



Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

TR2017-ESOP-MI-A3-04-CCAGP088 TR21 Trakya Bölgesinde İklim Değişimine Uyum için Nötr Arazi Bozulumu (İklimTrak) Projesi

Arazi Tahribatı Modelleme Sonuçları: Mevcut Durum, Trend, Riskler ve Dengeleme için Karar Destek Sistemi

Mayıs 2025

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	i
SİMGELER DİZİNİ	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
ÇİZELGELER DİZİNİ	v
1. GİRİŞ.....	1
2. MATERYAL YÖNTEM	3
2.1. Materyal ve yöntem	3
2.1.1. Arazi örtüsü ve arazi kullanımı değişimlerinin belirlenmesi (AKAÖD)	8
2.1.2. Normalize edilmiş fark bitki örtüsü indisi (Normalized difference vegetation index- NDVI).....	9
2.1.3. Arazi üretkenlik dinamiği	9
2.1.4. Toprak organik karbonunun (TOK) belirlenmesi	10
2.1.5. Erozyonun belirlenmesi	11
2.1.6. Parçalanma senaryo analizi	13
2.1.7. Biri hariç, hepsi hariç (One Out All Out-1OAO) yaklaşımı	15
2.2. Karar destek sistemi	17
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	18
3.1. Arazi Örtüsü ve Arazi Kullanım Değişikliği Sonuçları.....	18
3.2. NDVI analiz sonuçları	27
3.3. Arazi Üretkenlik Dinamiği	29
3.4. Toprak Organik Karbonu.....	35
3.5. Erozyon Tahmin Sonuçları	37
3.6. Parçalanma Senaryo Analizi Sonuçları	44
4. TR21 TRAKYA ATD DEĞERLENDİRME	51
5. KARAR DESTEK SİSTEMİ.....	54
6. İKLİMTRAK ARAZİ TAHRİBATI DENGELEME WEBGIS UYGULAMASI	69
KAYNAKÇA	72

SİMGELER DİZİNİ

%	Yüzde
C	Karbon
tC	Ton Karbon
g	Gram

KISALTMALAR

10AO	Biri Hariç Hepsi Hariç (One Out All Out)
AB	Avrupa Birliği
AKAÖ	Arazi Kullanımı- Arazi Örtüsü
AKAÖD	Arazi Kullanımı-Arazi Örtüsü Değişimi
AR-GE	Araştırma Geliştirme
AT	Arazi Tahribatı
ATD	Arazi Tahribatının Dengelenmesi
AÜ	Arazi Üretkenliği
AÜD	Arazi Üretkenlik Dinamiği
BM	Birleşmiş Milletler
BMÇMS	Birleşmiş Milletler Çölleşmeyle Mücadele Sözleşmesi
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
CORINE	Coordination of Information on the Environment
ÇEM	Çölleşme ve Erozyonla Mücadele
DEMİS	Dinamik Erozyon Modeli ve İzleme Sistemi
ETKE	Evrensel Toprak Kayıpları Eşitliği
KDS	Karar Destek Sistemi
SAY	Sürdürülebilir Arazi Yönetimi
STY	Sürdürülebilir Toprak Yönetimi
SYM	Sayısal Yükselti Modeli
TOK	Toprak Organik Karbonu
TOM	Toprak Organik Maddesi
TRGM	Tarım Reformu Genel Müdürlüğü
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
UN	United Nations (Birleşmiş Milletler)
UNCCD	Birleşmiş Milletler Çölleşme ile Mücadele Sözleşmesi (United Nations Convention to Combat Desertification)
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change (Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi)
BMİDÇS	Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
YETKE	Yenilenmiş Evrensel Toprak Kayıpları Eşitliği
vb.	Ve benzeri
vd.	Ve diğerleri

ŞEKİİLLER DİZİNİ

Şekil 1. ATD methodolojik yaklaşım	4
Şekil 2. Yer bulduru haritası	5
Şekil 3. Yükselti basamaklarını gösterir harita.....	6
Şekil 4. Eğim haritası.....	7
Şekil 5. TR21 Entropi analizi (2023)	15
Şekil 6. TR21 Entropi analizi iller (2023).....	16
Şekil 7. SKA 15.3.1 alt göstergelerinin birleştirilmesi-10AO	16
Şekil 8. AKAÖ sınıfları nisbi % değişim.....	19
Şekil 9. TR21 Trakya 1990 yılı AKAÖ haritası	23
Şekil 10. TR21 Trakya 2000 yılı AKAÖ haritası	24
Şekil 11. TR21 Trakya 2010 yılı AKAÖ haritası	25
Şekil 12. TR21 Trakya 2010 yılı AKAÖ haritası	26
Şekil 13. TR21 NDVI yıllık zaman serileri (Landsat 5).....	28
Şekil 14. TR21 NDVI yıllık zaman serileri (Landsat 8).....	28
Şekil 15. TR21 NDVI aylık zaman serileri (Landsat 5)	28
Şekil 16. TR21 NDVI aylık zaman serileri (Landsat 8)	29
Şekil 17. AÜD sınıfları dağılımı 2023 yılı	30
Şekil 18. AÜD sınıf toplam değerleri dağılımı 2023 yılı.....	31
Şekil 19. TR21 Arazi üretkenlik dinamiği haritası	32
Şekil 20. TR21 Trakya TOK haritası	36
Şekil 21. 1990-2023 yılları arası erozyon değişim oranları grafiksel gösterim	37
Şekil 22. TR21 1990 yılı erozyon haritası	39
Şekil 23. TR21 2000 yılı erozyon haritası	40
Şekil 24. TR21 2010 yılı erozyon haritası	41
Şekil 25. TR21 2023 yılı erozyon haritası	42
Şekil 26. TR21 Erozyon bakımından tahribat haritası.....	43
Şekil 27. TR21 Parçalanma (Entropy) bakımından tahribat haritası.....	45
Şekil 28. TR21 Mevcut durum senaryosu (BaU) bakımından tahribat haritası	46
Şekil 29. TR21 Ekonomik gelişme senaryosu bakımından tahribat haritası	47
Şekil 30. TR21 Ekosistem hizmetlerinin korunması bakımından tahribat haritası	48
Şekil 31. TR21 1990 - 2023 yılları arası nüfus yoğunluğu haritası (TÜİK)	49
Şekil 32. TR21 1990-2023 yılları arası nüfus yoğunluk değişimi haritası	50
Şekil 33. ATD analizi sonuçları karşılaştırmalı grafiksel gösterim	52
Şekil 34. TR21 ATD haritası AKAÖD-AÜD-TOK-Erozyon	54
Şekil 35. TR21 ATD haritası AKAÖD-AÜD-TOK-Erozyon-Parçalanma	55
Şekil 36. TR21 ATD haritası AKAÖD-AÜD-TOK-Erozyon-BaU2050	56
Şekil 37. TR21 ATD haritası AKAÖD-AÜD-TOK-Erozyon-Ekonomik2050	57
Şekil 38. TR21 ATD haritası AKAÖD-AÜD-TOK-Erozyon-Ekosistem2050.....	58
Şekil 39. Karar destek Buğday - Anız - Ayçiçek münavebesi (OM %1,5)	54
Şekil 40. Karar destek Buğday - Anız - Ayçiçek münavebesi (OM %2)	55
Şekil 41. Karar destek Buğday - Anız - Ayçiçek münavebesi (OM %2,5)	56
Şekil 42. Karar destek Buğday - Anız - Ayçiçek münavebesi (OM %3)	57
Şekil 43. Karar destek Buğday - Anız - Ayçiçek münavebesi (OM %3,5)	58
Şekil 44. Karar destek Buğday - Baklagil - Ayçiçek münavebesi (OM %1,5).....	59
Şekil 45. Karar destek Buğday - Baklagil - Ayçiçek münavebesi (OM %2)	60
Şekil 46. Karar destek Buğday - Baklagil - Ayçiçek münavebesi (OM %2,5).....	61
Şekil 47. Karar destek Buğday - Baklagil - Ayçiçek münavebesi (OM %3)	62

Şekil 48. Karar destek Buğday - Baklagil - Ayçiçek münavebesi (OM %3,5).....	63
Şekil 49. Karar destek Buğday - İşlenmiş Toprak - Ayçiçek münavebesi (OM %1,5).....	64
Şekil 50. Karar destek Buğday - İşlenmiş Toprak - Ayçiçek münavebesi (OM %2).....	65
Şekil 51. Karar destek Buğday - İşlenmiş Toprak - Ayçiçek münavebesi (OM %2,5).....	66
Şekil 52. Karar destek Buğday - İşlenmiş Toprak - Ayçiçek münavebesi (OM %3).....	67
Şekil 53. Karar destek Buğday - İşlenmiş Toprak - Ayçiçek münavebesi (OM %3,5).....	68
Şekil 54. Arazi tahribatı karar destek sistemi giriş.....	69
Şekil 55. WEBGIS uygulaması, karar destek sistemi	70
Şekil 56. WEBGIS uygulaması, analizler	70

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1. Görüntü tarihleri	8
Çizelge 2. Arazi kullanımı ve arazi örtüsü sınıfı (Retiere vd. 2015, Anonymous 2016b)	8
Çizelge 3. NDVI sınıf değerleri (Aquino 2018'den alınmıştır)	9
Çizelge 4. Arazi Üretkenlik dinamiği sınıfları (Retiere vd. 2015)	10
Çizelge 5. TR21 Trakya AKAÖ sınıfları alansal oransal dağılımı	18
Çizelge 6. AKAÖ sınıfları nisbi % değişim	18
Çizelge 7. NDVI sınıf ve aralıkları	27
Çizelge 8. NDVI frekans dağılımı ve ATD sınıf karşılıkları.....	27
Çizelge 9. AÜD sınıfları dağılımı 2023 yılı özet bilgi.....	30
Çizelge 10. 1990 - 2023 yılları arası AÜD değerleri	33
Çizelge 11. AÖAK bazında ortalama erozyon değerleri (ton/ha ⁻¹ /yıl ⁻¹)	37
Çizelge 12. 1990-2023 yılları arası erozyon değişim oranları	37
Çizelge 13. TR21 AKAÖD-AÜD-TOK-Erozyon dikkate alınarak hesaplanan ATD	51
Çizelge 14. TR21 AKAÖD-AÜD-TOK-Erozyon-Parçalanma dikkate alınarak hesaplanan ATD	51
Çizelge 15. TR21 AKAÖD-AÜD-TOK-Erozyon-Bau2050 dikkate alınarak hesaplanan ATD	51
Çizelge 16. TR21 AKAÖD-AÜD-TOK-Erozyon-Ekonomik2050 dikkate alınarak hesaplanan ATD	51
Çizelge 17. TR21 AKAÖD-AÜD-TOK-Erozyon-Ekosistem2050 dikkate alınarak hesaplanan ATD.....	52
Çizelge 18. TR21 bölgesi karar destek sistemi sonuçları (ton/ha).....	54

1. GİRİŞ

Tarım arazileri; iklim, toprak, topoğrafya ve jeomorfoloji, arazi örtüsü ve kullanımı, su, sosyo-ekonomi ve yönetim gibi nedenlerin karmaşık ve karşılıklı etkileşimleri sonucunda tahribata uğramakta, neticede bu önemli varlıkta kayda değer azalışlar yaşanmaktadır. Öyle ki, sürdürülebilir olmayan toprak ve arazi yönetimi uygulamalarına bağlı olarak dünya üzerindeki kullanılabilir arazilerin %25'i tahribata uğramış durumdadır (Anonymous 2018). Birleşmiş Milletler Çölleşme ile Mücadele Sözleşmesi (BMÇMS) raporlarına göre 1.5 milyardan fazla nüfus yavaş yavaş tahribata uğrayan toprağa doğrudan bağımlı durumdadır. Her yıl 75 milyar ton verimli toprak, arazi tahribatı nedeniyle kaybedilmektedir (UN 2021). Yine, her yıl 12 milyon hektar arazi, çölleşme ve kuraklık nedeniyle tahrip olmakta olup, kaybolan bu arazide 20 milyon ton tahıl yetiştirilmesi mümkün olabilmektedir (ELD Initiative 2015). Bu nedenden dolayı arazi tahribatı; yerel, bölgesel ve küresel öneme sahip evrensel bir konu olarak gündemde kalmaya devam etmektedir.

Arazi tahribatı; küresel yaşam alanlarını etkileyen en önemli sorunlardan birisi olup, verimliliğinin, dolayısıyla gıda üretiminin azalmasına da yol açmaktadır. 2021 Küresel Gıda Krizleri Raporu'nda, 55 ülke ve bölgedeki 155 milyon insanın akut gıda güvensizliği yaşadığına ve acil gıda, beslenme ve geçim desteğine ihtiyaç duyduğuna dikkat çekmektedir (Anonymous 2021). Durum böyleyken, 2050 yılında 9.8 milyar olması beklenen dünya nüfusunun nasıl besleneceği sorusu halen sorgulanmaktadır (Montanarella 2016, UN 2021). Devam eden arazi tahribatına yönelik süreçlerle ilgili olarak, bu soru daha da önemli hale gelmektedir. Bu durumun cevabı ise arazi tahribatına yol açan iç dinamiklerin bilinmesinin yanı sıra aynı zamanda ilgili döngüleri oluşturan faktörlerin anlaşılmasına da dayanmaktadır.

ATD, "ekosistem işlevlerini, hizmetlerini desteklemek ve gıda güvenliğini artırmak için gerekli olan arazi kaynaklarının miktarının, kalitesinin belirli zamansal mekânsal ölçekler ve ekosistemler içinde sabit kaldığı veya arttığı bir durum" olarak tanımlanmaktadır (UNCCD, 2016). Kavram, somut bir "net kayıp yok" hedefi etrafında çabaları canlandırmak için ortaya atılmıştır. Bu kayıpların kazançlarla dengeleneceği şekilde mevcut bozulmayı tersine çevirecek önlemlerle birleştirilen, arazi bozulmasını önlemeye veya azaltmaya yönelik önlemlere yönelik ikili bir yaklaşım yoluyla dünyanın sağlıklı, verimli toprak kaynağını korumayı amaçlamaktadır (Cowie 2018). ATD hedefi küresel bir hedeftir ve ülkeler, ulusal düzeyde ATD'ye gönüllü olarak taahhütte bulunmaya davet edilmiştir.

ATD'nin amaç ve hedefleri dengeleme statüsüne ulaşmak, araziye dayalı doğal sermayenin korunmasını veya geliştirilmesini gerektirir. Bu nedenle, ATD'nin istek uyandıran hedefi, insanlığın gelecekteki refahını desteklemek için karaya dayalı doğal sermaye stoklarını ve ilgili ekosistem hizmetlerinin gelişimini sürdürmek ve iyileştirmektir. Bu vizyon aşağıdaki hedeflerle desteklenmektedir (Cowie 2018):

1. Doğal ve yönetilen ekosistemlerden ekosistem hizmetlerinin sürdürülebilir gelişimini sağlamak veya iyileştirmek. Bu, gıda güvenliğini artırmak için arazi verimliliğinin korunmasını veya iyileştirilmesini ve arazi sistemlerinin, bunlara bağımlı nüfusların direncinin arttırılmasını içerir;
2. Ayrı çevre, kalkınma hedeflerini ele alan politikalar ve önlemler arasındaki tutarlılık yoluyla diğer sosyal, ekonomik ve çevresel hedeflerle bir sinerji yaratmak;
3. Arazinin sorumlu ve kapsayıcı yönetimini güçlendirmek. Savunmasız ve marjinalize edilmiş insanların arazi kullanım haklarının korunmasına vurgu yaparak, araziye herkesin yararına olacak şekilde yönetmek.

Bir Akdeniz ülkesi olarak Türkiye ATD'yi taahhüt eden, ATD'ye ulaşmak için gönüllü hedefler belirlemek ve bunları ulusal politikalara dönüştürmek için UNCCD'nin 2014 pilot projesine katılan ilk ülkelerden

biridir (UNCCD 2016). Bu kapsamda Taraflar Konferansı 12 (COP 12) Türkiye'de düzenlenmiş ve Ankara Sözleşmesi ile 2030 yılına kadar ATD garanti altına alınmıştır. Ormanlık alanlarda, meralarda ve tarım alanlarında azalan üretkenliğin yanı sıra azalan arazi kalitesi ana olumsuz eğilimler olarak belirlenmiştir (Anonymous 2015). Gönüllü ATD hedefleri, bu nedenle, ağaçlandırma, yangından etkilenen orman alanlarının azaltılması, bozulmuş ormanların, meraların ve tarım alanlarının iyileştirilmesi ve sulama alanlarının artırılmasını içermektedir (Anonymous 2015).

2. MATERYAL YÖNTEM

Proje Marmara bölgesinde bulunan Tekirdağ, Edirne ve Kırklareli illerinde uygulanmaktadır (Şekil 2). TR21 Trakya Bölgesinde İklim Değişimine Adaptasyon için Nötr Arazi Bozunumu (İklimTrak) proje başlığı olarak seçilmiştir. Projenin amacı; TR21 Trakya Bölgesi'nde tarımsal üretimin sürdürülebilirliği için, Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı (UNDP) Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri (SKH, 2015)'nin 15. Maddesi ile uyumlu olarak; tarım arazilerindeki mevcut tahribat düzeyini ve iklim değişimi yanında diğer sosyoekonomik gelişmeler sonucu gelecekteki tahribatın nasıl değişeceğini ortaya koymak; ve Riskli bölgelerde arazi tahribatının durdurulması ve restorasyonu için stratejiler geliştirerek iklim değişimine karşı uyum sağlamaktır.

Proje hedefleri ise; WEB tabanlı bir arazi bozunumu izleme ve değerlendirme sistemi geliştirmek ve bu sistemi, arazi kullanımı değişikliği ve iklim değişikliğinin etkilerinin değerlendirilmesi modelleriyle birleştirerek Karar Destek Sistemi oluşturmak; TR21 Trakya bölgesindeki tarımsal üretimin iklim değişikliğine uyumu için gerekli tüm verilerin yanında Nötr Arazi Bozunumu hedeflerini içeren entegre bir veri tabanı oluşturmak; uygulanabilir ve sürdürülebilir bir tarımsal üretim için, üniversitelerin inovasyona yönelik Ar-Ge faaliyetlerine bilgi alışverişi ile kamu otoritelerinin dahil edilmesi ve Eylem Planı ve Kapasite Geliştirme Programı geliştirerek arazi bozunumunu önlemeye ve iklim değişimine adaptasyona toplumu hazırlamaktır.

