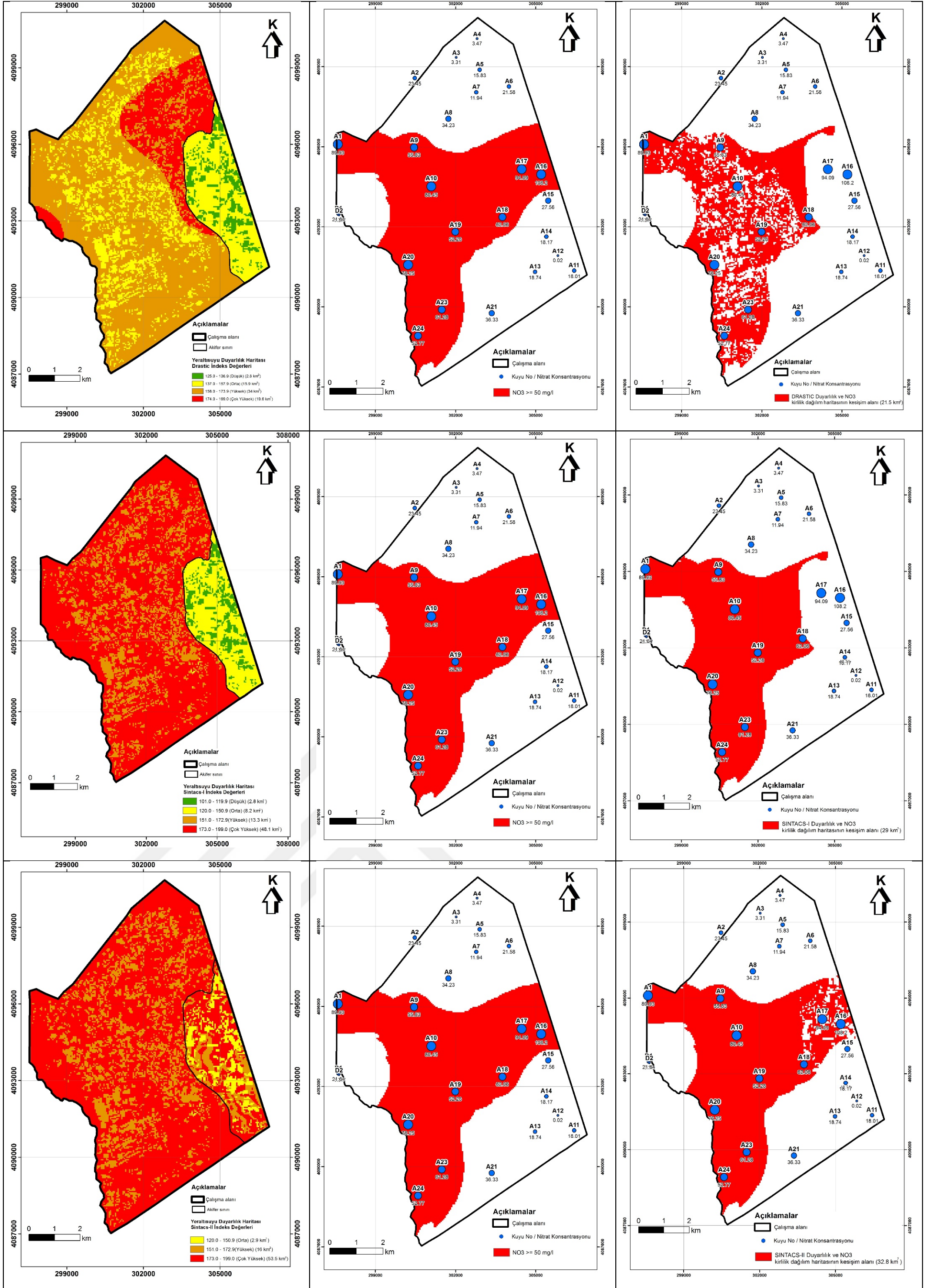
YÖNTEM	Alan (km ²)		
	NO_3^-	B	Fe
DRASTIC	21.5	50.3	49.7
SİNTACS-I	29.0	61.4	60.9
SİNTACS-II	32.8	69.4	68.9
COP	29.0	61.5	60.9
EPIK	29.0	61.6	61.1
PI	--	3.3	3.3

Çalışma alanında NO_3^- iyonu için içme suyu kirlilik limit değerini aşan alan 34.5 km²'dir. İçme-kullanma suyunda NO_3^- iyonu için en yüksek duyarlılık alanı SİNTACS (32.8km²), EPIK (29.0 km²) ve COP (29.0 km²) yöntemleri ile belirlenirken, DRASTIC görece düşük duyarlılık alanı (21.5 km²) oluşturmuştur (Şekil 4.6 (a ve b)). PI yönteminde ise yöntem parametrelerince oluşturulan duyarlılık haritasında yüksek duyarlılıklı olarak belirlenen alanlar NO_3^- iyonu için limit değer üzerinde derişime sahip olmadığından çakışma alanı oluşturulamamıştır.