Projenin başarılı bir şekilde sonuçlanması; bölgenin ekosistem hizmetlerini yerine getiren sağlıklı bir arazi/toprak yapısına kavuşmasına; arazi tahribatı konusunda bilinçli ve farkında bir toplum oluşmasına; çiftçilerin gelirlerinin sürdürülebilir bir şekilde artmasına; iklim değişimine kolayca uyum sağlanmasına; aşırı iklim olayları sonucu yaşanan olumsuz etkilerine karşı direnç geliştirmeye; ve iklim değişimini önlemeye katkı sağlayacaktır. Tüm bu katkılarından dolayı İklimTrak Projesi; toplumsal refahın yükselmesine ve gıda güvencesinin sağlanmasına hizmet edecektir.

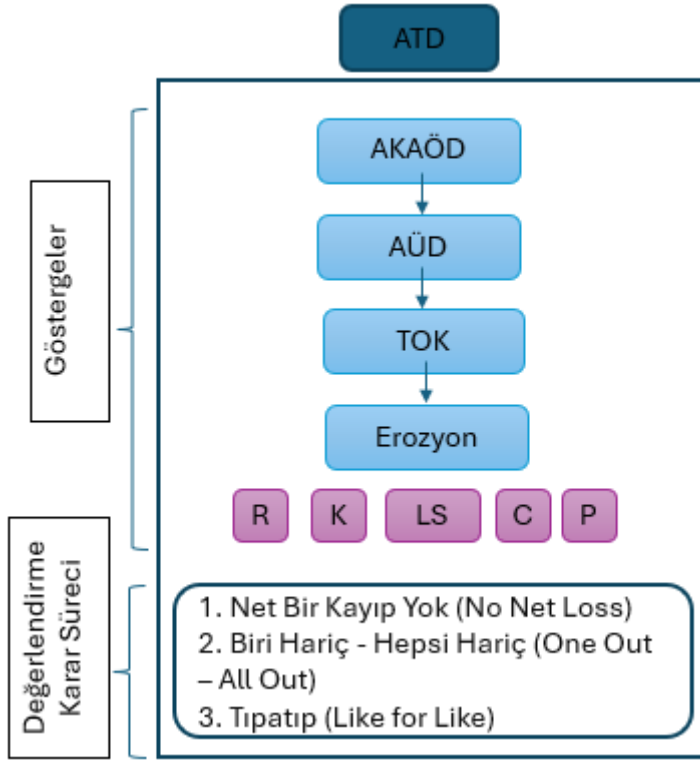
Proje kapsamında Birleşmiş Milletler Çölleşmeyle Mücadele Sözleşmesi (UNCCD) tarafından Arazi Tahribatının Dengelenmesi (ATD)'nin izlenmesi ve raporlanması için belirlenen üç ana gösterge olan Arazi Kullanımı Arazi Örtüsü Değişimi (AKAÖD), Arazi Üretkenlik Dinamiği (AÜD), Toprak Organik Karbonu (TOK) belirlenecektir. Ek olarak Türkiye gibi kurak, yarı kurak iklim kuşağında bulunan ülkelerde erozyon da önemli bir ATD parametresidir. Bu bağlamda erozyon faktörü de dördüncü bir parametre olarak ele alınacaktır (Şekil 1).

2.1. Materyal ve yöntem

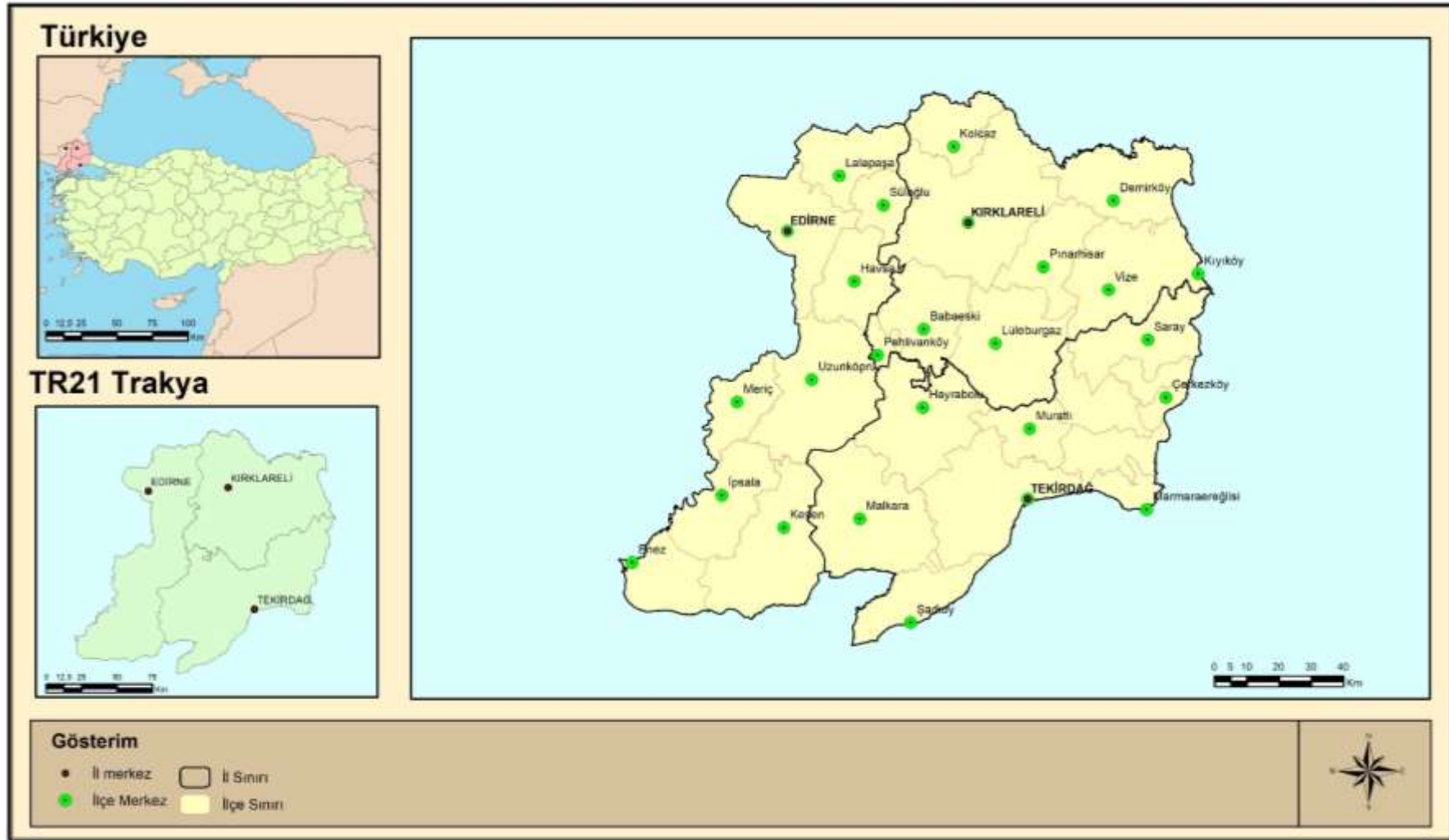
TR21 Trakya bölgesinde bulunan tüm illerin min. yükseltisi deniz seviyesindedir. Edirne ilinin maks. yükseltisi 601 m, ortalama yükseltisi ise 103,6 m dir. Kırklareli ilinin maks. yükseltisi 1030 m, ortalama yükseltisi ise 252,5 m dir. Tekirdağ ilinin ise maks. yükseltisi 924 m, ortalama yükseltisi ise 159,6 m dir (Şekil 3).

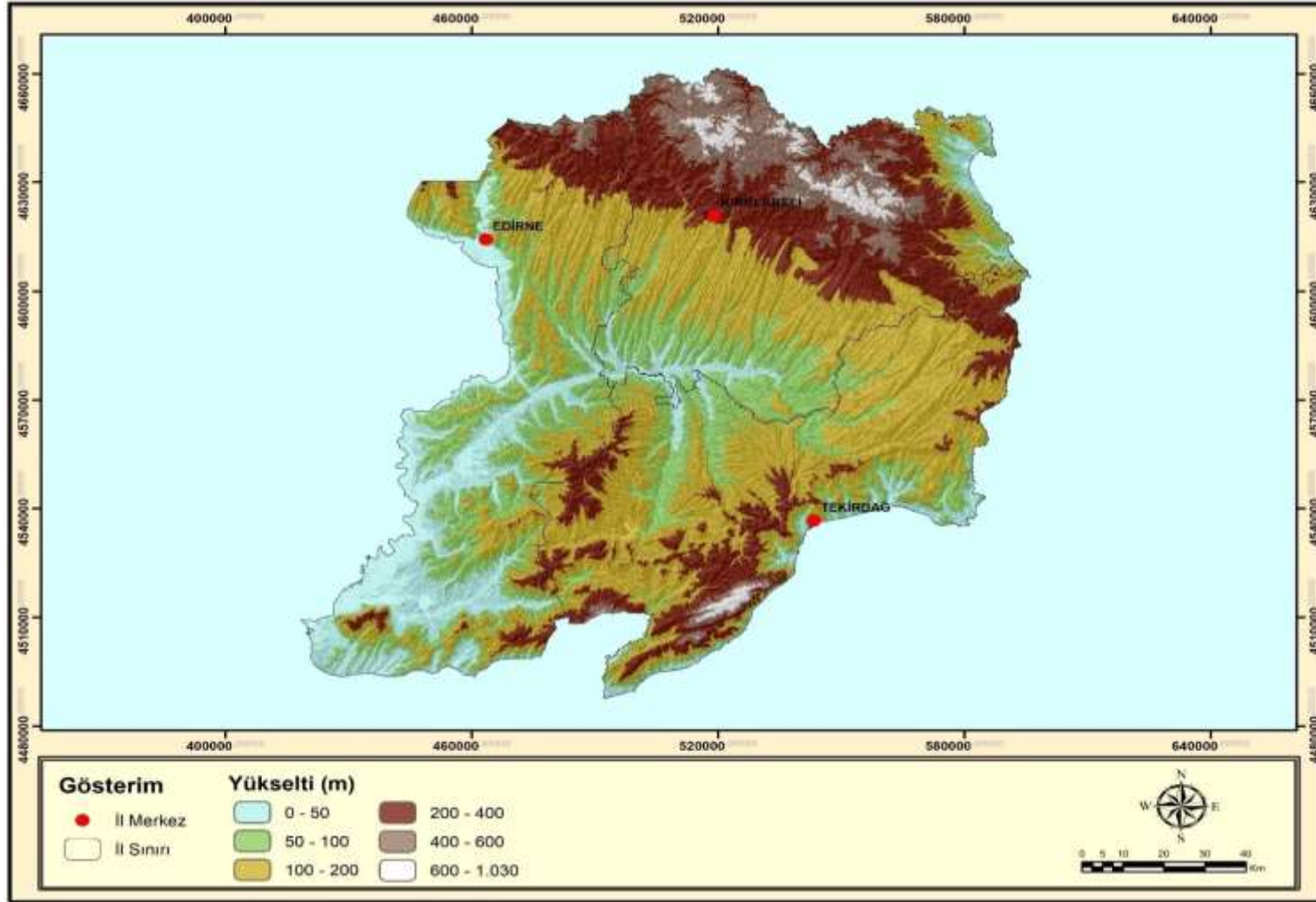
TR21 illerinin eğim değerlerine bakılacak olunursa; Edirne ili ortalama eğimi %6,5 dir. Kırklareli ilinin ortalama eğimi %11,6, Tekirdağ ilinin ise ortalama eğimi %9,16'dır (Şekil 4).

Bu değerler TR21 bölgesinin topografik olarak dalgalı ve kırıklı özellik göstermediğini, topografyaya bağlı kısıtlayıcı faktörler içermediği göstermektedir.

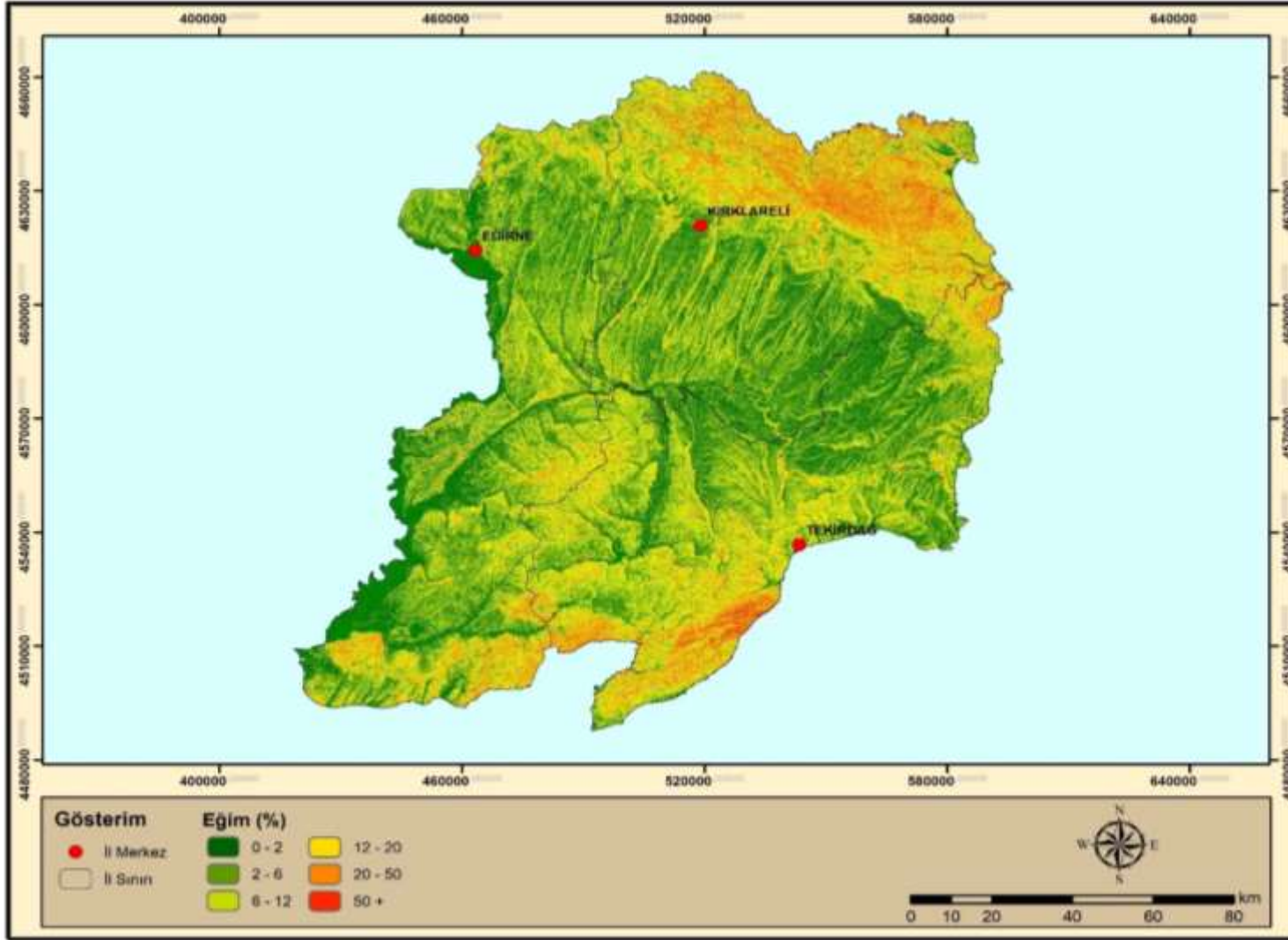


Şekil 1. ATD methodolojik yaklaşım





Şekil 3. Yükselti basamaklarını gösterir harita



Şekil 4. Eğim haritası

2.1.1. Arazi örtüsü ve arazi kullanımı değişimlerinin belirlenmesi (AKAÖD)

Arazi örtüsü ve arazi kullanımındaki değişimlerin belirlenmesi aşamasında zaman periyodu olarak 1990 – 2023 yılları arası seçilmiştir. 1990’li yıllarla birlikte şehirleşmenin artması, modern tarım tekniklerinin giderek yaygınlaşması ve İstanbul gibi büyük şehirlere yakın kırsal alanlarda arazi örtüsündeki baskıların artması bu döneme denk gelmektedir. Proje kapsamında 30m piksel çözünürlüğüne sahip Landsat uydu görüntüleri kullanılmıştır (Çizelge 1).

Çizelge 1. Görüntü tarihleri

Yıllar	Görüntü Tarihleri	Görüntü Türü
1990	Haziran - Eylül	Landsat 5 TM
	Haziran - Eylül	Landsat 5 TM
2000	Haziran - Eylül	Landsat 5 TM
	Haziran - Eylül	Landsat 5 TM
2010	Haziran - Eylül	Landsat 8 OLI
	Haziran - Eylül	Landsat 8 OLI
2023		

Kontrollü Sınıflandırma

Arazi örtüsünün uydu görüntülerinden sınıflandırılmasında küresel çapta karşılaştırmalara elverişli olması açısından ortak bir ontoloji (türlerin, özelliklerin ve karşılıklı ilişkilerin resmi isimlendirmesi ve tanımlaması) kullanılmıştır. Bu amaçla, FAO’nun Arazi Örtüsü Meta Dili (LCML)’nin kullanılmıştır (Anonymous 2016). Çizelge 2 ‘de verilen hiyerarşik sınıflandırma, ATD için referans olarak verilmektedir.