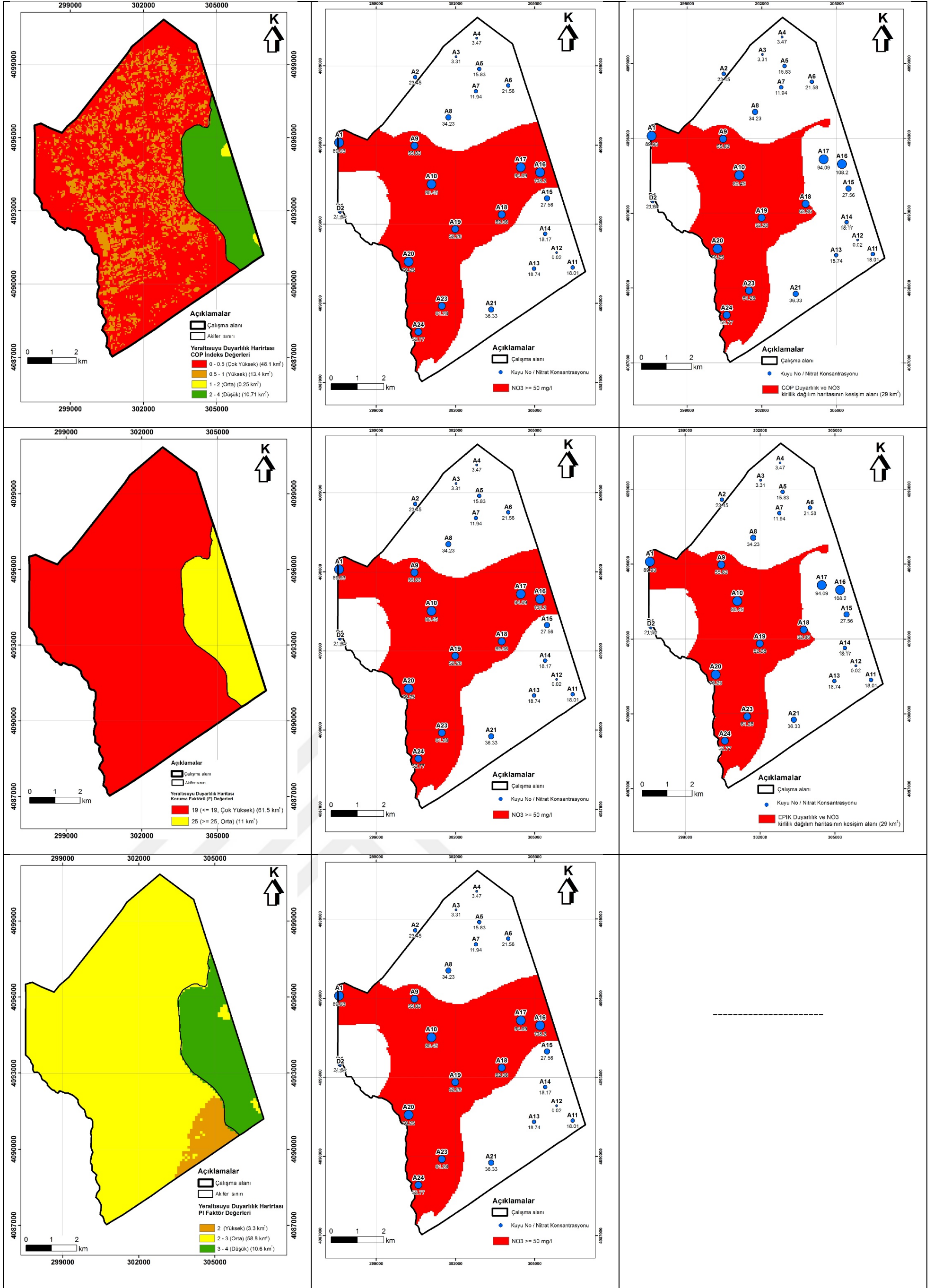
Aynı parametre DRASTIC yönteminde çok daha kısıtlı bir değer aralığı için tanımlanmış olduğundan çalışma alanı için doğru bir duyarlılık alanı üretememiştir. PI yöntemi ise karst akiferlerinde YAS duyarlılığını litoloji kalınlığı ile ilişkilendirdiğinden sadece traverten kalınlığının görece ince olduğu alanları NO_3^- iyonu için YAS duyarlılık alanı olarak belirlemiştir. Sulama suyunda NO_3^- iyonu için YAS duyarlılık haritalarında olduğu gibi içme-kullanma suyu YAS duyarlılık haritaları da (Şekil 4.5 (a ve b)) benzer dağılımlar göstermiştir. NO_3^- iyonu açısından içme-kullanma suyu limit değerlerine göre traverten akiferin konglomera akiferine göre daha yüksek duyarlılıkta olduğu söylenebilir.

Çalışma alanında Demir elementi için içme-kullanma suyu kirlilik limit değerini aşan alan 72.2 km^2 'dir. İçme-kullanma suyunda Demir elementi için en yüksek duyarlılık alanı SINTACS (52.0 km^2), EPIK (47.1 km^2) ve COP (47.1 km^2) yöntemleri ile belirlenirken, DRASTIC ve PI yöntemleri görece düşük duyarlılık alanı (21.5 km^2 ve 3.3 km^2) oluşturmuştur (Şekil 4.6 (a ve b)). Yöntemlere göre hesaplanan çakışma alanlarının, limit değerini aşan alanlardan farklı olmasının temel nedeni DRASTIC, SINTACS, COP ve EPIK yöntemlerinin tamamında konglomera akiferi için duyarlılık alanı oluşmamasındandır. Bu durumda bu yöntemlerin ortak parametresi olan akifer ortamı/litoloji değerlendirmesinin konglomera akiferinin duyarlılığının tanımlanmasında yetersiz kaldığı düşünülmektedir. PI Yöntemi ise karst akiferlerinde YAS duyarlılığını temel olarak karst akiferinin kalınlığı ile ilişkilendirdiğinden çalışma alanında çok küçük bir alanı yüksek duyarlılık olarak tanımlayıp, buna bağlı olarak da demir derişimi için 3.3 km^2 'lik çakışma alanı üretmiştir. Çalışma alanının tamamında limit değerleri aşan demir, duyarlılık yöntemlerinin doğrulanması için kullanılabilecek bir kirlilik göstergesidir.