Çizelge 2. Arazi kullanımı ve arazi örtüsü sınıfı (Retiere vd. 2015, Anonymous 2016b)

Kod	Seviye 1	Seviye 2
1	Orman	Orman ağaç örtüsü
2	Mera	Otlak ve doğal çayırliklar, ağaççıklar, çalılık, fundalıklar, seyrek bitkili alanlar, doğal vejetasyon toplulukları ve mozaikler
3	Tarım	Yağmur suyuyla beslenen orta ve büyük otsu ekin alanları, sulama sistemiyle sulanan orta ve büyük, otsu ekin alanları, daimî ürünler, zirai plantasyon, tarım ürünleri toplulukları ve mozaikleri
4	Su yüzeyleri ve sulak alanlar	Açık sulak alanlar, karasal sulak alanlar, kıyı lagünü su kütlesi, deniz
5	Yapay Alanlar	Kent ve benzeri alanlar
6	Diğer Arazi Türleri	Kıraç arazi, kayalık araziler, kalıcı kar ve buzullar

UNCCD tarafından arazi tahribatı önemli bir kalkınma sorunu olarak görülmekte olup arazi örtüsünde meydana gelen değişimleri en önemli göstergelerden biri olarak nitelendirmektedir. Buna istinaden Birleşmiş Milletler Çölleşme ile Mücadele Sözleşmesi – UNCCD kapsamında 1990 – 2023 yılları arasında meydana gelen arazi örtüsü değişimleri matris ile betimlenmiştir. Bu matris ile yıllar arasında arazi örtüsünde meydana gelen değişimlerin yönü belirlenmeye çalışılmıştır.

2.1.2. Normalize edilmiş fark bitki örtüsü indisi (Normalized difference vegetation index-NDVI)

NDVI, detay ya da değişimin tespiti amacı ile literatürde en sık kullanılan bant oranlama yöntemidir. NDVI yöntemi ilk kez 1969 yılında Kriegler tarafından kullanılmıştır. Yöntem, bitki tarafından yansıtılan yakın kızılötesi ve görünür kırmızı banttaki farkın bulunmasına dayanır. Yönteme ilişkin matematiksel ifade aşağıda belirtilmiştir (Eşitlik 1). Spektrumun kırmızı bölgesi (0.62- 0.75 µm), güneş radyasyonunun klorofil tarafından maksimum absorpsiyonunu açıklar ve yakın kızılötesi bölge (0.75- 1.3 µm), yaprak hücre yapısı tarafından maksimum enerji yansımaya sahiptir. Yani yüksek fotosentetik aktivite, spektrumun kırmızı bölgesinde yansıma katsayılarının daha düşük değerlerine ve spektrumun yakın kızılötesi bölgesinde büyük değerlere yol açar. Yakın kızılötesi ve kırmızı bandların birbirine oranı, bitki örtüsünü diğer doğal nesnelerden açıkça ayrılmasına izin verir. Sonuç değerler -1 ve 1 arasında seyretmektedir. Su O'dan düşüktür, toprak yüzeyi 0 – 0.1 ve vejetasyon 0.1'den büyük değerler alır. Arazide kapallığı ifade etmek için uygulanır.

NDVI sonuçlarında genel itibari ile (0.1 ve altı) çıplak alanlar, kayalık ya da kar örtüsünü ifade etmektedir. Orta değerler (0.2 – 0.3) mera ve çayırılık alanları, yüksek değerler ise (0.6 – 0.8) ise orta düzeyde kapalı ormanları ifade etmektedir (Anonymous 2000).

$$NDVI = \frac{Yakın\ Kızılötesi - Kırmızı}{Yakın\ Kızılötesi + Kırmızı} \quad (1)$$

Arazi örtüsü ve arazi kullanımında meydana gelen pozitif ya da negatif değişimler bitki yoğunluk indisi olan NDVI ile birlikte değerlendirilmiştir. Örnek verilecek olunursa, orman alanlarından tarım, mera, vb. alanlara olacak negatif değişimler tahribata işaret etmektedir. Ancak alan benzer zaman diliminde orman sınıfında kalmaktayken bitki yoğunluğunda azalma gözlenmekte olup bu durumda alanda negatif bir eğilimi işaret etmektedir. Buna bağlı olarak NDVI değerleri arazi üretkenlik dinamiğinin belirlenmesinde arazi örtüsü değişimlerine katkı sağlayan önemli bir parametre durumundadır.

Aquino vd. (2018) tarafından gerçekleştirilen çalışmada NDVI değer aralıkları ve sınıfları aşağıdaki çizelgede belirtilmiştir (Çizelge 3).

Çizelge 3. NDVI sınıf değerleri (Aquino 2018'den alınmıştır)

Sınıf	Sınıf aralığı
Çıplak toprak ve/veya su	$NDVI \leq 0$
Çok düşük	$0 < NDVI \leq 0.2$
Düşük	$0.2 < NDVI \leq 0.4$
Orta düşük	$0.4 < NDVI \leq 0.6$
Orta yüksek	$0.6 < NDVI \leq 0.8$
Yüksek	$0.8 < NDVI \leq 1$

Çalışma alanında gerçekleştirilen NDVI analizleri sonuçlarında frekans analizi yapılmış ve çalışma alanına özgü ortalama NDVI sınıf ve aralıkları belirlenmiştir.

2.1.3. Arazi üretkenlik dinamiği

Arazi örtüsündeki değişiklikler ulusal ya da yerel bilgilerle değerlendirildikleri takdirde olumlu ya da olumsuz olarak nitelendirilebilirler. Bazı kritik değişimler genellikle olumsuz olarak

nitelendirilirler, örneğin doğal ya da yarı doğal arazi örtüsü sınıflarından tarım alanı ya da yerleşim yerine geçişler, orman alanlarından diğer arazi örtüsü sınıflarına geçişler (ormansızlaşma), ve doğal veya yarı-doğal arazi örtüsü sınıflarından ve tarım alanlarından yerleşim yerlerine geçişler (şehirleşme gibi). Genel olarak, artan arazi üretkenliği gözlemlenen bölgeler gelişmekte olarak değerlendirilebilirken, azalan arazi üretkenliği arazi tahribatına işaret etmektedir. Arazi üretkenliği verileri, ormanların, çayır-mera alanların veya tarım alanlarının üretkenliğindeki düşüşün hesaplanması için arazi örtüsü sınıflarından faydalanılarak derlenebilmektedir. Örneğin: Çizelge 4’de verilen arazi sınıfı kodları dikkate alındığında yıllar arasında arazi örtüsü ve arazi kullanımında meydana gelen değişimin irdelenmesinde;

- 11, 22, 33, 44, 55 ve 66, 1990 ile 2023 arasında değişiklik yok anlamına,
- 13, ormandan (kod 1) ekilen alana (kod 3) 1990 ile 2023 arasında değiştiği anlamına,
- 45, sulak araziden (kod 4) suni alana (kod 5) 1990 ile 2023 arasında değiştiği anlamına gelmektedir.

Gözlem yılları arasında potansiyel olarak arazi örtüsü, arazi kullanım sınıflarında meydana gelen negatif eğilim kodları 12, 13, 15, 23, 25, 26, 35, 36, 43’tür. Pozitif eğilim kodları ise 51, 52, 53, 21, 31, 32, 61, 62, 63’tür.

Avrupa Komisyonu Ortak Araştırma Merkezi’nin Arazi Üretkenliği Dinamikleri- AÜD (Land Productivity Dynamics-LPD) veri setinde 5 adet LPD sınıfı tanımlamaktadır: 1) azalan, 2) azalmanın ilk belirtileri, 3) durağan (stabil) ama riskli, 4) durağan ve risksiz ve 5) artan. Üretkenlik eğilimlerini tanımlayan bu beş niteliksel sınıf, kazanılan ya da kaybedilen yıllık üretkenliğin nicel bir ölçüsüne doğrudan karşılık gelmemektedir. Söz konusu beş sınıf, gözlemlenen süreç boyunca fotosentez yönünden aktif vejetasyonda meydana gelen olumlu ve olumsuz değişikliklerin yoğunluğu ve sürekliliğinin göstergesidir. Tahribe uğramış arazilerin tespiti için, 1) azalan, 2) azalmanın ilk belirtileri ve 3) durağan ancak riskli LPD sınıflarına dikkat edilmesi önerilmektedir (Çizelge 4). Arazi verimliliği verileri, ormanların, otlak ve çayırlikların veya tarım alanlarının verimlerindeki düşüşün hesaplanması için arazi örtüsü sınıflarından faydalanılarak belirlenmiştir.

Çizelge 4. Arazi Üretkenlik dinamiği sınıfları (Retiere vd. 2015)

Sınıf	Tanımlama
1	Arazi üretkenliğinin azalması
2	Arazi üretkenliğinin azalma eğilimi göstermeye başlaması
3	Üretkenlik durağan, fakat stres altında
4	Üretkenlik durağan, stres altında değil
5	Arazi üretkenliğinin artması

2.1.4. Toprak organik karbonunun (TOK) belirlenmesi

Toprak organik karbonu (TOK), toprak organik maddesi içerisinde oluşan karbonu ifade eder. TOK; bitki ve hayvan kalıntılarının, kök salgılarının, canlı ve ölü mikroorganizmaların ve toprak biyotasının ayrışması yoluyla toprağa girmektedir. İnorganik formlarının meydana geldiği durumlar hariç, karbonun çoğu Toprak Organik Karbonu (TOK) olarak adlandırılmaktadır. Toprakta bulunan TOK miktarı iklim, toprak, bitki örtüsü ve antropojenik müdahalelere bağlı olarak değişim göstermektedir. Toprakta SAY standartları kapsamında yapılan faaliyetlerin

toprak özellikleri ve süreçleri üzerinde güçlü ve olumlu etkileri bulunmaktadır (Chotte vd. 2019). SAY'ı kullanarak TOK'u yönetmek ve buna bağlı olarak ATD'yi etkin kılarak toprakların sürdürülebilir kullanımı büyük oranda sağlanmaktadır.

TOK verisi için Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü (ÇEM) tarafından 2018 yılında tamamlanan Toprak Organik Karbon projesi kapsamında elde edilen veriler temin edilmiştir. Trends.Earth uygulaması yeterli veri ve donanım altyapısı olmayan ülkelerin ATD raporlamalarını yapabilmeleri için küresel veri tabanları kullanılarak "UNCCD, Lund University, Conservation International, GEF, NASA, Bern University" tarafından geliştirilmiştir. ÇEM'den alınan TOK datasını desteklemek için Trends.Earth TOK datası kullanılmıştır.

TOK'da yıllar arasında meydana gelen değişimlerden kaynaklı tahribat Eşitlik 2 ile izlenmektedir. Çıkan sonuçlar değerlendirilirken temel veri ile izleme dönemi sonunda TOK stoğunda meydana gelen %10'dan fazla değişim tahribat veya artış olarak nitelendirilirken, %10 sınırları içinde kalan değişimler değişimin olmadığı anlamı taşımaktadır. %10 değişim eşiği UNCCD (2017) tarafından önerilmekle birlikte ülkelerin koşulları dikkate alınarak eşiğin değiştirilebileceği belirtilmiştir.

$$r_{TOK} = \frac{TOK_{tn} - TOK_{t0}}{TOK_{t0}} * 100 \quad (2)$$

Eşitlikte;

r_{TOK} : TOK'da meydana gelen % değişim

TOK_{t0} : t0 anındaki TOK miktarı ($t \text{ C ha}^{-1}$)

TOK_{tn} : İzleme dönemi sonu TOK miktarı ($t \text{ C ha}^{-1}$)

2.1.5. Erozyonun belirlenmesi

ETKE yaklaşımı (Evresel Toprak Kayıpları Eşitliği) (Wischmeier & Smith, 1978; Renard vd., 1997), ülke, bölge ve havza ölçeğinde toprak kayıplarının tahmininde kullanılan modellerden sadece bir tanesidir ve ülkemizde de erozyon tehlikesi değerlendirmeleri amacıyla son dönemlerde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Proje kapsamında YETKE (Yenilenmiş Evrensel Toprak Kayıpları Eşitliği) yaklaşımı kullanılmış olup; eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (3)$$

Burada,

A: ortalama yıllık toprak kaybı ($\text{ton ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1}$),

R: yağış aşındırma enerjisi ($= E \times I30$) ($\text{MJ ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1} \times \text{mm h}^{-1}$),

K: toprak erozyon duyarlılığı ($\text{ton ha}^{-1} \times \text{ha MJ}^{-1} \times \text{h mm}^{-1}$),

L ve S: sırasıyla, eğim uzunluğu ve dikliği (LS: topografik etmen),

C: bitkisel örtü ve ürün yönetimi ve

P: toprak-su koruma önlemleri etmenleridir.

Toprak ve su koruma geleneğinin iyi bir şekilde yerleşmiş olduğu ülkelerde, Eş. (3)'de örneği verilen yaklaşımlar aracılığıyla, erozyon tehlikesinin fiziksel ve niceliksel olarak değerlendirilmesi ve buna göre gerekli önlemlerin alınması ile toprak, su, topografya ve bitkisel örtü kaynaklarının sürdürülebilir bir biçimde planlanması mümkün olmaktadır.

Erozyon hesaplamalarında R ve C etmenlerindeki değişimler dikkate alınmıştır. K ve LS etmenleri sabit tutulmuştur.

Erozyon sonuçlarının ATD metodolojisi içinde bütünleşik kullanılabilmesi için UNCCD (2017) tarafından TOK için önerilen Eşitlik 2 dikkate alınmıştır. Toprak kayıplarında meydana gelen artı ve eksi yönlü %10'dan fazla değişim AT'de azalma ya da artma olarak nitelendirilirken %10 sınırları içinde kalan değişimler durağan olarak nitelendirilmiştir.

Yağış erozyon oluşturma gücü (ETKE/YETKE-R)

R etmenine ilişkin veriler ÇEM – DEMİS (Dinamik Erozyon Modeli ve İzleme Sistemi) sisteminden temin edilmiştir.

Toprak erozyon duyarlılığı (ETKE/YETKE-K)

Toprakların erozyona karşı duyarlılığını tanımlamaktadır. Erozyonu etkileyen diğer faktörler sabit tutulduğunda, farklı toprakların farklı oranlarda erozyona uğrayabileceği gerçeğini yansıtmaktadır. Toprakların erozyona gösterdiği duyarlılık, toprağın yapısal (strüktürel) ve hidrolojik özelliklerine bağlıdır; bunlar, toprağın su geçirgenliği, agregat dayanıklılığı, tane büyüklük dağılımıdır.

- Tane büyüklük dağılımı
 - Silt + Çok ince kum
 - Kum
- Agregat dayanıklılığı
 - % Organik madde
 - Üst toprak yapısı (Strüktür)
- Toprağın su geçirgenliği

Toprak aşınabilirliği, toprakların erozyona karşı doğal direncinin bir ölçüsüdür. Yüksek derecede aşınabilir topraklar, yağmur damlası çarpması ve akış süreçleriyle kolayca parçalanır, yer değiştirir ve taşınır.

Çalışma kapsamında K etmenine ilişkin raster veriseti ÇEM-DEMİS'den temin edilmiştir.

Eğim uzunluğu ve dikliği (ETKE/YETKE-LS)

Topografik faktör, toprak kaybı tahminlerinde ETKE/YETKE'nin en hassas parametresidir ve basit bir hassasiyet analizinde diklik faktörünün daha yüksek bir göreceli etkisi gözlemlenir. YETKE'deki topografik faktör (LS) hesaplamaları, birim alan başına toprak kayıplarının eğim uzunluğu ve dikliği ile arttığı varsayımına dayanmaktadır.

Nicel olarak, eğim uzunluğu (l, m) ve eğim dikliği (s, %), sırasıyla birimsiz L ve S faktörleriyle YETKE'ye dahil edilir (Eşitlik 4).

$$LS = \left(\frac{\chi\eta}{22,13} \right)^{0,4} \cdot \left(\frac{\sin\theta}{0,0896} \right)^{1,3} \quad (4)$$

Burada, χ , yüzey akış yoğunlaşma sayısını; η , hesaplama yapılan hücrelerin büyüklüğü ve θ , eğim dikliğini ($^{\circ}$) vermektedir.

Bitki örtü ve ürün yönetimi (ETKE/YETKE-C)

Tarımsal üretim ve yönetim uygulamalarının erozyon oranları üzerindeki etkisi C etmeni olarak ifade edilir (Renard vd. 1997). YETKE ürün yönetimi faktörü, belirli koşullar altında bir ürünün varlığında oluşan toprak kayıplarının, aynı alanın bitki örtüsüz ve devamlı nadasa bırakıldığı zamanda oluşan toprak kayıplarına oranıdır.

Çalışmada, çizelge 1’de belirtilen tarihlere ilişkin uydu görüntülerinden NDVI (Eşitlik 1) yardımıyla YETKE C değerleri hesaplanmış ve Eşitlik 5 yardımıyla NDVI değerlerinden YETKE C türetilmiştir (Van der Knijff vd. 2000).

$$C = \exp \left[-\alpha \times \frac{NDVI}{\beta - NDVI} \right] \quad (5)$$

Burada, α ve β NDVI–C eğrisinin şeklini tanımlayan parametrelerdir, burada $\alpha=2$ ve $\beta=1$ Avrupa koşulları için tatmin edici sonuçlar sağlar (Durigon vd. 2014). Bu nedenle sabit değerler aynı şekilde kullanılmıştır.

Toprak koruma yöntemleri (ETKE/YETKE-P)

Çalışma kapsamında YETKE P değeri koruma önlemleri dikkate alınmadığından dolayı 1 olarak dikkate alınmıştır.

2.1.6. Parçalanma senaryo analizi

Lüleburgaz-Çorlu ve Çorlu-Kapaklı aksı 1990’lı yılların başından itibaren düzensiz sanayileşme ve buna bağlı olarak artan iç göçün sebep olduğu şehirleşme ile TR21 Bölgesindeki en yoğun nüfusa sahip alandır. Mekansal planlamalarda bu bölge sanayi ve hizmet odaklı gelişim bölgesi olarak belirlenmiştir. Mekânsal değişim dinamiğinin en fazla olduğu bu alan TR21 Bölgesinin sıcak nokta bölgesidir. Çalışma alanının diğer kısımlarında ise mekânsal değişim daha yavaş ilerlemekte hatta bazı bölgelerde stabil kalmaktadır. Dağınık kentleşme ve sanayileşme özellikle tarım arazilerinin yok olmasına ve morfolojik olarak parçalanmasına yol açmaktadır. Proje kapsamında geleceğe yönelik arazi kullanım/arazi örtüsü değişimlerini hesaplamada sıcak nokta bölgesi için arazi kullanım değişikliği senaryoları oluşturulmuş, değişimin az olduğu alanlar için ise 1/100000 ölçekli TR21 Trakya Bölgesi Çevre Düzeni Planındaki kentsel ve endüstriyel gelişim alanları esas alınmıştır. Sıcak nokta bölgesindeki kentsel ve endüstriyel kullanım alanları 2050 yılı için hesaplanarak arazi kullanım değişikliği modeline aktarılmış ve bu alanların bölgeye nasıl yayılacağı haritalanmıştır.

Bu çalışmada, arazi kullanımı/arazi örtüsü değişimlerini belirlemek ve bu örüntülerin çalışma alanındaki zamansal ve mekânsal sonuçlarını anlamak için üç senaryo oluşturulmuştur. Senaryo çerçeveleri ve arazi kullanımı/arazi örtüsü talepleri, nüfus eğilimleri, bölgesel sosyoekonomik planlar ve ulusal çevre koruma düzenlemelerine dayanarak oluşturulmuştur. Bu üç senaryo, tarım arazilerinde kentleşme ve sanayileşme dinamikleri nedeniyle oluşan mekansal değişimler ve parçalanmanın daha iyi anlaşılmasını sağlayacak ve gelecekteki mekansal planlama çalışmaları için girdi olarak kullanılabilecektir. 2050’nin yirmi birinci yüzyılın yarısı olması ve yeni sanayi bölgelerinin 2030 ile 2050 arasında karar vericiler tarafından daha iyi planlama mevzuatları ile geliştirilecek olması bu yılın seçilmesinin nedenidir. 2030’dan sonra yeni sanayi bölgelerinin oluşması potansiyeli hem kentsel hem de endüstriyel arazi gereksinimlerini artıracaktır.

Senaryo 1: Mevcut Durum Senaryosu (BaU): Verimli tarım alanları, orman alanları ve sulak alanlar ulusal yasalarla korunuyor olmasına rağmen, bu koruma kuralları 1990 ile 2023 yılları arasında çalışma alanında etkili bir şekilde uygulanmamıştır. Senaryo, bu durumun gelecekte de devam edeceği varsayılarak oluşturulmuştur. Kentsel alanlar artacaktır, ancak bu senaryoda sanayi bölgelerinde bir değişiklik olmayacaktır. Bu senaryoda 2050 yılına kadar arazi kullanımı/arazi örtüsü dönüşümü için herhangi bir kısıtlama kriteri uygulanmamıştır.

Senaryo 2: Ekonomik Gelişme Senaryosu: Mevcut Organize Sanayi Bölgelerindeki (OSB) doluluk oranı bugün %50-60 civarındadır. TR21Trakya Bölgesi için ekonomik kalkınma planları, yeni sanayi bölgeleri inşa etmek için mevcut alanların %75’inin doldurulması gerektiğini göstermektedir. Ergene Derin Deniz Deşarj Projesi’ne göre, 2030 yılında tüm OSB’lerin tamamen dolacağı varsayılmış ve endüstriyel tesislerin su talepleri havzalar arası su transfer projesi kapsamında 2030 yılına göre planlanmıştır.

Bu senaryoda, 2050 yılına kadar endüstriyel ve kentsel alanlardaki artışa bağlı olarak arazi kullanımı/arazi örtüsü talepleri ve mekansal değişimler analiz edilmiştir. 2030-2050 yılları arasında endüstriyel arazi taleplerini hesaplamak için Çevre Düzeni Planındaki endüstriyel kalkınma bölgeleri kullanılmıştır.

İç göçe bağlı olarak gerekli kentsel alan talepleri de 2030-2050 yılları arasında hesaplanmıştır. Ancak, bu senaryoda arazi kullanımı/arazi örtüsü dönüşümü için arazi sınıfları arasında herhangi bir kısıtlama kriteri uygulanmamıştır.

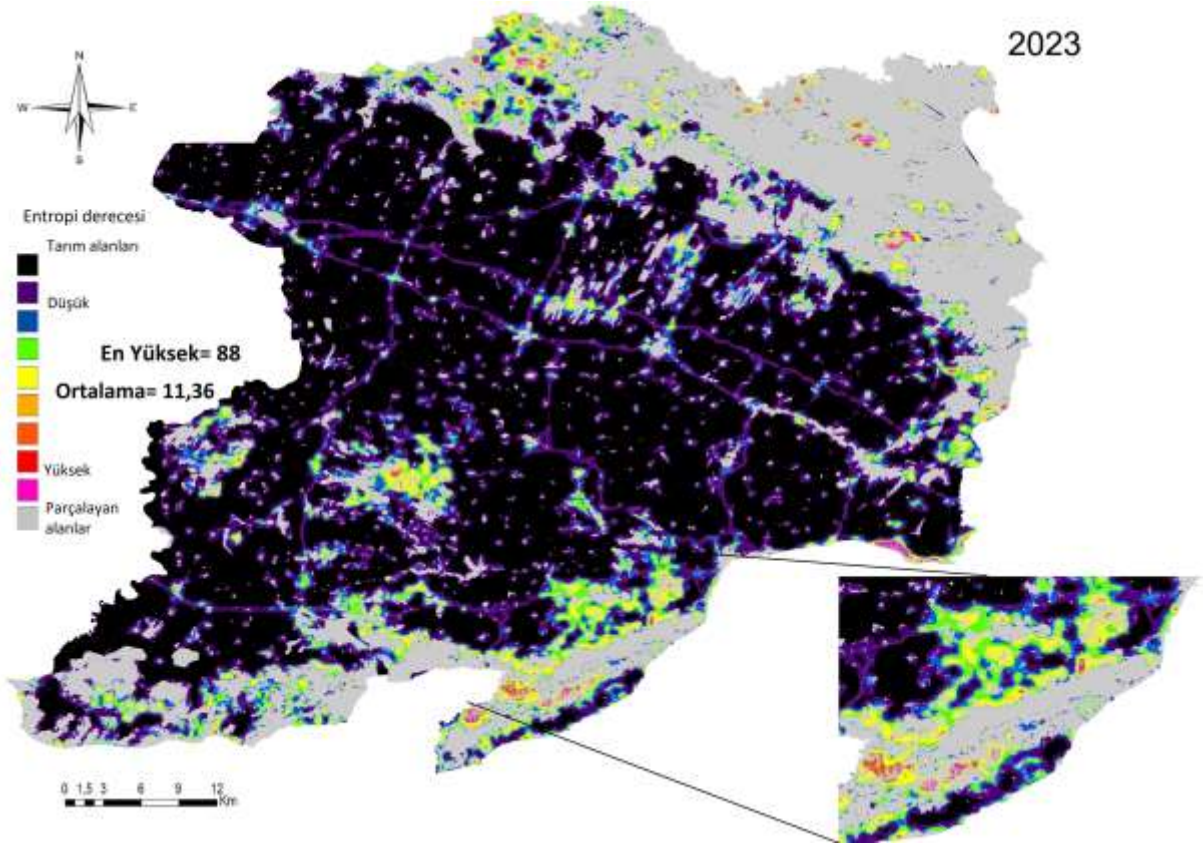
Senaryo 3: Ekosistem hizmetlerinin korunması senaryosu: Tarım ve orman alanları, gıda güvenliği, toprak erozyonunun kontrolü, derin su beslemesinin düzenlenmesi ve türler için yaban hayatı habitatı gibi bazı ekosistem hizmetleri sağlar. Çalışma alanı, gıda, yem, fiber ve yağ bitkileri yetiştirmek için en uygun fiziksel ve kimyasal kombinasyonlar olan verimli tarım arazilerine sahiptir. 2017'den beri bölgede birinci sınıf tarım arazileri korunmaktadır ve bu alanlardaki kentsel ve endüstriyel alanların büyümesi hükümetler tarafından kısıtlanmaktadır.

Ormanlar, yeraltı suyu besleme alanlarının ana kaynağıdır. Tüm sektörler (evsel, endüstri ve tarım) çalışma alanındaki yeraltı suyundan su gereksinimlerini talep etmektedir. Ancak akifer seviyeleri, 25 yıllık dönemde evsel ve endüstriyel su kullanımı nedeniyle yaklaşık 100-150 m kadar önemli ölçüde düşmüştür.

Evsel ve endüstriyel kullanım için yeraltı suyuna bağımlılığı azaltmak amacıyla orman havzasında iki rezervuar planlanmaktadır. Ayrıca, Türkiye Cumhuriyeti Tarım ve Orman Bakanlığı-Su Yönetimi Genel Müdürlüğü tarafından finanse edilen "İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkileri" projesi kapsamında, iklim değişikliği nedeniyle çalışma alanının su potansiyelinde meydana gelebilecek olası değişimler geleceğe yönelik olarak modellenmiştir. RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına dayalı bölgesel modelleme sonuçları, yeraltı suyu bütçesinin iklim değişikliği nedeniyle 2050 yılına kadar azalacağını göstermektedir.

Çalışma alanında ekosistem hizmetlerinin korunmasına yönelik ihtiyaçlar ve yeraltı su kaynakları üzerindeki iklim değişikliği baskısı göz önünde bulundurularak, ulusal mevzuat ve su kaynaklarının, biyolojik çeşitliliğin ve yaban hayatı habitatının korunmasına ilişkin literatüre bağlı olarak orman alanları için 1 km mesafeli koruma tampon bölgesi oluşturulmasına karar verilmiştir. Bu senaryoda, orman alanlarına ve birinci sınıf tarım arazilerine 1 km mesafeli koruma tampon bölgesi, diğer arazi kullanım/arazi örtüsü türlerine dönüştürülemeyen, birlikte kısıtlı bir alan olarak belirlenmiştir. Bu senaryo için, kentsel alanların artacağı, ancak 2050 yılına kadar endüstriyel alanda bir değişiklik olmayacağı öngörülmektedir.

Arazi parçalanması - Entropi kavramı: Entropi kavramı, sistemin düzensizliğiyle ilişkilendirilebilir. Peyzaj ve çevre açısından, sürekli ve bağlantılı araziler, dağınık ve bağlantısız arazilerden daha düşük entropi gösterir. Entropi arazinin parçalanmasına bağlı olarak arazideki düzensizlik derecesini belirlemeye yararmaktadır. Özellikle dağınık, şekli bozuk ve parçalanmış büyük tarım arazileri entropinin yüksek olduğu bölgelerdir.



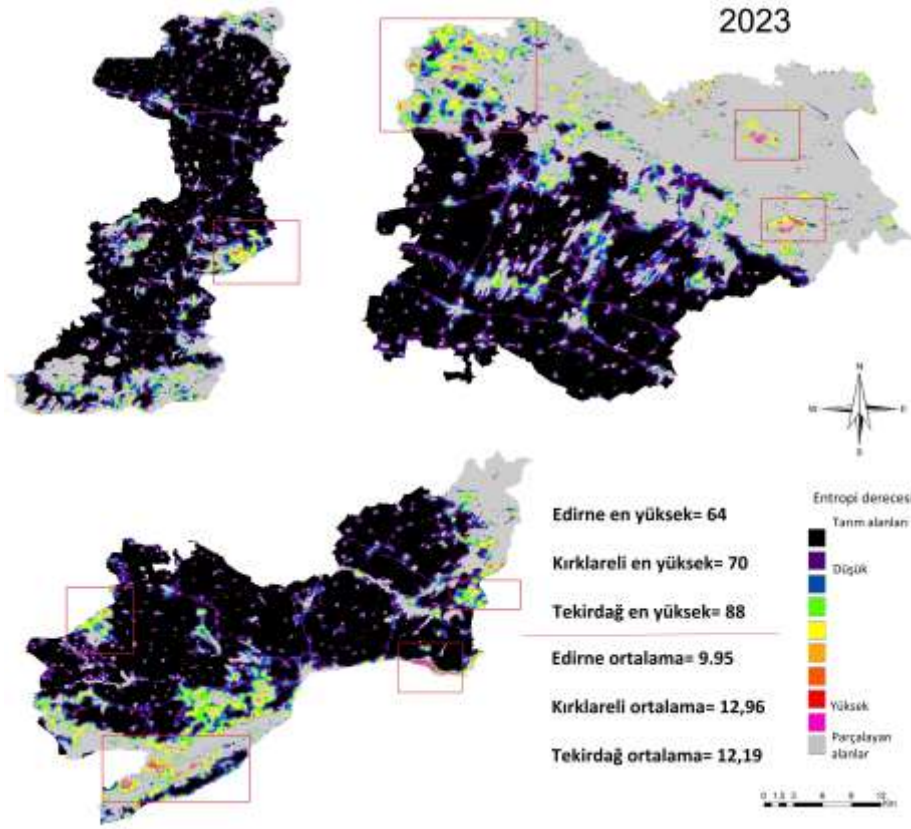
Şekil 5. TR21 Entropi analizi (2023)

2.1.7. Biri hariç, hepsi hariç (One Out All Out-10AO) yaklaşımı

ATD'nin üç temel göstergesi olan arazi örtüsü, arazi verimliliği, toprak organik karbonu ve erozyonda meydana gelen değişimlerin izlenmesinde biri hariç, hepsi hariç yaklaşımı benimsenmiştir. ATD'nin kavramsal çerçevesini de oluşturan bu yaklaşımda her bir göstergenin pozitif yönde değişmesi, artması ya da sabit kalması arazi tahribatının tersine çevrildiğini göstermektedir. Bu bağlamda tüm göstergelerde meydana gelen değişimleri özetleyen matrisler oluşturulmuştur (Şekil 7).

Eğer, göstergelerden birine ait piksel tahribatı işaret ediyorsa ATD kapsamında o alan tahribat olarak nitelendirilir. Eğer, göstergelerden birine ait piksel gelişimi işaret ediyor ve diğer göstergelere ilişkin pikseller durağan ise o alan gelişim gösteriyordur. Eğer, tüm göstergelere ilişkin pikseller durağan ise o alan durağan olarak nitelendirilir (Eşitlik 6).

$$10AO(X_{AÖAKD}, X_{AÜD}, X_{TOK}) \begin{cases} \text{Tahribat eğer bir } Xi = \text{tahribat} \\ \text{Durağan eğer bütün } Xi = \text{durağan} \\ \text{Gelişim eğer } Xi = \text{durağan yada gelişen} \end{cases} \quad (6)$$



Şekil 6. TR21 Entropi analizi iller (2023)

Arazi Üretkenlik Dinamiği	Arazi Örtüsü	Toprak Organik Karbonu	Erozyon	SKH 15.3.1
Artan	Artan	Artan	Artan	Artan
Artan	Artan	Artan	Durağan	Artan
Artan	Artan	Artan	Azalan	Azalan
Artan	Durağan	Artan	Artan	Artan
Artan	Durağan	Durağan	Durağan	Artan
Artan	Durağan	Azalan	Azalan	Azalan
Artan	Azalan	Artan	Artan	Azalan
Artan	Azalan	Durağan	Durağan	Azalan
Artan	Azalan	Azalan	Azalan	Azalan
Durağan	Artan	Artan	Artan	Artan
Durağan	Artan	Durağan	Durağan	Artan
Durağan	Artan	Azalan	Azalan	Azalan
Durağan	Durağan	Artan	Artan	Artan
Durağan	Durağan	Durağan	Durağan	Durağan
Durağan	Durağan	Azalan	Azalan	Azalan
Durağan	Azalan	Artan	Artan	Azalan
Durağan	Azalan	Durağan	Durağan	Azalan
Durağan	Azalan	Azalan	Azalan	Azalan
Azalan	Artan	Artan	Artan	Azalan
Azalan	Artan	Durağan	Durağan	Azalan
Azalan	Artan	Azalan	Azalan	Azalan
Azalan	Durağan	Artan	Artan	Azalan
Azalan	Durağan	Durağan	Durağan	Azalan
Azalan	Durağan	Azalan	Azalan	Azalan
Azalan	Azalan	Artan	Artan	Azalan
Azalan	Azalan	Durağan	Durağan	Azalan
Azalan	Azalan	Azalan	Azalan	Azalan

Şekil 7. SKA 15.3.1 alt göstergelerinin birleştirilmesi-10AO

2.2. Karar destek sistemi

Proje kapsamında çeşitli münavebe senaryoları ve organik madde (OM) senaryoları dikkate alınarak erozyon karar destek sistemi oluşturulmuştur. Öncelikli olarak TR21 bölgesinde yaygın olan ürün münavebe sistemleri kurgulanmıştır.

Ürün münavebe senaryoları;

- Buğday-Anız-Ayçiçek
- Buğday-Baklagil-Ayçiçek
- Buğday-İşlenmiş Toprak-Ayçiçek şeklinde kurgulanmıştır.

Bir sonraki aşamada ise OM oranları dikkate alınmıştır. OM değerleri %1,5-%2-%2,5-%3-%3,5 şeklinde sınıflandırılarak senaryoya konu edilmiştir. Her bir OM senaryosu için RUSLE-K parametresi yeniden hesaplanmış ve erozyon haritaları üserilmiştir.

Aynı zamanda RUSLE-C parametresi buğday, anız, baklagil, işlenmiş toprak, ayçiçek ürünleri için ayrı ayrı hesaplanarak erozyon modeline dahil edilmiştir.

Sonuç olarak 3 ürün senaryosu, 5 OM senaryosu dikkate alınarak toplamda 15 adet erozyon senaryosu oluşturularak haritalandırılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Arazi Örtüsü ve Arazi Kullanım Değişikliği Sonuçları

Çalışma alanında izleme periyodu boyunca orman, mera ve tarım alanlarında azalma görülmektedir. Şehirleşmenin etkisi ile yapay alanlarda artış görülmüştür. Yine aynı şekilde gerek sulama gerekse enerji ihtiyacından dolayı inşaa edilen barajlar neticesinde su yüzeylerinde de artış olmuştur (Çizelge 5-6) (Şekil 8-9-10-11-12).