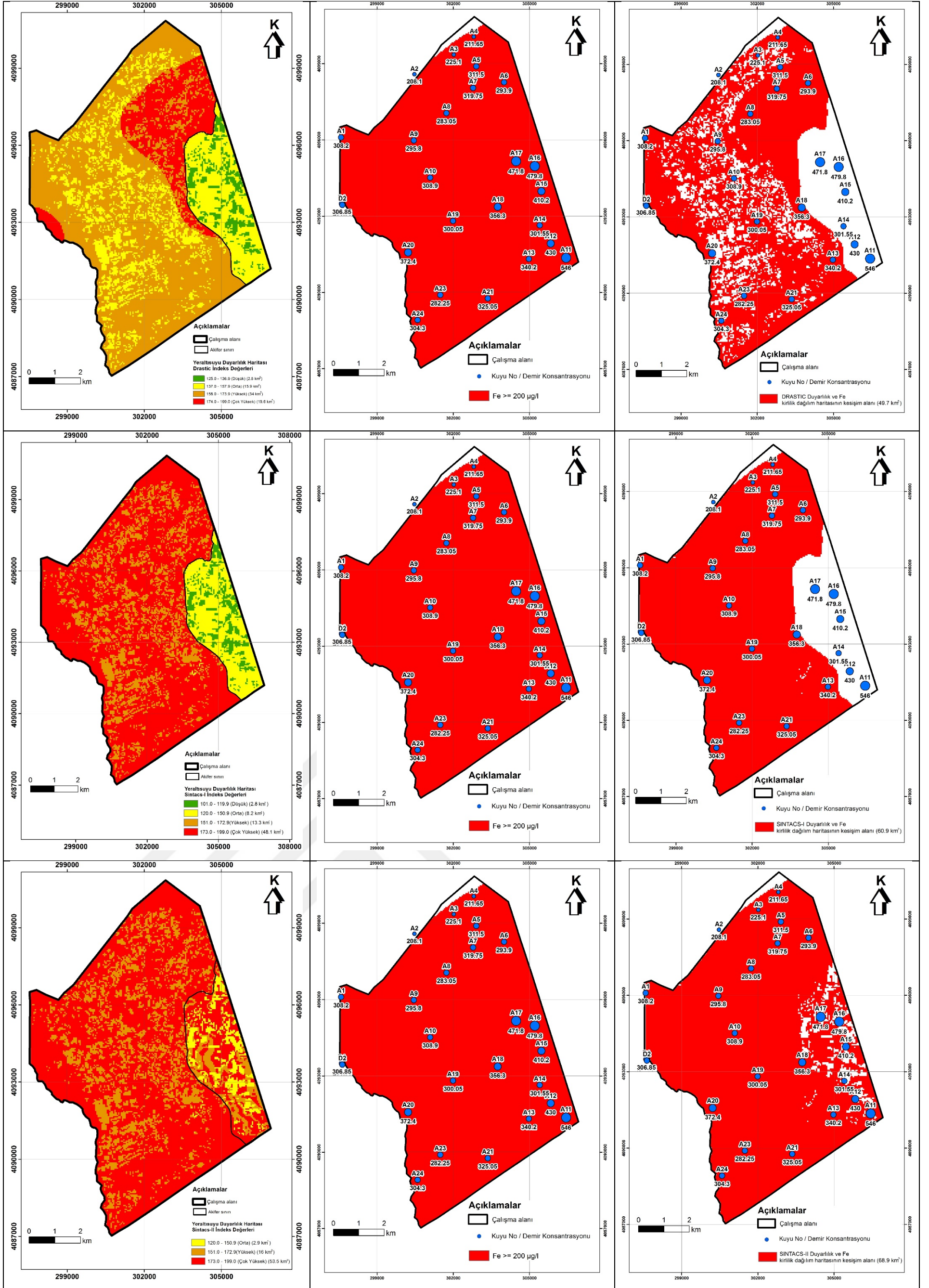
Çalışma alanının tamamı (72.8 km^2) Bor elementi için içme-kullanma suyu kirlilik limit değerini aşmaktadır. İçme-kullanma suyunda Bor elementi için en yüksek duyarlılık alanı SINTACS (69.4 km^2), EPIK (61.6 km^2) ve COP (61.5 km^2) yöntemleri ile belirlenirken, DRASTIC ve PI yöntemleri görece düşük duyarlılık alanı (50.3 km^2 ve 3.3 km^2) oluşturmuştur (Şekil 4.7(a ve b)). Demir elementi YAS duyarlılık haritalarında olduğu gibi Bor elementi için de DRASTIC, SINTACS, COP ve EPIK yöntemlerinde konglomera akiferi için duyarlılık alanı oluşmamıştır.



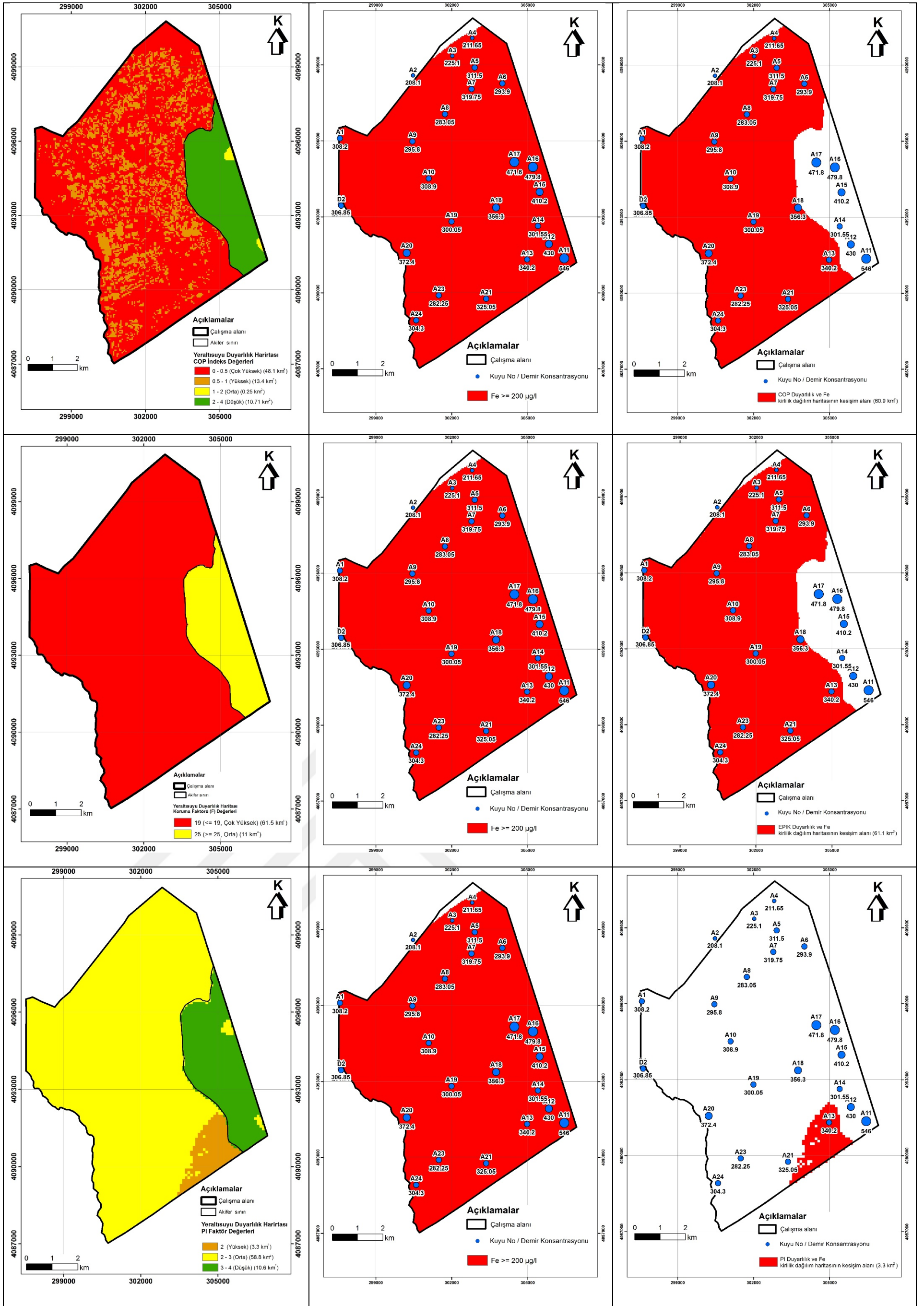
Şekil 4.5.a. İçme-kullanma suyu NO₃⁻ iyonu için YAS duyarlılık haritaları (DRASTIC, SINTACS-I ve SINTACS-II yöntemleri).