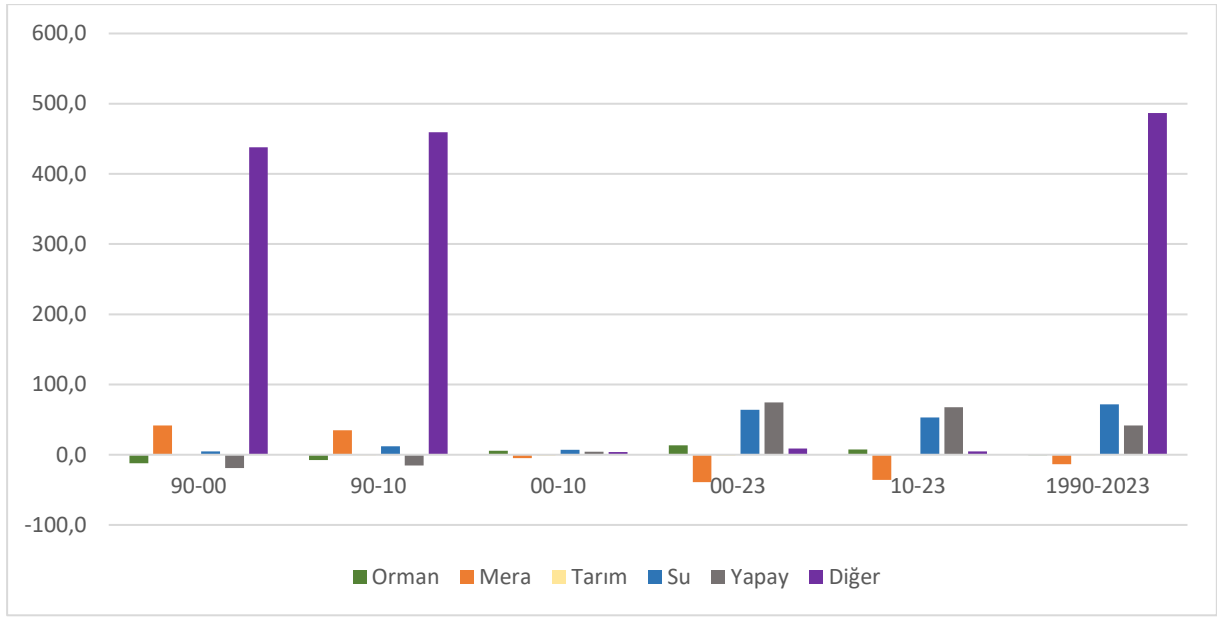
İzleme periyodu boyunca en önemli artış diğer sınıfında görülmüştür. Bu sınıf daha çok maden alanlarını, harfiyat döküm alanı, kumullar, vb. üretimden tamamen el çekirilmiş alanları ifade etmektedir.

Çizelge 5. TR21 Trakya AKAÖ sınıfları alansal oransal dağılımı

1990				2000			
Sınıf	Sınıf	Alan / ha	Alan (%)	Sınıf	Sınıf	Alan / ha	Alan (%)
1	Orman	482856,3	20,5	1	Orman	423513,6	23,6
2	Mera	132525,1	23,0	2	Mera	187820,6	15,0
3	Tarım	1209276	22,7	3	Tarım	1216137,0	19,4
4	Su	10603,77	2,2	4	Su	11094,2	2,6
5	Yapay	42584,11	0,2	5	Yapay	34531,0	0,2
6	Diğer	1083,739	31,3	6	Diğer	5831,7	39,1
	TOPLAM	1878928,6	100,0		TOPLAM	1878928,1	100,0
2010				2023			
Sınıf	Sınıf	Alan / ha	Alan (%)	Sınıf	Sınıf	Alan / ha	Alan (%)
1	Orman	446860,0	34,2	1	Orman	479433,1	36,7
2	Mera	178686,6	14,8	2	Mera	114772,6	15,1
3	Tarım	1199439,3	23,8	3	Tarım	1199848	23,9
4	Su	11885,8	2,6	4	Su	18195,2	2,6
5	Yapay	35996,6	0,4	5	Yapay	60321,92	0,4
6	Diğer	6060,4	24,3	6	Diğer	6357,851	21,4
	TOPLAM	1878928,6	100,0		TOPLAM	1878928,6	100,0

Çizelge 6. AKAÖ sınıfları nisbi % değişim

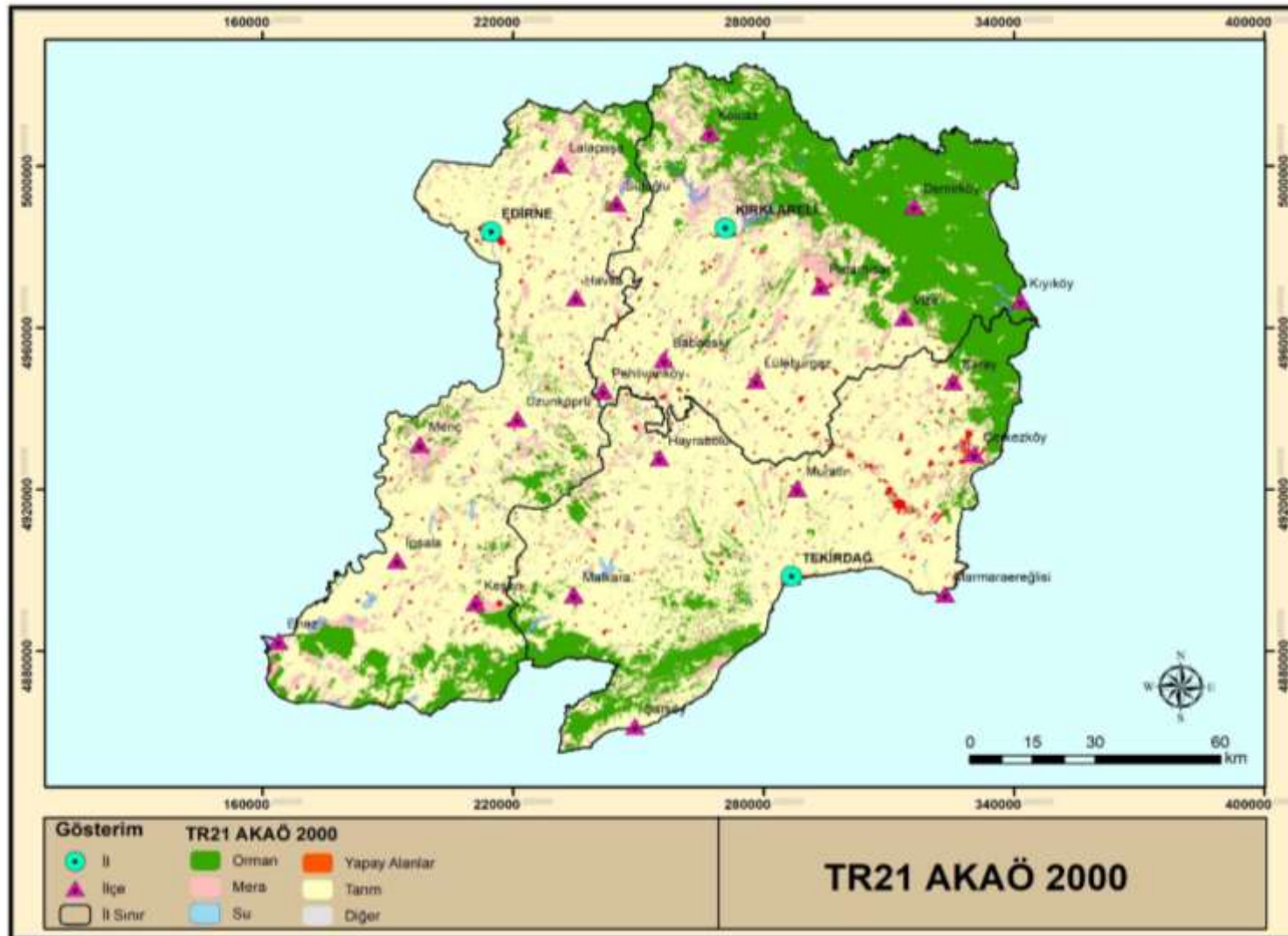
Yıllar Sınıf	Yıllar Arası Relatif Nisbi % Değişim					
	90-00	90-10	00-10	00-23	10-23	1990-2023
Orman	-12,3	-7,5	5,5	13,2	7,3	-0,7
Mera	41,7	34,8	-4,9	-38,9	-35,8	-13,4
Tarım	0,6	-0,8	-1,4	-1,3	0,0	-0,8
Su	4,6	12,1	7,1	64,0	53,1	71,6
Yapay	-18,9	-15,5	4,2	74,7	67,6	41,7
Diğer	438,1	459,2	3,9	9,0	4,9	486,7



Şekil 8. AKAÖ sınıfları nisbi % değişim



Şekil 9. TR21 Trakya 1990 yılı AKAÖ haritası



Şekil 10. TR21 Trakya 2000 yılı AKAÖ haritası



Şekil 11. TR21 Trakya 2010 yılı AKAÖ haritası



Şekil 12. TR21 Trakya 2010 yılı AKAÖ haritası

3.2. NDVI analiz sonuçları

Çalışma kapsamında 1986-2018 yılları arasında ilgili tarihlere ilişkin NDVI analizleri yapılmıştır. Çalışma alanında gerçekleştirilen NDVI analizleri sonuçlarında frekans analizi yapılmış ve çalışma alanına özgü ortalama NDVI sınıf ve aralıkları belirlenmiştir (Çizelge 7).

Belirlenen NDVI frekans değerlerine karşılık gelen NDVI ATD sınıf değerleri çizelge 8 de verilmiştir. Dört ATD sınıfında NDVI değerleri sınıflandırılarak AÖAK verileri ile entegre edilmiş ve Arazi Üretkenlik Dinamiği (AÜD) hesaplamalarına altlık teşkil etmiştir.

Aynı zamanda vejetasyondaki değişimi zaman serileri bazında görmek için NDVI analizleri yapılmıştır (Şekil 13-14-15-16). NDVI değerleri öncelikli olarak yağışla ilgilidir, buna bağlı olarak 2002 yılında ve 2016 yılında çok düşük seyrettiği gözlenmiştir. TR21 bölgesinde NDVI değerlerinin en düşük seyrettiği ay ocak olarak gözlenmiştir.

Çizelge 7. NDVI sınıf ve aralıkları

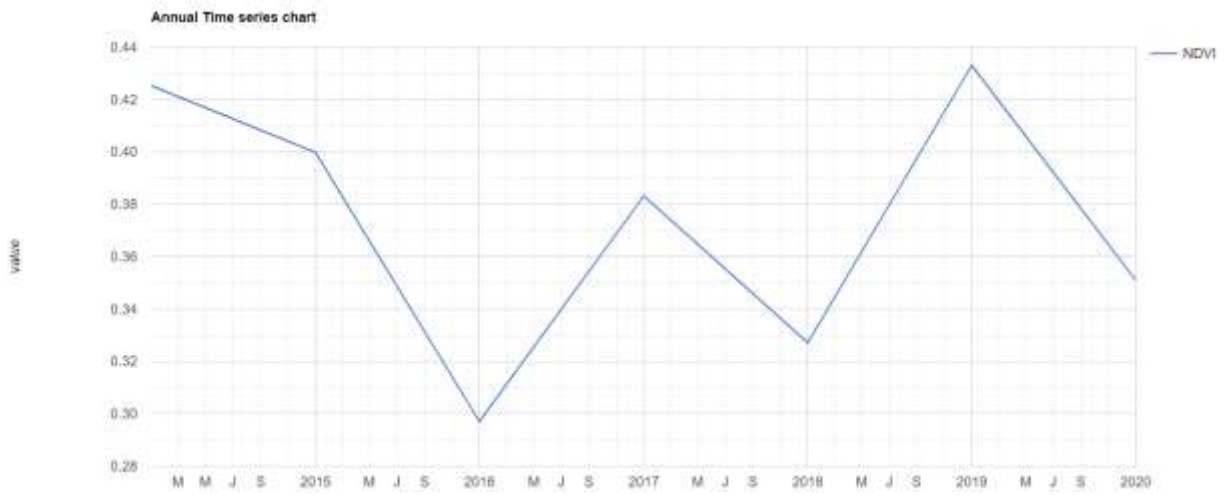
Sınıf	Sınıf aralığı
Çıplak toprak ve/veya su	$NDVI \leq 0$
Çok düşük	$0 < NDVI \leq 0.23$
Düşük	$0.23 < NDVI \leq 0.36$
Orta düşük	$0.36 < NDVI \leq 0.51$
Orta yüksek	$0.51 < NDVI \leq 0.67$
Yüksek	$0.67 < NDVI \leq 1$

Çizelge 8. NDVI frekans dağılımı ve ATD sınıf karşılıkları

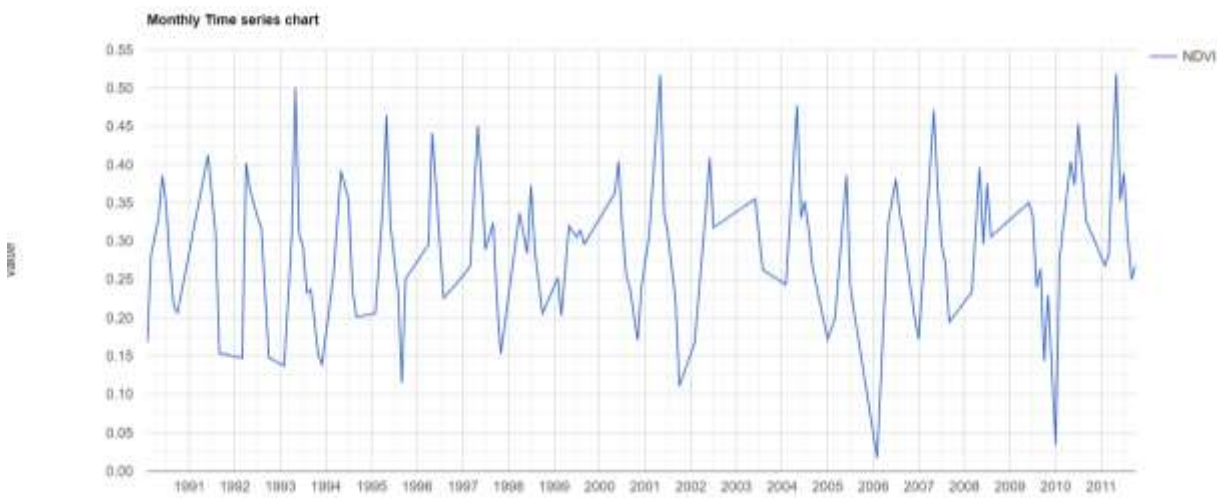
Sınıf frekans dağılımı	Sınıf aralığı	Sınıf ATD
Çıplak toprak ve/veya su	$NDVI \leq 0$	Çok zayıf
Çok düşük	$0 < NDVI \leq 0.23$	Çok zayıf
Düşük	$0.23 < NDVI \leq 0.36$	Zayıf
Orta düşük	$0.36 < NDVI \leq 0.51$	Orta
Orta yüksek	$0.51 < NDVI \leq 0.67$	Orta
Yüksek	$0.67 < NDVI \leq 1$	Yoğun



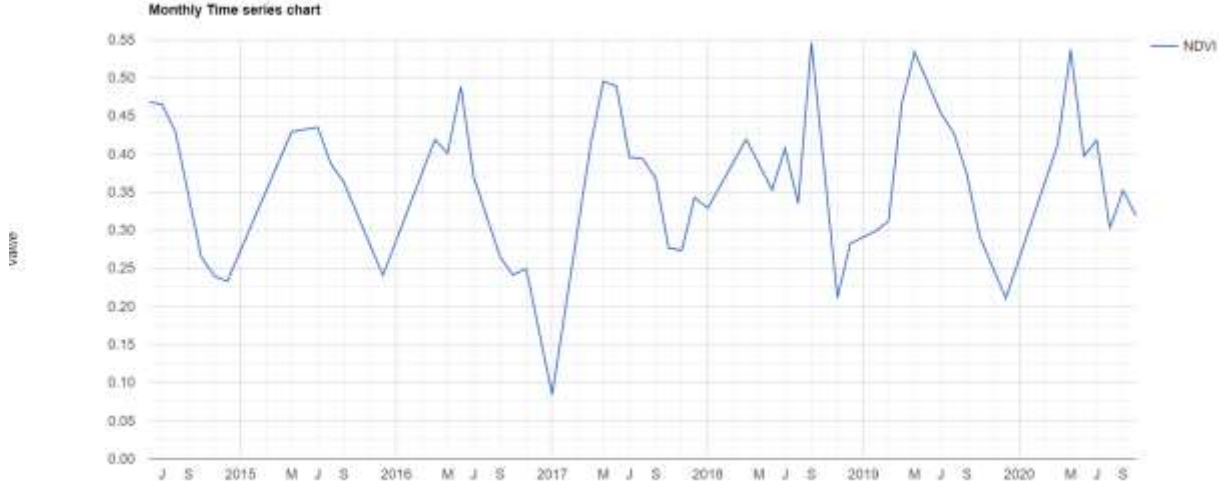
Şekil 13. TR21 NDVI yıllık zaman serileri (Landsat 5)



Şekil 14. TR21 NDVI yıllık zaman serileri (Landsat 8)



Şekil 15. TR21 NDVI aylık zaman serileri (Landsat 5)



Şekil 16. TR21 NDVI aylık zaman serileri (Landsat 8)

3.3. Arazi Üretkenlik Dinamiği

Dünya üzerindeki biokütle ve bu biyokütlenin değişim dinamikleri ekosistem hizmetlerini sağlama veya sağlamaya devam etme potansiyelinin göstergesidir. Bitki örtüsü dinamiklerinin değerlendirilmesi, arazi-insan-çevre ilişkileri sisteminin genel üretkenlik düzeylerini ölçmeye yardımcı olur. Faydalanıcılar, ekonomik değere sahip biyolojik ürünler için bu arazi verimliliğini kullanır (Lal vd. 2012). Genel arazi verimliliğindeki bir düşüş, AÜD’de azalma veya tahribat (ör. bitki örtüsü, toprak ve su kalitesi ve/veya miktarı, mahsul üretim seviyeleri) anlamına gelmektedir.

Çizelge 10’da AÖAKD ve NDVI analizlerine dayanan AÜD verileri sunulmuştur. İlgili çizelgede de görüldüğü üzere AÜD üzerinde arazi örtüsü ve arazi kullanımı yanında bitki örtüsü yoğunluğunun önemli bir etkisi olduğu görülmektedir. 1990-2023 yılları arasında aynı arazi örtüsü (değişim olmayan) olmasına rağmen farklı bitki örtüsü yoğunluğuna sahip NDVI sınıfları dikkate alınarak AÜD sınıfları belirlenmiştir.