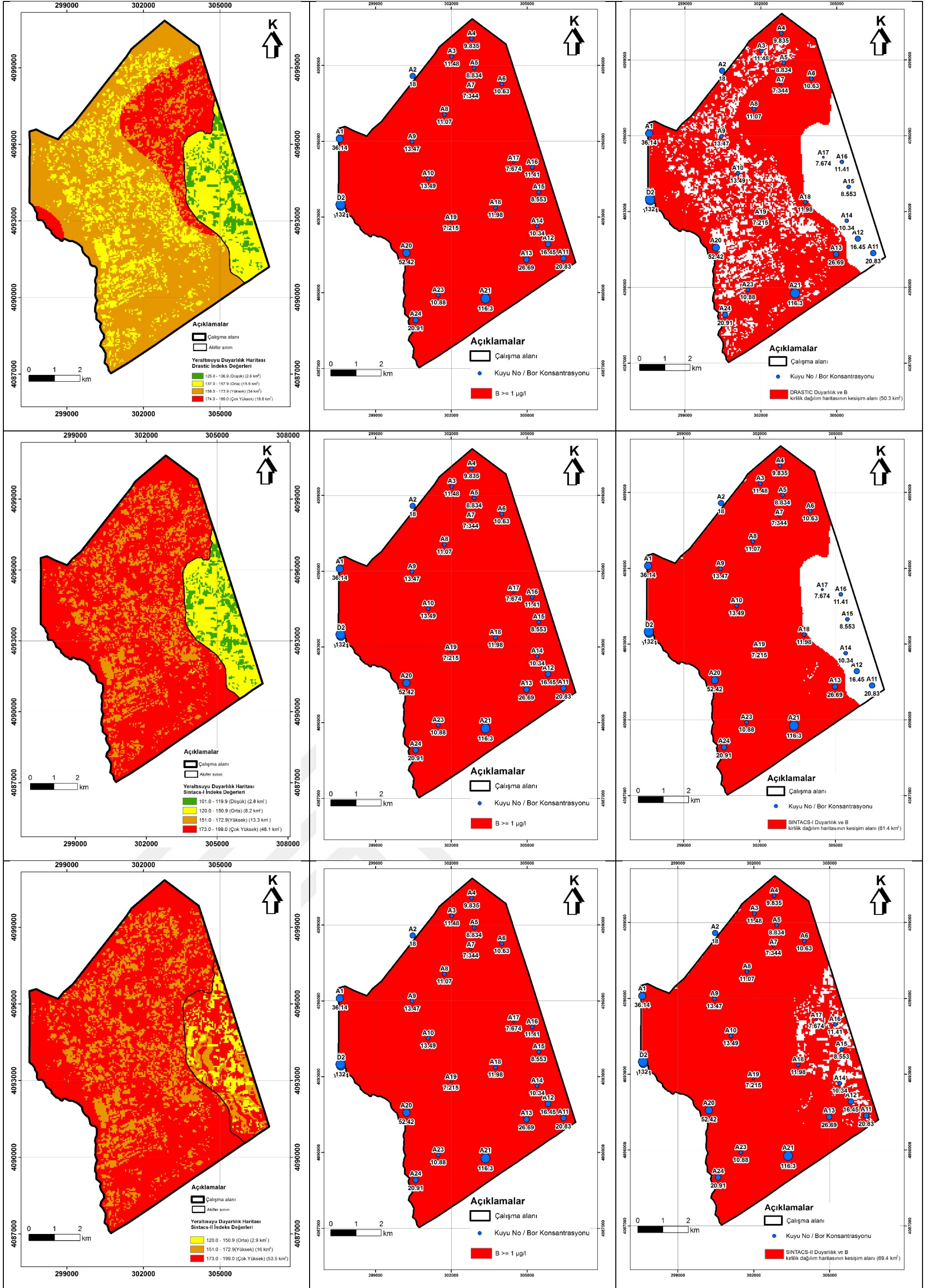
Şekil 4.5.b. İçme-kullanma suyu NO₃ - iyonu için YAS duyarlılık haritaları (COP, EPIK, PI yöntemleri).



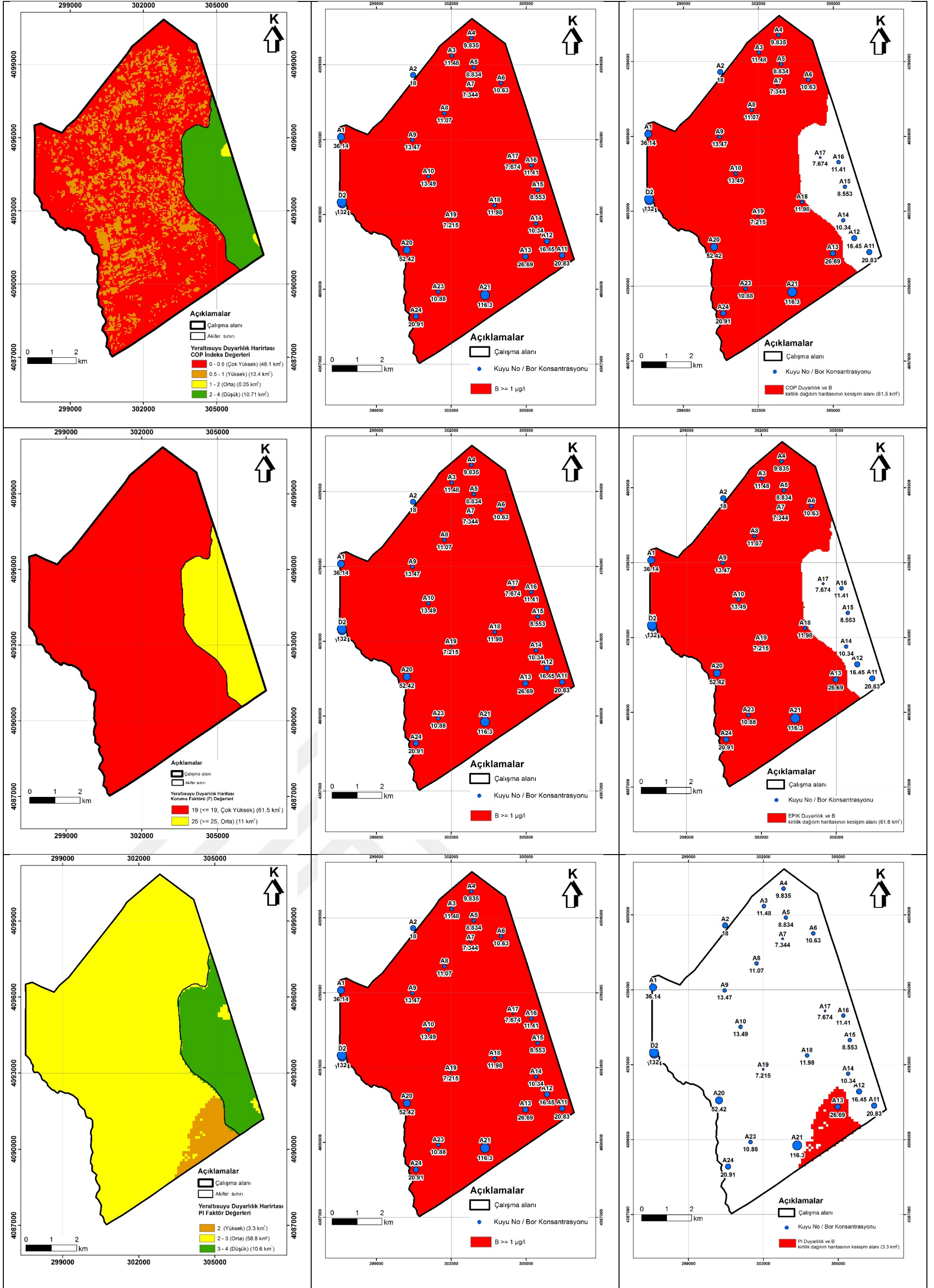
Şekil 4.6.a. İçme-kullanma suyunda Fe elementi için YAS duyarlılık haritaları (DRASTIC, SINTACS-I ve SINTACS-II yöntemleri).