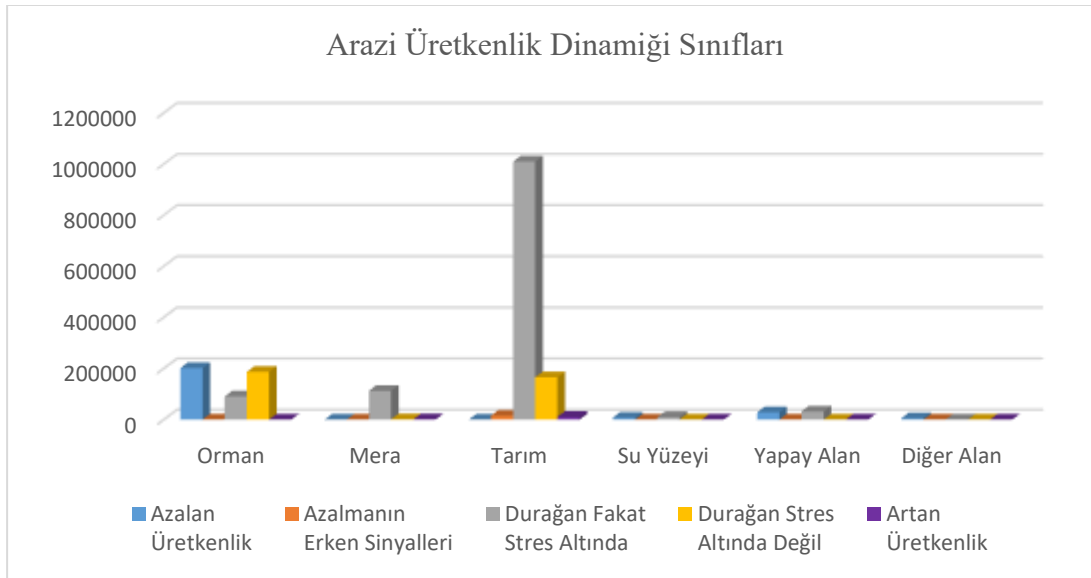
2023 yılı itibari ile değerlendirildiğinde tarım alanları büyük oranda “Durağan fakat stres altında” sınıfı altındadır. Bölgede tarım üzerindeki baskının sonucu olarak gösterilebilir. Azalan üretkenlik en fazla orman alanlarında daha sonra ise doğası gereği yapay alanlarda görülmektedir (Çizelge 9) (Şekil 17-18-19).

Mera alanlarının büyük bölümü “durağan fakat stres altında” sınıfı içerisinde bulunmaktadır (Çizelge 9) (Şekil 17-18-19). Bu göstergeler dikkate alındığında mera alanlarının sürdürülebilir kullanım açısından, mera koruma projeleri gibi projelerle desteklenmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

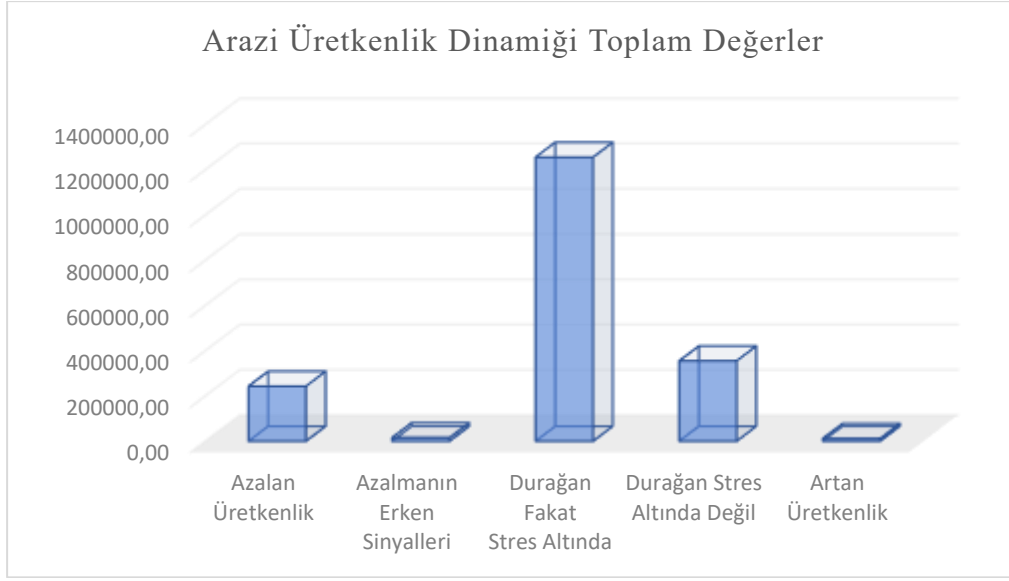
Diğer alanlar sahip olduğu arazi örtüsü özellikleri ve bitki örtüsü yoğunluğunun olmaması ya da zayıf olmasından dolayı beklendiği şekilde büyük oranda “azalan üretkenlik” sınıfları içerisinde yer almaktadır.

Çizelge 9. AÜD sınıfları dağılımı 2023 yılı özet bilgi

Arazi Örtüsü Sınıfı (2023)	Arazi Üretkenlik Dinamiği Sınıfları									
	Azalan Üretkenlik		Azalmanın Erken Sinyalleri		Durağan Fakat Stres Altında		Durağan Stres Altında Değil		Artan Üretkenlik	
	1		2		3		4		5	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
Orman	201501,74	10,72	-	-	90545,43	4,82	187273,35	9,96	171,66	0,01
Mera	0,00	0,00	-	-	112628,31	5,99	1127,21	0,06	1017,41	0,05
Tarım	0,00	0,00	15306,46	0,81	1009293,64	53,68	165511,2808	8,80	10645,10469	0,57
Su Yüzeyi	7597,45	0,40	-	-	10122,56	0,54	476,582227	0,03	-	-
Yapay Alan	28237,41	1,50	-	-	31871,53	1,70	214,31176	0,01	-	-
Diğer Alan	5499,02	0,29	188,33	0,01	797,19	0,04	43,795934	0,00	25,717773	0,00
Toplam Oran	242835,63	12,92	15494,79	0,82	1255258,66	66,77	354646,53	18,86	11859,89	0,63



Şekil 17. AÜD sınıfları dağılımı 2023 yılı



Şekil 18. AÜD sınıf toplam değerleri dağılımı 2023 yılı

Çizelge 10. 1990 - 2023 yılları arası AÜD değerleri

Arazi Örtüsü Sınıfı (1990)	Arazi Örtüsü Sınıfı (2023)	Değişen Alan		Trend - & +	NDVI Sınıfı 2023	Arazi Üretkenlik Dinamiği	
		ha	%			Değer	Açıklama
Diger	Diğer	728,65	0,04	Değişim Yok	Çok Zayıf	3	Durağan Fakat Stres Altında
Diger	Mera	104,66	0,01	+	Çok Zayıf	5	Artan Üretkenlik
Diger	Orman	2,61	0,00	+	Çok Zayıf	5	Artan Üretkenlik
Diger	Su	0,29	0,00	-	Çok Zayıf	1	Azalan Üretkenlik
Diger	Tarım	253,60	0,01	+	Çok Zayıf	5	Artan Üretkenlik
Diger	Yapay	61,87	0,00	-	Çok Zayıf	1	Azalan Üretkenlik
Diger	Diğer	43,80	0,00	Değişim Yok	Orta	4	Durağan Stress Altında Değil
Diger	Tarım	1,25	0,00	+	Orta	5	Artan Üretkenlik
Diger	Diğer	68,54	0,00	Değişim Yok	Zayıf	3	Durağan Fakat Stres Altında
Diger	Mera	6,69	0,00	+	Zayıf	5	Artan Üretkenlik
Diger	Orman	3,01	0,00	+	Zayıf	5	Artan Üretkenlik
Diger	Su	3,61	0,00	-	Zayıf	1	Azalan Üretkenlik
Diger	Tarım	30,98	0,00	+	Zayıf	5	Artan Üretkenlik
Diger	Yapay	8,27	0,00	-	Zayıf	1	Azalan Üretkenlik
Mera	Diğer	567,29	0,03	-	Çok Zayıf	1	Azalan Üretkenlik
Mera	Mera	102462,13	5,45	Değişim Yok	Çok Zayıf	3	Durağan Fakat Stres Altında
Mera	Orman	74,82	0,00	+	Çok Zayıf	5	Artan Üretkenlik
Mera	Su	588,06	0,03	-	Çok Zayıf	1	Azalan Üretkenlik
Mera	Tarım	12857,59	0,68	-	Çok Zayıf	2	Azalmanın Erken Sinyalleri
Mera	Yapay	2141,03	0,11	-	Çok Zayıf	1	Azalan Üretkenlik
Mera	Mera	1127,21	0,06	Değişim Yok	Orta	4	Durağan Stress Altında Değil
Mera	Orman	0,02	0,00	+	Orta	5	Artan Üretkenlik
Mera	Su	12,23	0,00	-	Orta	1	Azalan Üretkenlik
Mera	Tarım	770,86	0,04	-	Orta	2	Azalmanın Erken Sinyalleri
Mera	Yapay	2,11	0,00	-	Orta	1	Azalan Üretkenlik
Mera	Diğer	0,02	0,00	-	Zayıf	1	Azalan Üretkenlik
Mera	Mera	10166,17	0,54	Değişim Yok	Zayıf	3	Durağan Fakat Stres Altında
Mera	Orman	13,78	0,00	+	Zayıf	5	Artan Üretkenlik
Mera	Su	24,87	0,00	-	Zayıf	1	Azalan Üretkenlik
Mera	Tarım	1678,01	0,09	-	Zayıf	2	Azalmanın Erken Sinyalleri
Mera	Yapay	39,24	0,00	-	Zayıf	1	Azalan Üretkenlik
Orman	Diğer	696,70	0,04	-	Çok Zayıf	1	Azalan Üretkenlik
Orman	Mera	0,00	0,00	-	Çok Zayıf	1	Azalan Üretkenlik
Orman	Orman	90545,43	4,82	Değişim Yok	Çok Zayıf	3	Durağan Fakat Stres Altında
Orman	Su	1120,20	0,06	-	Çok Zayıf	1	Azalan Üretkenlik
Orman	Tarım	0,00	0,00	-	Çok Zayıf	1	Azalan Üretkenlik
Orman	Yapay	212,72	0,01	-	Çok Zayıf	1	Azalan Üretkenlik
Orman	Diğer	14,09	0,00	-	Orta	1	Azalan Üretkenlik
Orman	Orman	187273,35	9,96	Değişim Yok	Orta	4	Durağan Stress Altında Değil
Orman	Su	298,62	0,02	-	Orta	1	Azalan Üretkenlik

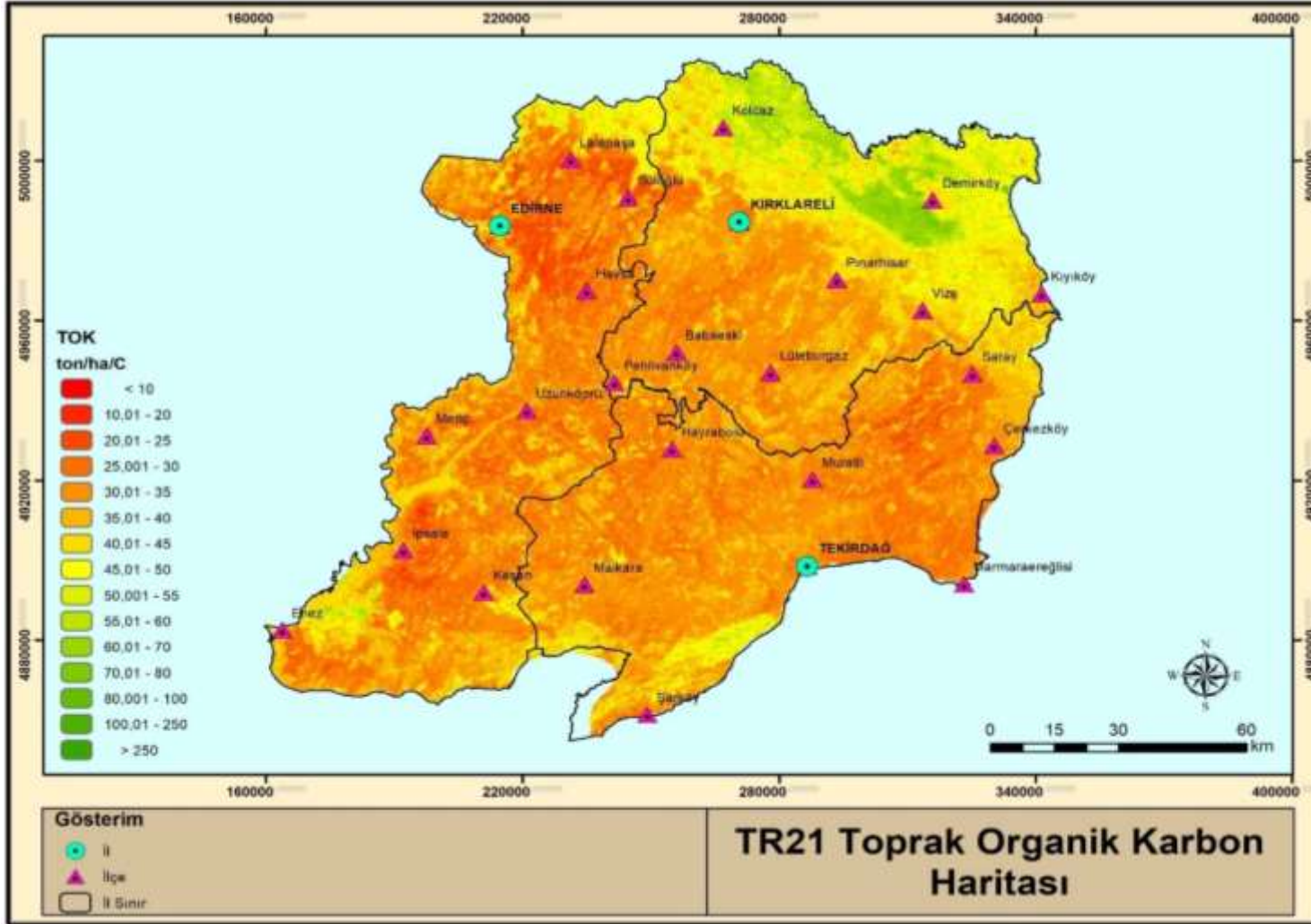
Orman	Yapay	48,65	0,00	-	Orta	1	Azalan Üretkenlik
Orman	Diğer	486,46	0,03	-	Zayıf	1	Azalan Üretkenlik
Orman	Orman	201501,74	10,72	-	Zayıf	1	Azalan Üretkenlik
Orman	Su	667,61	0,04	-	Zayıf	1	Azalan Üretkenlik
Orman	Tarım	0,00	0,00	-	Zayıf	2	Azalmanın Erken Sinyalleri
Orman	Yapay	51,20	0,00	-	Zayıf	1	Azalan Üretkenlik
Su	Diğer	2,11	0,00	+	Çok Zayıf	5	Artan Üretkenlik
Su	Mera	1,22	0,00	+	Çok Zayıf	5	Artan Üretkenlik
Su	Su	7697,06	0,41	Değişim Yok	Çok Zayıf	3	Durağan Fakat Stres Altında
Su	Tarım	1,24	0,00	+	Çok Zayıf	5	Artan Üretkenlik
Su	Diğer	0,02	0,00	+	Orta	5	Artan Üretkenlik
Su	Su	476,58	0,03	Değişim Yok	Orta	4	Durağan Stress Altında Değil
Su	Tarım	0,02	0,00	+	Orta	5	Artan Üretkenlik
Su	Orman	0,02	0,00	+	Zayıf	5	Artan Üretkenlik
Su	Su	2425,50	0,13	Değişim Yok	Zayıf	3	Durağan Fakat Stres Altında
Tarım	Diğer	3734,45	0,20	-	Çok Zayıf	1	Azalan Üretkenlik
Tarım	Mera	28,83	0,00	+	Çok Zayıf	5	Artan Üretkenlik
Tarım	Orman	0,00	0,00	+	Çok Zayıf	5	Artan Üretkenlik
Tarım	Su	4227,14	0,22	-	Çok Zayıf	1	Azalan Üretkenlik
Tarım	Tarım	1009293,64	53,68	Değişim Yok	Çok Zayıf	3	Durağan Fakat Stres Altında
Tarım	Yapay	24065,11	1,28	-	Çok Zayıf	1	Azalan Üretkenlik
Tarım	Diğer	23,63	0,00	-	Orta	2	Azalmanın Erken Sinyalleri
Tarım	Su	40,88	0,00	-	Orta	1	Azalan Üretkenlik
Tarım	Tarım	51056,55	2,72	Değişim Yok	Orta	4	Durağan Stress Altında Değil
Tarım	Yapay	199,61	0,01	-	Orta	1	Azalan Üretkenlik
Tarım	Diğer	164,70	0,01	-	Zayıf	2	Azalmanın Erken Sinyalleri
Tarım	Mera	9,24	0,00	+	Zayıf	5	Artan Üretkenlik
Tarım	Orman	0,00	0,00	+	Zayıf	5	Artan Üretkenlik
Tarım	Su	611,01	0,03	-	Zayıf	1	Azalan Üretkenlik
Tarım	Tarım	114454,73	6,09	Değişim Yok	Zayıf	4	Durağan Stress Altında Değil
Tarım	Yapay	1407,62	0,07	-	Zayıf	1	Azalan Üretkenlik
Yapay	Diğer	23,58	0,00	+	Çok Zayıf	5	Artan Üretkenlik
Yapay	Mera	770,23	0,04	+	Çok Zayıf	5	Artan Üretkenlik
Yapay	Orman	41,03	0,00	+	Çok Zayıf	5	Artan Üretkenlik
Yapay	Su	1,16	0,00	-	Çok Zayıf	1	Azalan Üretkenlik
Yapay	Tarım	9093,88	0,48	+	Çok Zayıf	5	Artan Üretkenlik
Yapay	Yapay	29068,92	1,55	Değişim Yok	Çok Zayıf	3	Durağan Fakat Stres Altında
Yapay	Mera	13,84	0,00	+	Orta	5	Artan Üretkenlik
Yapay	Orman	2,99	0,00	+	Orta	5	Artan Üretkenlik
Yapay	Tarım	155,41	0,01	+	Orta	5	Artan Üretkenlik
Yapay	Yapay	214,31	0,01	Değişim Yok	Orta	4	Durağan Stress Altında Değil
Yapay	Mera	82,70	0,00	+	Zayıf	5	Artan Üretkenlik
Yapay	Orman	33,37	0,00	+	Zayıf	5	Artan Üretkenlik

Yapay	Su	1,77	0,00	-	Zayıf	1	Azalan Üretkenlik
Yapay	Tarım	1108,72	0,06	+	Zayıf	5	Artan Üretkenlik
Yapay	Yapay	2802,62	0,15	Değişim Yok	Zayıf	3	Durağan Fakat Stres Altında

3.4. Toprak Organik Karbonu

ATD sürecinin bir parçası olarak arazi tahribatını izlemeye yönelik üçüncü alt gösterge olan TOK, raporlama dönemi boyunca TOK'daki değişiklikleri nicel olarak belirten değerdir.