Şekil 4.6.b. İçme-kullanma suyu Fe elementi için YAS duyarlılık haritaları (COP, EPIK, PI yöntemleri).



Şekil 4.7.a. İçme-kullanma suyu B elementi için YAS duyarlılık haritaları (DRASTIC, SINTACS-I ve SINTACS-II yöntemleri).



Şekil 4.7.b. İçme-kullanma suyuunda B elementi için YAS duyarlılık haritaları (COP, EPIK, PI yöntemleri).

Bu çalışma kapsamında YAS duyarlılığının belirlenmesi için kullanılan yöntemler ve yöntemlerin doğrulanması için kullanılan iyon ve element derişimleri değerlendirildiğinde, çalışma alanı için SINTACS, COP ve EPIK yönteminin özellikle Traverten akiferinin duyarlılığının belirlenmesinde doğru sonuçlar ürettiğini göstermiştir. DRASTIC yönteminin karst akiferleri için özelleştirilmiş versiyonu olan SINTACS yöntemi Altınova akiferinin YAS duyarlılığının belirlenmesinde kullanabilecek bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Karst akiferlerinde YAS duyarlılığının belirlenmesine yönelik kullanılan PI yöntemi ise yöntem parametrelerinden tabaka kalınlığı ve kırık çatlak yoğunluğunun ağırlık katsayıları nedeniyle Altınova akiferi için tatmin edici sonuçlar üretememiştir.



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Duyarlılık haritalama yaklaşımlarında farklı parametreler kullanılmakta ya da aynı parametre farklı bir ağırlık katsayısı ile sonuca etki etmektedir. Dolayısıyla duyarlılık haritalama yaklaşımları tasarımları nedeni ile farklı duyarlılık bölgelerinin tanımlanmasına neden olmaktadır. Çalışma kapsamında kullanılan duyarlılık yaklaşımları için yeraltısuyu derinliği ve hidrolik iletkenlik katsayısı parametreleri DRASTIC ve SINTACS yöntemleri için ayırt edici olurken, yağış parametresi COP yönteminin, karst gelişimi parametresi EPIK yönteminin, kırık-çatlak yoğunluğu parametresi PI yönteminin parametresi olup diğer yöntemlerde değerlendirmeye alınmamıştır. Vadoz zon/koruyucu örtü parametresi uygulanan bütün yöntemlerde kullanılmıştır. Akifer ortamı/litoloji tanımlaması tüm yöntemler için farklı duyarlılık sınıfı oluşturmuştur. Bu çalışmada arazi kullanımını dikkate alan yöntem modifikasyonu (tarım alanı- örtü altı tarım alanı) tüm yöntemlere uygulanmıştır. Bu modifikasyon arazi kullanımı nedeniyle farklılaşan net beslenme/etkin süzülme, yağış ve toprak türü (arazi kullanımı) parametrelerinin tanımlanmasıyla yöntemlere eklenmiştir. Yapılan bu modifikasyon kullanılan kimyasal besin ve gübreler nedeni ile kirlenici kaynağı olana örtü altı tarım alanlarından yeraltısuyuna ulaşacak kirlenici derişiminin azalmasına neden olmaktadır. Örtü altı tarım alanlarına düşen yağış kirlenici yükü taşımadan çalışma alanının geri kalanından yeraltına sızmaktadır.

Çalışma alanı için DRASTIC, SINTACS, COP, EPIK ve PI yöntemleri ile oluşturulan YAS duyarlılık haritalarında düşük, orta, yüksek ve çok yüksek duyarlılık sınıflarının alansal dağılımları belirlenmiştir. EPIK yönteminde çalışma alanı için düşük ve yüksek duyarlılık sınıfları, PI yönteminde ise çok yüksek duyarlılık sınıfı ile temsil edilecek alanlar bulunmamaktadır. 72.8 km² olan çalışma alanının; DRASTIC yönteminde 53.6 km², SINTACS yönteminde 61.4 km² ve 69.5 km², COP ve EPIK yöntemlerinde 61.5 km², PI yönteminde ise 3.3 km²'si yüksek-çok yüksek duyarlılık sınıfında tanımlanmıştır.

Oluşturulan YAS duyarlılık haritalarının doğruluğunun kontrol edilmesi için sularda kirlilik oluşturan iyon ve iz elementlerin yeraltısuyundaki içerikleri incelenmiştir. Bu amaçla 2016 yılı Mayıs ayında yapılan arazi çalışmasında 26 örnekleme noktasından majör iyon kimyası ve iz element içeriğinin belirlenmesi için yeraltısuyu örneği alınmıştır. Altınova bölgesinde sulama suyu ihtiyacı ve içme suyu

şebekesinin olmadığı kısımlarda yeraltısuyu içme suyu yeraltısuyundan sağlanmaktadır. Bu nedenle örneklerin analiz sonuçları sulama suyu ve içme suyu limitleri için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Çalışmada sulama suyu için Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü'nün [53] belirlediği limit değerler kullanılırken, içme suyu için Sağlık Bakanlığı'nın İnsani Tüketim Amaçlı Sular Yönetmeliği'nde [54] belirtilen limit değerler kullanılmıştır. FAO'nun belirlediği sulama suyu limit değerlerine göre Altınova akiferinde limit değerini sadece Nitrat (NO_3^-) iyonu aşmaktadır. Altınova akiferinden alınan 16 örnekte NO_3^- iyon miktarı 30 mg/l üzerindedir. Sağlık Bakanlığı'nın İnsani Tüketim Amaçlı Sular Yönetmeliği'nde belirlenen içme suyu limitlerine göre içme sularında NO_3^- iyon miktarı 50 mg/l, Arsenik (As) 10 µg/l, Bor (B) 1 µg/l, Demir (Fe) 200 µg/l düzeyini aşmamalıdır. Buna göre Bor ve Demir elementleri örneklenen tüm noktalarda limit değerin üzerindedir. İçme suyu limitlerine göre NO_3^- iyon miktarı 50 mg/l olup, 12 noktada bu değerin üzerindedir. Arsenik değeri ise analiz sonuçlarına göre sadece D1 ve D2 olarak gösterilen Düdenbaşı kaynağı ve kaynak yakınında bulunan rekreasyon amaçlı kullanılan kuyuda limit değer üzerinde ve limit değere yakındır.