TR21 Trakya bölgesi ortalama TOK değeri 46,7 ton/ha/C dir. İller bazında bakıldığında Edirne ili ortalama TOK değeri 33,61 ton/ha/C, Kırklareli ile ortalama TOK değeri 41,83 ton/ha/C, Tekirdağ ili ortalama TOK değeri 33,85 ton/ha/C olarak belirlenmiştir (Şekil 20).



Şekil 20. TR21 Trakya TOK haritası

3.5. Erozyon Tahmin Sonuçları

Nallıhan ilçesi sınırları dahilinde hesaplanan erozyon değerleri AKAÖ bazında çizelge 11’de verilmiştir. Şekil (22-25)’de ilgili yıllara ilişkin erozyon haritaları sunulmuştur. Genel olarak erozyon oranlarına bakıldığında 1990 yılında yüksek olduğu görülmektedir. En yüksek toprak kayıpları orman alanlarında gözlenirken, en düşük toprak kayıpları doğası gereği geçirimsiz yüzey olan yapay alanlarda görülmektedir.

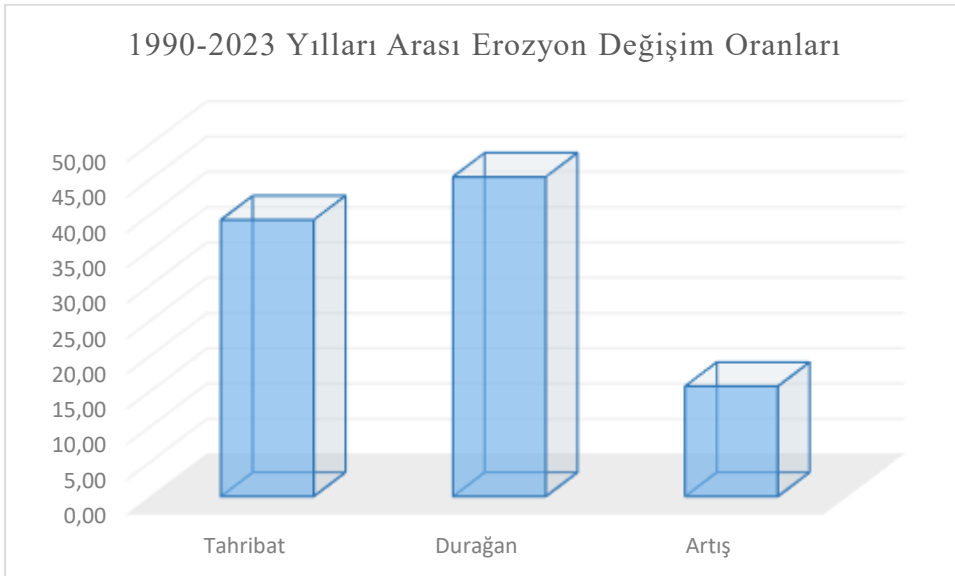
Çizelge 11. AÖAK bazında ortalama erozyon değerleri (ton/ha⁻¹/yıl⁻¹)

Arazi Örtüsü Bazında Ortalama Erozyon Değerleri					
Yıl	Orman	Mera	Tarım	Yapay	Diğer
1990	45,11	34,57	15,76	14,22	37,48
2000	35,95	22,86	11,89	11,24	15,69
2010	35,61	21,85	13,71	11,23	16,11
2023	37,01	22,50	14,93	9,30	20,56

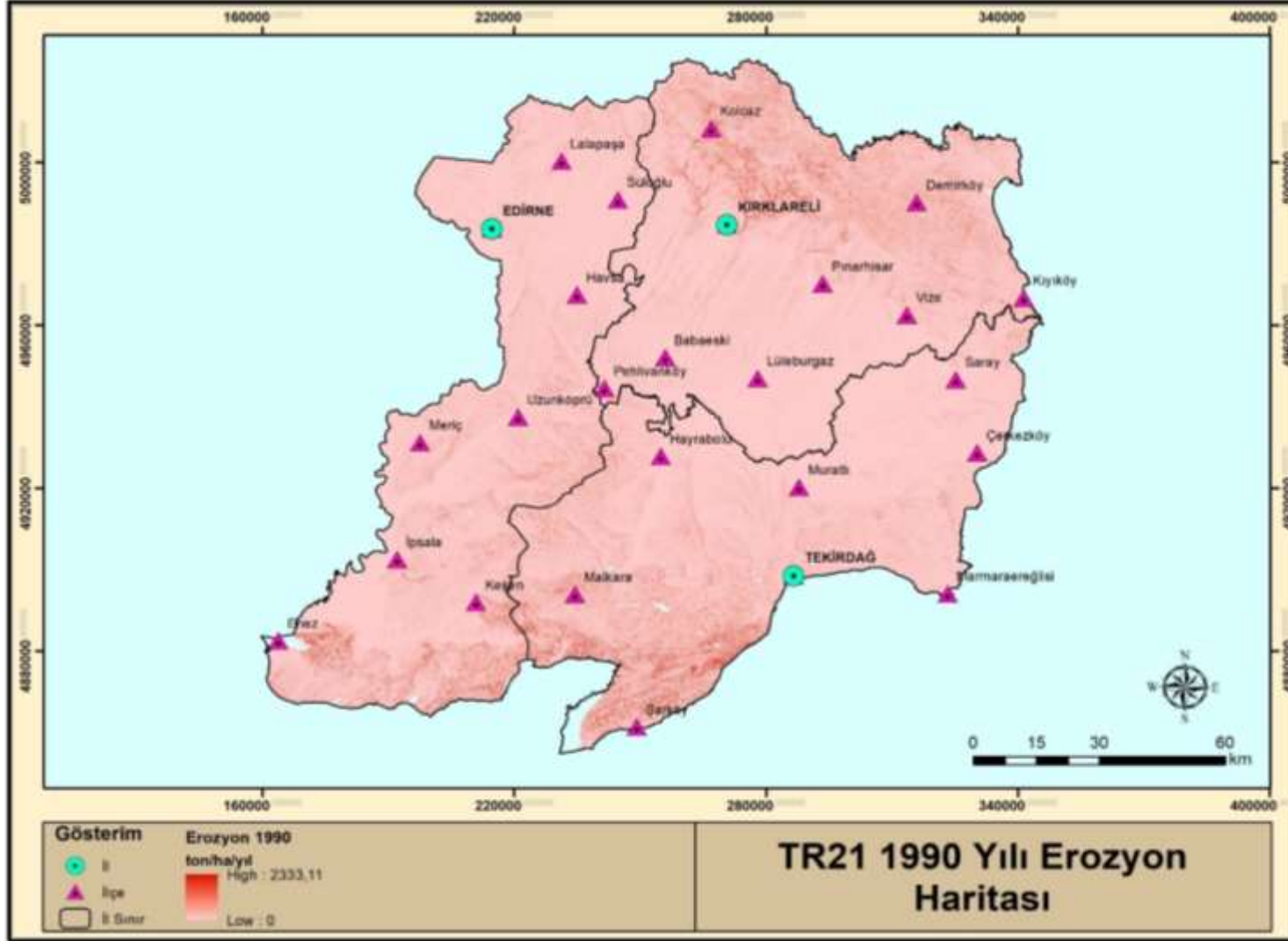
TR21 Trakya bölgesinde 1990-2023 yılları arasında erozyon miktarında meydana gelen değişim ATD metodolojisi kullanılmak üzere belirlenmiştir (Şekil 26). 1990-2023 yılları arasındaki değişime bakıldığında %45.24 oranında bir alan “Durağan” sınıfta, %15.60 oranında bir alanda erozyonda azalma “Artış”, %39.16 oranında bir alanda “Tahribat” erozyonda artış söz konusudur (Çizelge 12) (Şekil 21)

Çizelge 12. 1990-2023 yılları arası erozyon değişim oranları

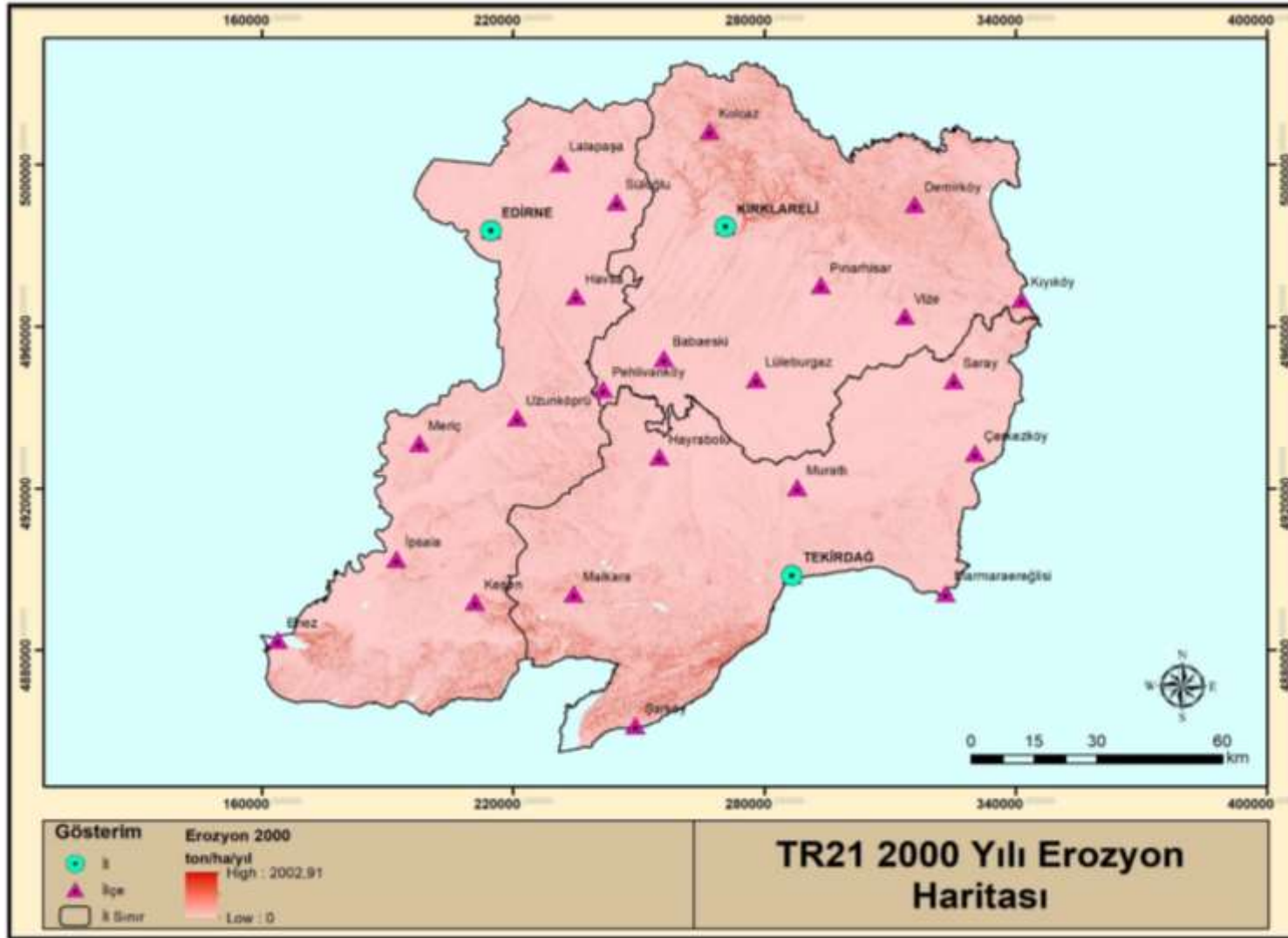
Değişim Sınıf	Erozyon Değişim	Alan/(ha)	Alan/(%)
1	Tahribat	735779,36	39,16
2	Durağan	849993,90	45,24
3	Artış	293137,22	15,60
	Toplam	1878910,48	100,00



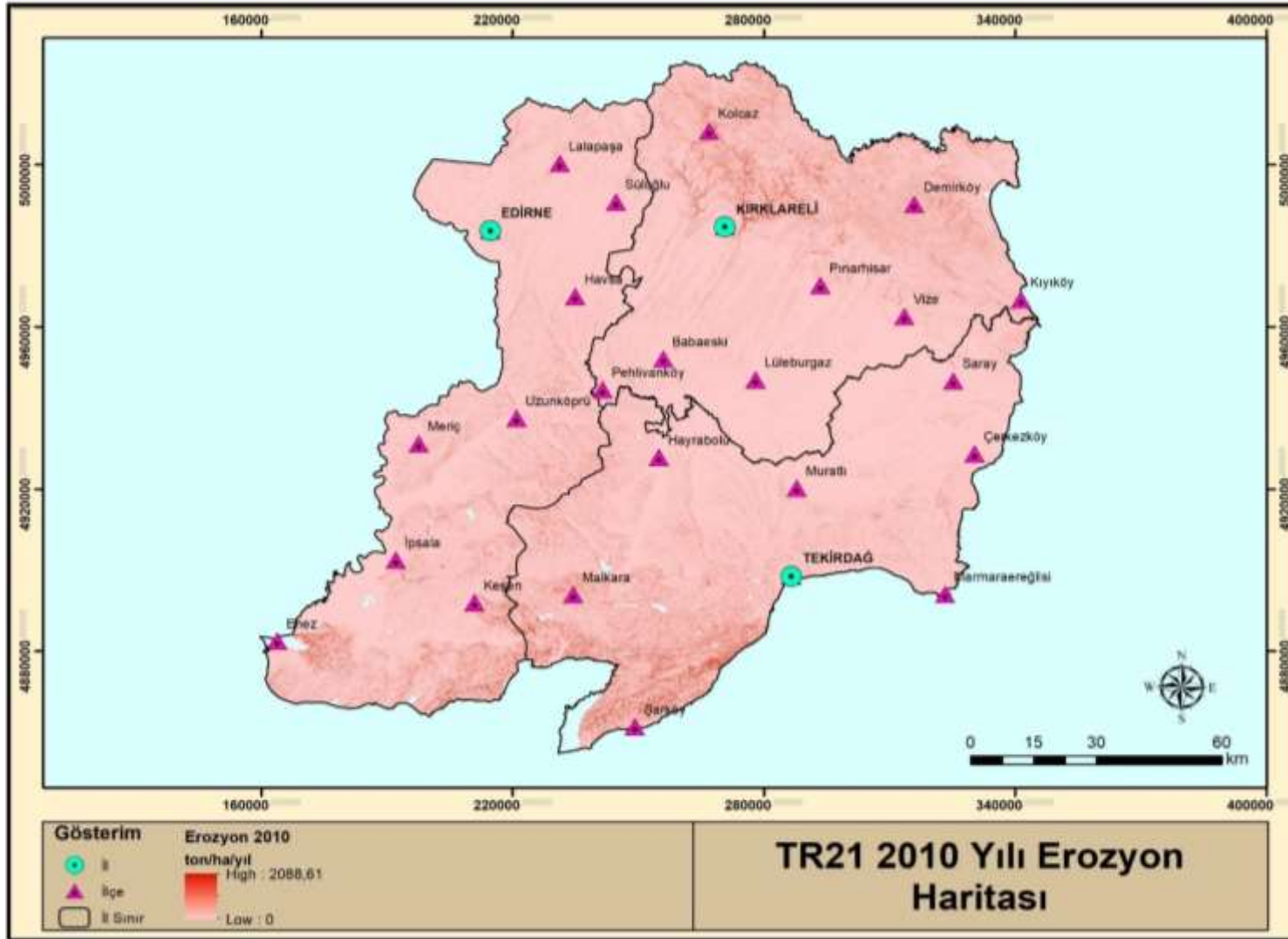
Şekil 21. 1990-2023 yılları arası erozyon değişim oranları grafiksel gösterim