Çalışma kapsamında içme-kullanma ve sulama suyu için kirlilik riski oluşturan iyon ve iz elementlerin dağılım haritaları oluşturulmuş ve bu haritalar limit değerlere göre sınıflandırılarak limit değerleri aşan alanlar belirlenmiştir. Oluşturulan haritalarda Bor ve Demir elementleri tüm örnekleme noktalarında limit değerden daha yüksek derişimde olduğu için limit değeri aşan alan tüm çalışma alanını kapsamıştır. Arsenik elementi D1 ve D2 örnekleme noktaları için noktasal kirlletici oluşturduğundan limit değeri aşan alan da 1.1 km² olarak belirlenmiştir. NO_3^- iyon konsantrasyonu sulama suyu limitlerine göre çalışma alanının 55.0 km²'sinde, içme suyu limitlerine göre ise çalışma alanının 34.5 km²'sinde limit değerin üzerindedir.

Değerlendirmenin son aşamasında YAS duyarlılık haritalarının doğrulanması için her bir yöntem için oluşturulan harita kirlilik riski oluşturan iyon ve iz elementlerin alansal dağılım haritası ile karşılaştırılarak iki haritanın kesişim alanları belirlenmiştir. Doğrulama değerlendirmesi için her bir yöntemin yüksek ve çok yüksek duyarlılık sınıfı ile ilgilenilen kirlleticinin limit değeri aşan alanları karşılaştırılmıştır. Oluşturulan karşılaştırma haritalarında duyarlılık yöntem parametreleri, tanımlanan sınıf aralıkları ve kirlleticinin doğasından kaynaklanan farklılıklar olduğu belirlenmiştir. En belirgin

fark kirleticinin noktasal olarak kısa süre içinde akifere ulaşmasıdır. Noktasal olarak kirleticinin hızla yeraltısuyuna ulaşmasında dikey akım hız belirleyicidir. Çalışma alanında 0.4-3.9 m/gün arasında değişen dikey yeraltısuyu akım hızı ile kirleticinin kısa sürede (4-20 gün) vadoz zonu geçerek yeraltısuyuna ulaşması mümkündür. Bu durum çalışma alanında NO_3^- derişimlerinin alansal dağılımında gözlenmiştir. Dolayısıyla, Altınova akiferi için çalışma alanının tamamında limit değeri aşan demir en uygun doğrulama aracı olarak belirlenmiştir.

Bu çalışma kapsamında YAS duyarlılığının belirlenmesi için kullanılan yöntemler ve yöntemlerin doğrulanması için kullanılan iyon ve element derişimleri birlikte değerlendirildiğinde, SINTACS, COP ve EPIK yöntemlerinin özellikle traverten akiferinin duyarlılığının belirlenmesinde daha doğru sonuçlar ürettiğini göstermiştir. DRASTIC yönteminin karst akiferleri için özelleştirilmiş versiyonu olan SINTACS yöntemi Altınova akiferinin YAS duyarlılığının belirlenmesinde kullanabilecek bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Özellikle karst akiferlerinde YAS duyarlılığının belirlenmesine yönelik olarak geliştirilen PI yöntemi ise yöntem parametrelerinden tabaka kalınlığı ve kırık çatlak yoğunluğunun ağırlık katsayıları nedeniyle Altınova akiferi için tatmin edici sonuçlar üretememiştir. Yöntemler geliştirildikleri akifer ortamlarını temsil ettiklerinden, yöntemlerin modifiye edilmeden kullanılması hatalı değerlendirmelere neden olabilmektedir. Hangi yöntemin çalışılan akifer için temsil edici olduğunun belirlenebilmesinin tek yolu gözlenen kirlilik göstergeleri ile yapılan doğrulamadır. Doğrulama için, noktasal olarak gözlenen kirleticilerden çok akiferin tümünde gözlenen ve/veya derişimleri yeraltısuyu akım yolu boyunca anlamlı (genellikle artan) olarak değişen kirlilik göstergeleri kullanılmalıdır.

ATP'nun bir bölümünü oluşturan çalışma alanı için oluşturulan duyarlılık haritaları ve yapılan doğrulama çalışması sonucunda SINTACS yönteminin traverten akiferi için daha uygun olduğu belirlenmiştir. Su kaynakları için yönetim aracı olarak kullanılabilecek bu yaklaşımın traverten akiferini temsil eden akım/taşıyım özellikleri için modifiye edilerek ATP akiferi için kullanılabilmesi mümkündür. Yeraltısuyu kalite gözlemlerinin sürekli yapılmaya başlanmış olması ile birlikte oluşturulacak akifere özel duyarlılık yaklaşımlarının kalibrasyon ve doğrulamalarının da yerinde yapılan kirlilik gözlemleri ile kontrol edilmesi mümkündür.

Akiferde seçilen noktaların değil akiferin tümünün kirlilik tehlikesine karşı izlenmesi ve Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı'nın yayımlamış olduğu "Sularda Tarımsal Faaliyetlerden Kaynaklanan Nitrat Kirliliğinin Önlenmesine Yönelik İyi Tarım Uygulamaları Kodlu Tebliğ" [55] kapsamındaki önleyici tedbirlerin uygulanması gereklidir.



KAYNAKLAR

- [1] Anonim, İçme Suyu Koruma Alanları: https://www.asat.gov.tr/images/editor/yonetmelikler/su_havzolari_yonetmeli_19102017.pdf) (Aralık, 2017).
- [2] Anonim, NHB resmi gazete: <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2016/12/20161223M1-1.htm>) (Nisan, 2018).
- [3] Babiker, I.S., Mohamed, A.A.M., Hiyama, T., Kato, K., A GIS-based DRASTIC model for assessing aquifer vulnerability in Kakamigahara Heights, Gifu Prefecture, central Japan, *Science of the Total Environment*, 345, 127-140, **2005**.
- [4] Yıldırım, M., Topkaya, B., Antalya kentindeki içme suyu kaynaklarının kirlenme potansiyelinin uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS) kullanılarak belirlenmesi, Antalya, 2005.
- [5] Davraz, A., Varol, S., Hydrogeological investigation of Sarkikaraağac Basin (Isparta, Turkey) and groundwater vulnerability, *Water International*, 35-2, 177-194, **2010**.
- [6] Büyükdemirci, A.H., *Groundwater Vulnerability Assessment with Drastic Method: A case-study on Kırıkkale Plain, Turkey*, The Degree of Master of Science, The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University, Ankara, **2012**.
- [7] Güler, C., Kurt, M.A., Korkut, R.N., Assessment of groundwater vulnerability to nonpoint source pollution in a Mediterranean coastal zone (Mersin, Turkey) under conflicting land use practices, Mersin, *Ocean&Coastal Management*, 71, 141-152, **2012**.
- [8] Yin, L., Zhang, E., Wang, X., Wenninger, J., Dong, J., Gou, L., Huang, J., A GIS based DRASTIC model for assessing groundwater vulnerability in the Ordos Plateau, China, *Environmental Earth Science*, 69, 171-185, **2012**.
- [9] Khemiri, S., Khnissi, A., Alaya, M.B., Saidi, S., Zargouni, F., Using GIS for the comparison of intrinsic parametric methods assessment of groundwater vulnerability to pollution in scenarios of semi arid climate. The case of Foussana groundwater in the central of Tunisia, *Journal of Water Resource and Protection*, 5, 835-845, **2013**.

- [10] Chandoul, I.R., Bouaziz, S., Dhia, H.B., Groundwater vulnerability assessment using GIS-based DRASTIC models in shallow aquifer of Gabes North (South East Tunisia), Tunisia, *Arabian Journal of Geosciences*, **2014**.
- [11] Akhtar, M.M., Zhonghua, T., Dawood, A.S., Bailey, E., Evaluation of local groundwater vulnerability based on DRASTIC index method in Lahore, Pakistan, *Geofisica Internacional*, 54-1, 67-81, **2015**.
- [12] Shekhawat, M.S., Chundawat, D.S., Groundwater vulnerability assessment using drastic method approach in and around Keoladev Ghana National park, Rajasthan, India, *International Journal of Current Research*, 7(08), 19436-19443, **2015**.
- [13] Türkay, Z., Gürel, M., Cüceloğlu, G., Ekdal, A., Köyceğiz-Dalyan havzasının yeralısuyu kirlenme potansiyelinin DRASTIC yöntemi kullanılarak belirlenmesi, Muğla, **2015**.
- [14] Elçi, A., Calibration of groundwater vulnerability mapping using the generalized reduced gradient method., *Journal of Contaminant Hydrology*, 207, 39-49, **2017**.
- [15] Guettaia, S., Hacini, M., Boudjema, A., Zahrouna, A., Vulnerability assessment of an aquifer in an arid environment and comparison of the applied methods: case of the mio-plio-quadernary aquifer, *Energy Procedia*, 119, 482-489, **2017**.
- [16] Goldscheider, N., Karst groundwater vulnerability mapping: application of a new method in the Swabian Alb, Germany, *Hydrogeology Journal*, 13, 555-564, **2005**.
- [17] Vías, J.M., Andreo, B., Perles, M.J., Carrasco, F., Vadillo, I., Jimenez, P., Proposed method for groundwater vulnerability mapping in carbonate (karstic) aquifers: the COP method, Spain, *Hydrogeology Journal*, 14, 912-925, **2006**.
- [18] Vías, J., Andreo, B., Ravbar, N., Hötzl, H., Mapping the vulnerability of groundwater to the contamination of four carbonate aquifers in Europe, *Journal of Environmental Management*, 91, 1500-1510, **2010**.
- [19] Protection of Jeita Spring, Vulnerability Mapping Using the COP and EPIK Method Technical Report No. 7b, **2012**.

- [20] Masoompour, S.J., Bagheri, S., Davoodi, M., Yarahmadi, D., Jafari-Aghdam, M., Soltani, M., Assessing and mapping the vulnerability of karstic aquifer using gis and COP model, Iran, *Global NEST Journal*, 15(3), 384-393, **2013**.
- [21] Hadžić, E., Lazović, N., Mulaomerović-Šeta, A., The importance of groundwater vulnerability maps in the protection of groundwater sources. Key study: Sarajevsko Polje, Bosna, *Procedia Environmental Sciences*, 25, 104-111, **2015**.
- [22] DSİ, Antalya-Kırgöz Kaynakları ve Traverten Platosu Karst Hidrojeolojik Etüt Raporu, Antalya, **1985**.
- [23] Özüş, A.S., *Antalya Traverten Platosunun Jeolojik, Hidrolojik, Hidrojeolojik ve Hidrokimyasal Özelliklerinin İncelenmesi*, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, **1992**.
- [24] Atilla, A.Ö., *Çok Değişkenli İstatistiksel Analiz Verileri Kullanılarak Hidrojeokimyasal Verilerin Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **1996**.
- [25] Başal, A., *Antalya Traverten Platosu Toprak Zonunun Hidrojeokimyasal Özelliklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **1999**.
- [26] Erdoğan, S., *Antalya Traverten Platosu Toprak Örtüsünün Jeohidrolojik Özelliklerinin Alansal Değişimi*, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **1999**.
- [27] Başal, A., Ekmekçi, M., Antalya Traverten Platosu toprak zonunun akifere koruyucu örtü olarak doğal arındırma özellikleri, *Yer Bilimleri*, 22, 95-107, **2000**.
- [28] DSİ, Antalya Kırgözler Projesi (Antalya Kenti Su Kaynakları Koruma Alanları) Ön İnceleme Raporu, Antalya, **2005**.
- [29] DSİ, Batı Antalya Bölgesi Hidrojeolojik Etüt Raporu, Antalya, **2006**.
- [30] Ozyurt, N.N., Residence time distribution in the Kirkgoz karst springs (Antalya- Turkey) as a tool for contamination vulnerability assessment, *Environmental Geology*, 53 (7), 1571-1583, **2008**.

- [31] Akçal, A.N., *Antalya İli Travertenlerinin Mekanik Ve Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya, **2011**.
- [32] Çil, A., *Tarımsal Karstik Bölgeler İçin Yeraltısuyu Kirlilik Riski Değerlendirmesi: Antalya-Altınova Bölgesi Uygulaması*, Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya, **2017**.
- [33] Anonim, Antalya coğrafya:
<http://www.wiki-zero.com/index.php?q=aHR0cHM6Ly90ci53aWtpcGVkaWEub3JnL3dpa2kvQW50YWx5YQ> (Ocak, **2018**).
- [34] Sönmez, N.K., Sarı, M., Ersoy, E., Uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak sürdürülebilir arazi yöntemi ve toprak koruma planının oluşturulması: Antalya-Altınova örneği, *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi dergisi*, 20(1), 11-22, **2007**.
- [35] Anonim, Corine 2006 : <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/clc-2006-raster> (Ocak, **2018**).
- [36] MTA, 1/100000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları No: 11 Isparta N-25 Paftası, **1997**.
- [37] Turc, L., Le bilan d'eau des sols; relations entre les précipitations, l'évaporation et l'écoulement, La Houille Blanche L'union Hydrotechnique de France, Paris, France, **1954**.
- [38] Küçük, F., *Antalya-Aksu Çayı (nehri) ve kollarında bulunan balık türlerinin saptanması üzerine bir araştırma*, Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya, **1991**.
- [39] Bayari, C.S., Özyurt, N.N., Klimchouck, A., Törk, K., Nazik, L., Evidence of hypogenic karst development in the Taurus Mountain Range, Turkey, DeepKarst 2016, 11-14 Nisan 2016, Calsbad-New Mexico, **2016**.
- [40] Fetter C.W., *Applied Hydrogeology 4th Edition*, Editor Patrick Lynch, 531 p., **2001**.
- [41] Aller, L., Bennett, T., Lehr, J.H., Petty, R.J., Hackett, G., DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Groundwater Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings, EPA-600/2-87-035, **1987**.

- [42] Demirkıran, O., *Ovaçayı Havzası Akiferlerinin Kirliliğe Duyarlılık Haritalama Çalışması*, Yüksek Mühendislik Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **2007**.
- [43] Freeze, R.A. and Cherry, J.A., *Groundwater*, 624 p., **1979**.
- [44] Polemio, M., Casarano, D., Limoni, P.P., Karstic aquifer vulnerability assessment methods and results at a test site (Apulia, southern Italy), *Natural Hazards Earth System Sciences*, 9, 1461–1470, **2009**.
- [45] Civita, M.V., The Combined approach when assessing and mapping groundwater vulnerability to contamination, *J. Water Resource and Protection*, 2, 14-28, **2010**.
- [46] Cost Action 620, Vulnerability and Risk Mapping for the Protection of Carbonate (Karst) Aquifer, European Commission, Brussels, **2003**.
- [47] Daly, D., Dassargues, A., Drew, D., Dunne, S., Goldscheider, N., Neale, S., Zwahlen, F., Main concepts of the European Approach for (karst) groundwater vulnerability assesment and mapping, *Hydrogeology Journal*, 10(2), 340-345, **2002**.
- [48] Anonim, Antalya Yağışlı Gün Sayısı:
<https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler/istatistik.aspx?m=ANTALYA>
(**Kasım, 2017**).
- [49] Doerfliger, N., Jeannin, P.Y., Zwahlen F., 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, **1999**.
- [50] Doerfliger, N., Zwahlen, F., Practical guide: groundwater vulnerability mapping in karstic regions (EPIK). *Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape*, Bern, **1998**.
- [51] Goldscheider, N., Klute, M., Sturm, S., Hötzl, H., The PI method: a GIS-based approach to mapping groundwater vulnerability with special consideration of karst aquifers, *Zeitschrift für angewandte Geologie*, 46(3), 157-166, **2000**.
- [52] Breshears, D., Myers, B., Barnes, J., Horizontal Heterogeneity in the Frequency of Plant-Available Water with Woodland Intercanopy-Canopy Vegetation Patch Type Rivals that Occuring Vertically by Soil Depth. *Ecohydrology*, **2009**.

- [53] Anonim, Sulama Suyu Limit Değerleri: <http://www.fao.org/docrep/003/T0234E/T0234E01.htm#note5> (**Şubat, 2018**).
- [54] Anonim, İçme Suyu Limit Değerleri (TSE 266): <http://www.saglik.gov.tr/TR%2C10473/insani-tuketim-amacli-sular-hakkinda-yonetmelik.html>, (**Şubat, 2018**).
- [55] Anonim, İyi Tarım Uygulamaları: <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2017/02/20170211-12.htm> (**Nisan, 2018**).



ÖZGEÇMİŞ

Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı: Ayşenur Amil

Doğum Yeri: Erzurum

Medeni Hali: Bekâr

E-posta: aysenura25@gmail.com

Adresi: Alsancak Mah. 2190. Sok. Salim Apt. No: (28/4) Etimesgut/ ANKARA

Eğitim:

Lise : (2006-2010) Beypazarı Nurettin Karaoğuz Vakfı Anadolu Lisesi

Lisans: (2010-2014) Hacettepe Üniversitesi Jeoloji (Hidrojeoloji) Müh. Bölümü

Yabancı Dil ve Düzeyi:

İngilizce (iyi)

Korece (orta)

İş Deneyimi:

Deneyim Alanları:

Hidrojeoloji, Çevresel İzotoplar, Hidrojeokimya

Tezden Üretilmiş Projeler ve Bütçesi:

Altınova Akiferinde (Antalya) Yeraltısuyu Kökeninin Çevresel İzleyici ve Hidrokimya Teknikleri ile Araştırılması, Özyurt N.Nur (Prof.Dr.) (Proje Yürütücüsü) Hacettepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi, Pınar Avcı, Gizem Erkan (Yardımcı Araştırmacı), Proje No: FHD-2015-8936 (15/12/2015-14/12/2016)

Yeraltısuyu Risk Değerlendirmesi ve Pestisit Risk İndikatörleri Kullanılarak Tarımsal Karstik Bölgelerdeki Yeraltısuyu Kalitesinin Entegre Yönetimi, Muhammetoğlu A. (Prof.Dr.), Özyurt N.Nur (Prof.Dr.), Muhammetoğlu H. (Prof.Dr.), Proje No: 114Y696(2015-2017).

Tezden Üretilmiş Yayınlar

Tezden Üretilmiş Tebliğ ve/veya Poster Sunumu ile Katıldığı Toplantılar

Amil, A., Avcı, P., Çil, A., Muhammetoğlu, A., Özyurt, N.N., Establishment of Groundwater Vulnerability Maps in Karst Aquifers Under Greenhouse Cultivation Areas: Altınova Aquifer (Antalya, Turkey), 9. International Symposium on Eastern Mediterranean Geology, 7-11 Mayıs, Antalya, Türkiye, **2018**.





**HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS/DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU**

**HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
JEOLojİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA**

Tarih: 28/05/2018

Tez Başlığı / Konusu: ALTINOVA AKİFERİNİN (ANTALYA) KİRLİLİĞE DUYARLILIĞININ
DEĞERLENDİRMESİ

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 152 sayfalık kısmına ilişkin, 28/05/2018 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı %2 'dir.

Uygulanan filtrelemeler:

- 1- Kaynakça hariç
- 2- Alıntılar hariç/dâhil
- 3- 5 kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

28/05/2018
Tarih ve İmza

Adı Soyadı: AYŞENUR AMİL
Öğrenci No: N14228458
Anabilim Dalı: JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ
Programı: HİDROJEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ
Statüsü: ☒ Y.Lisans ☐ Doktora ☐ Bütünleşik Dr.

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.

Prof.Dr. N. Nur ÖZYURT
(Unvan, Ad Soyad, İmza)