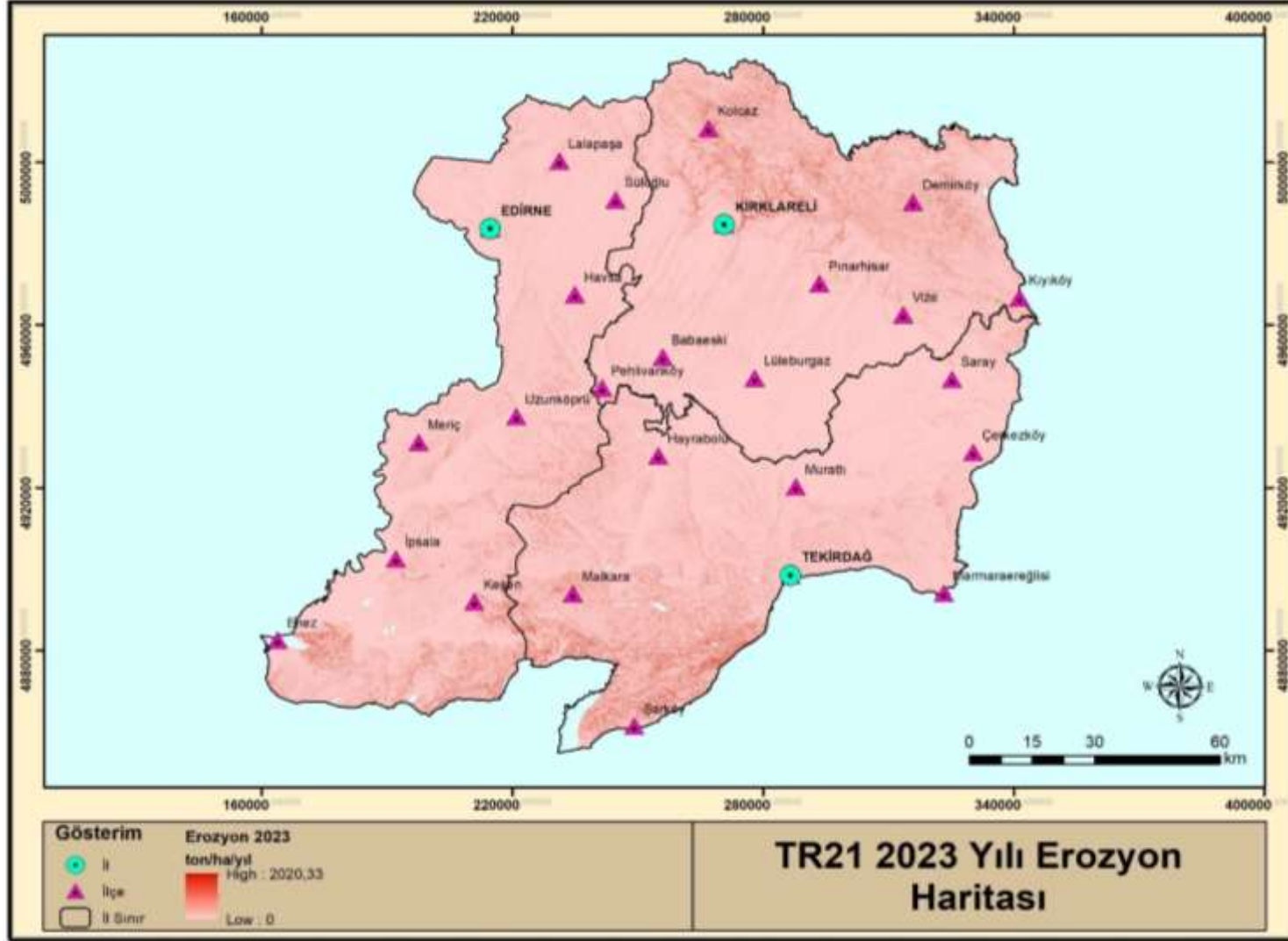
Şekil 22. TR21 1990 yılı erozyon haritası



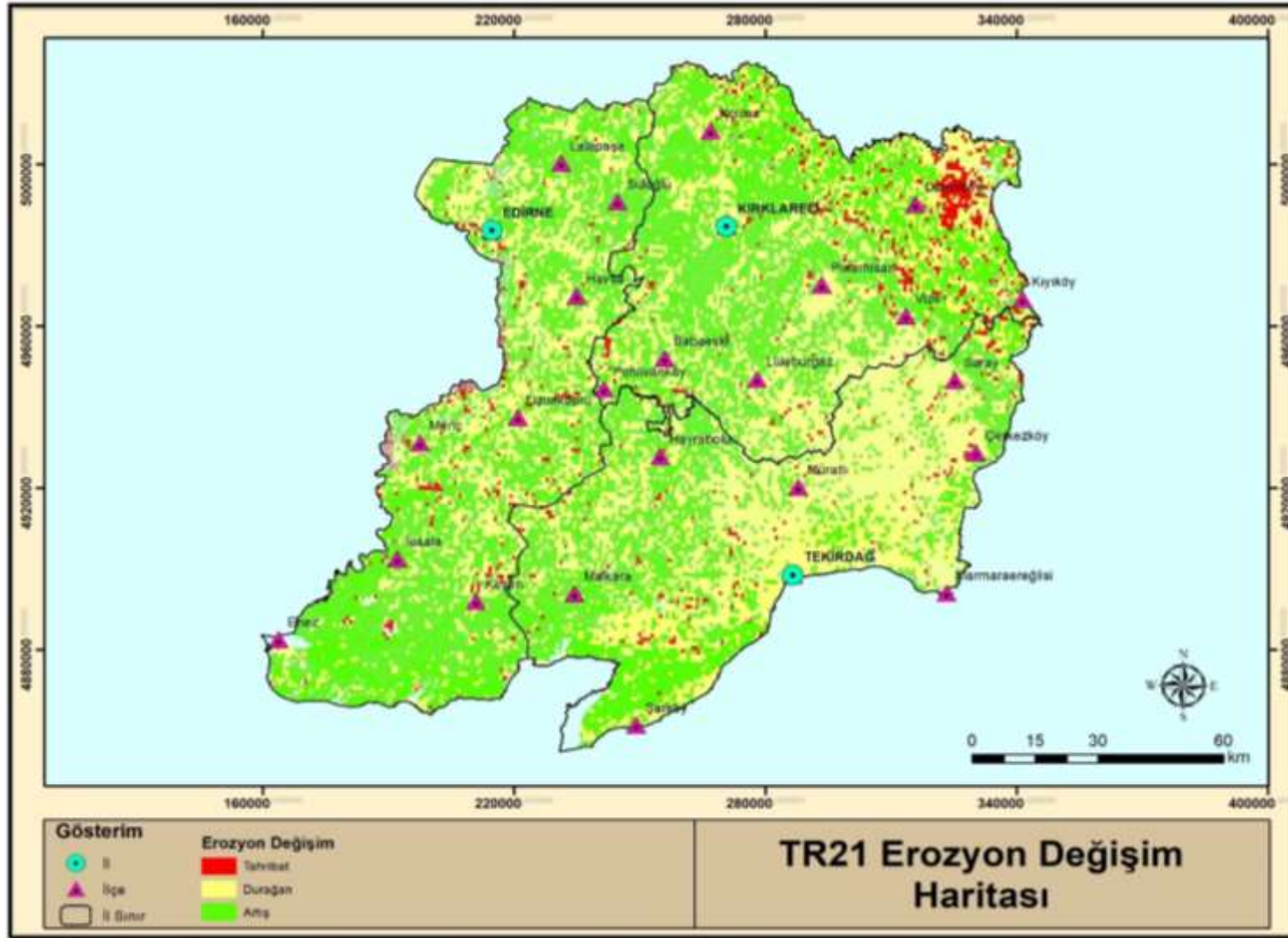
Şekil 23. TR21 2000 yılı erozyon haritası



Şekil 24. TR21 2010 yılı erozyon haritası



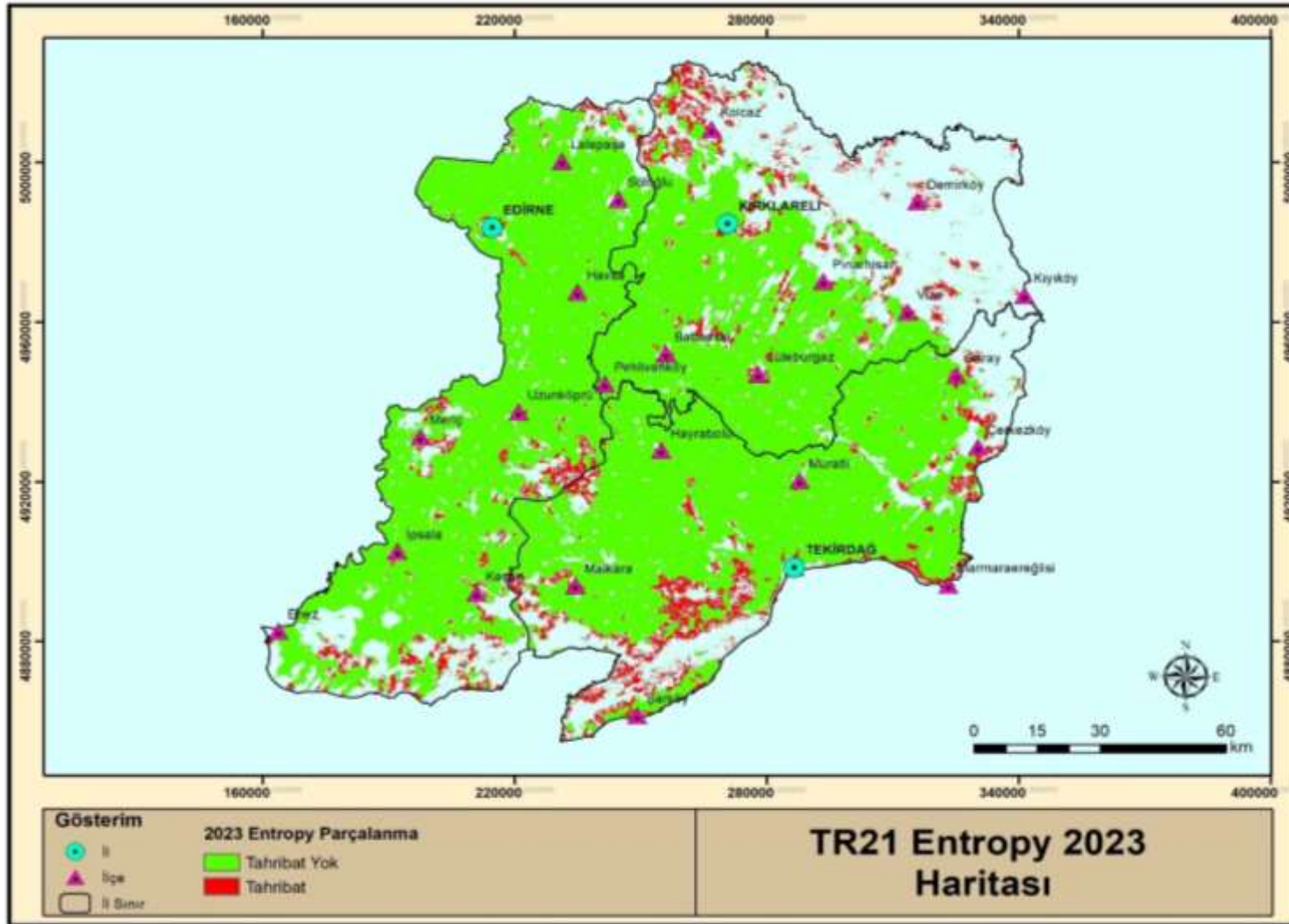
Şekil 25. TR21 2023 yılı erozyon haritası



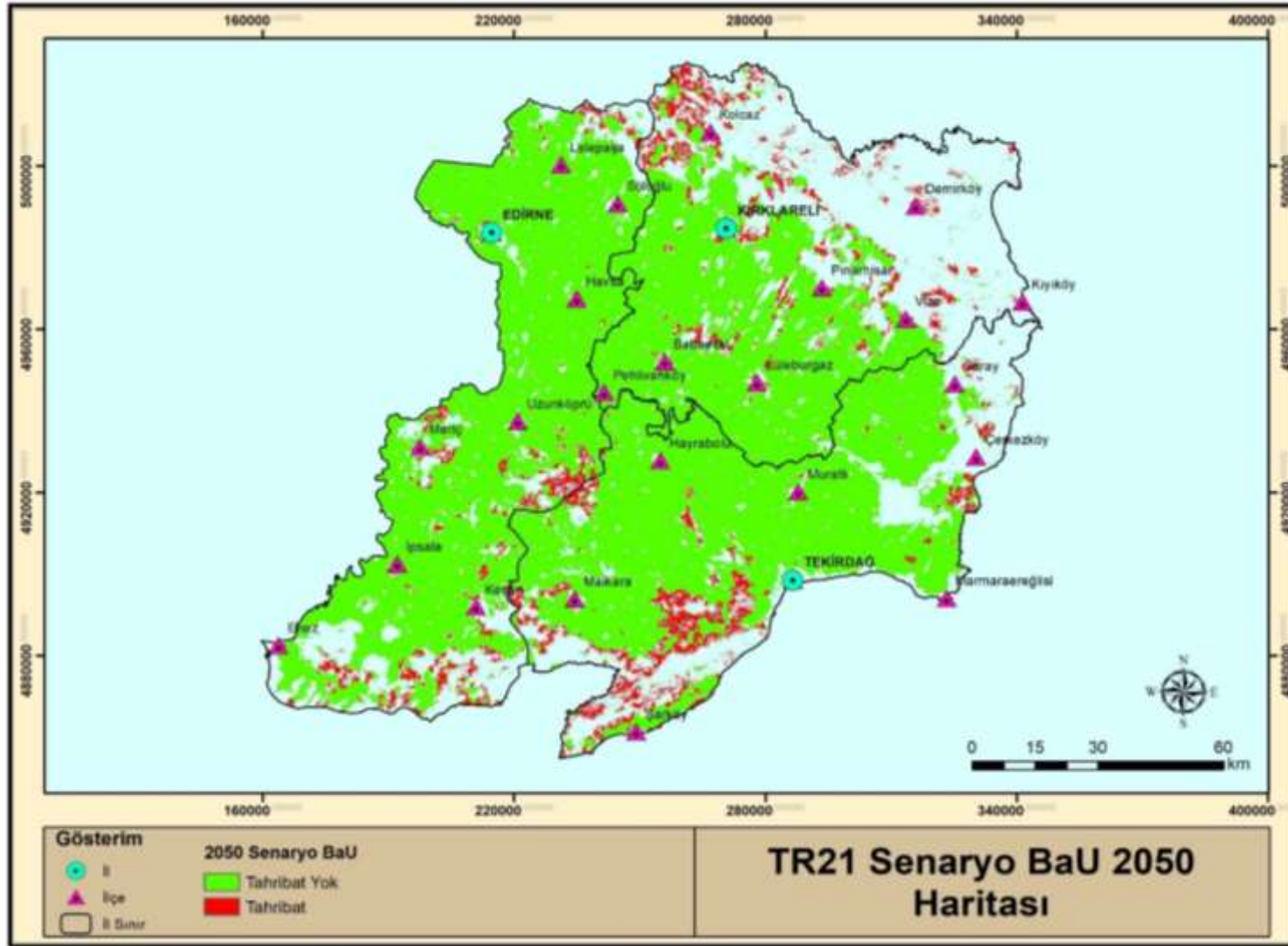
Şekil 26. TR21 Erozyon bakımından tahribat haritası

3.6. Parçalanma Senaryo Analizi Sonuçları

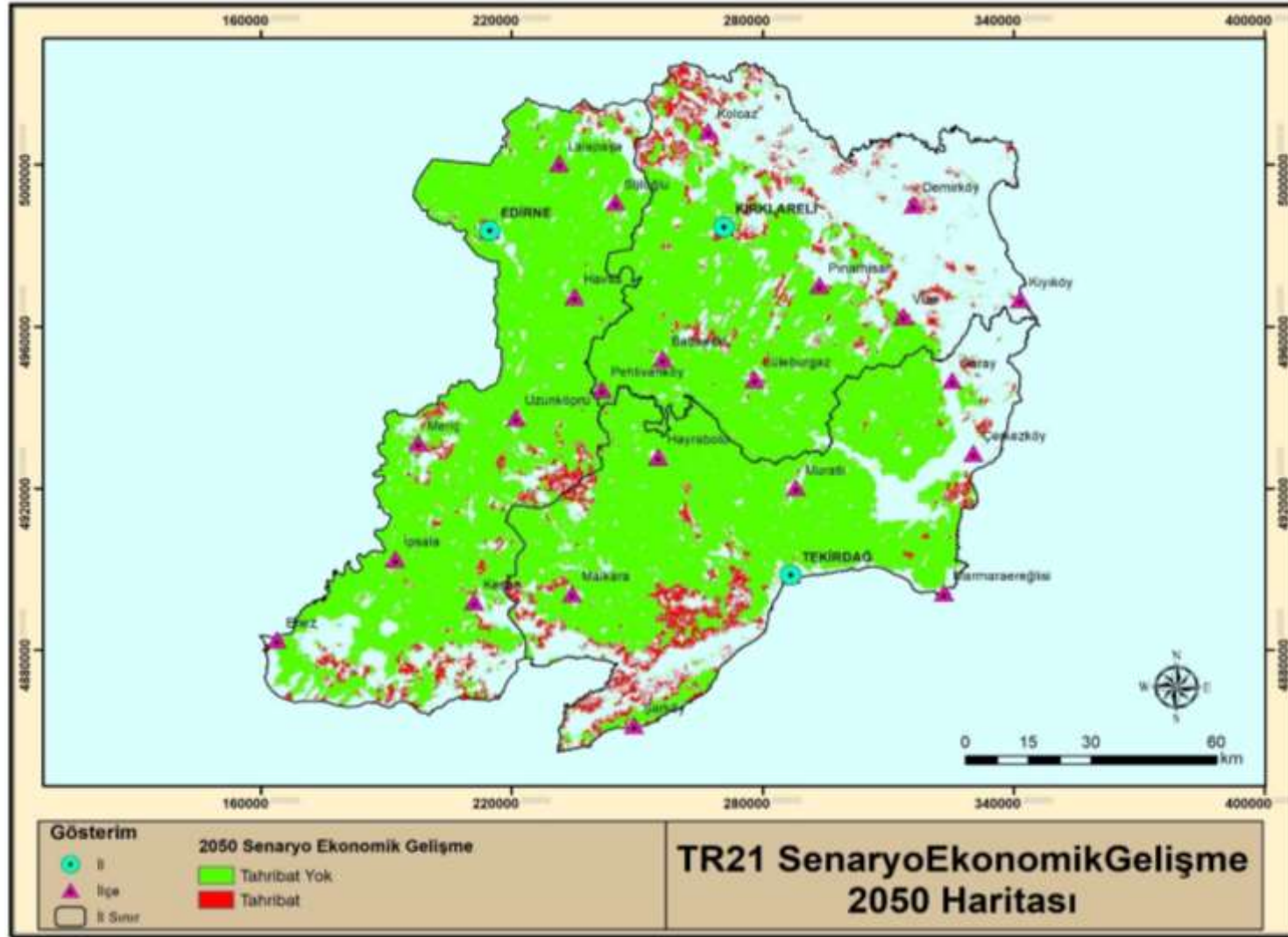
TR21 Trakya bölgesi için Parçalanma (Entropy), Mevcut Durum Senaryosu (BaU), Ekonomik Gelişme Senaryosu, Ekosistem hizmetlerinin korunması senaryosu kapsamında tahribat düzeylerini belirten haritalar oluşturulmuştur (şekil 27-28-29-30). Bu haritalar gelecekte öngörülen tahribat alanlarını tahmin etmek için ATD analizlerine ayrı birer parametre olarak eklenmiştir. Aynı zamanda sosyoekonomik analizlerde kullanılmak üzere 1990 – 2023 yılları arası nüfus younlu haritaları ve yoğunluk değişim haritaları oluşturulmuştur (şekil 31-32).



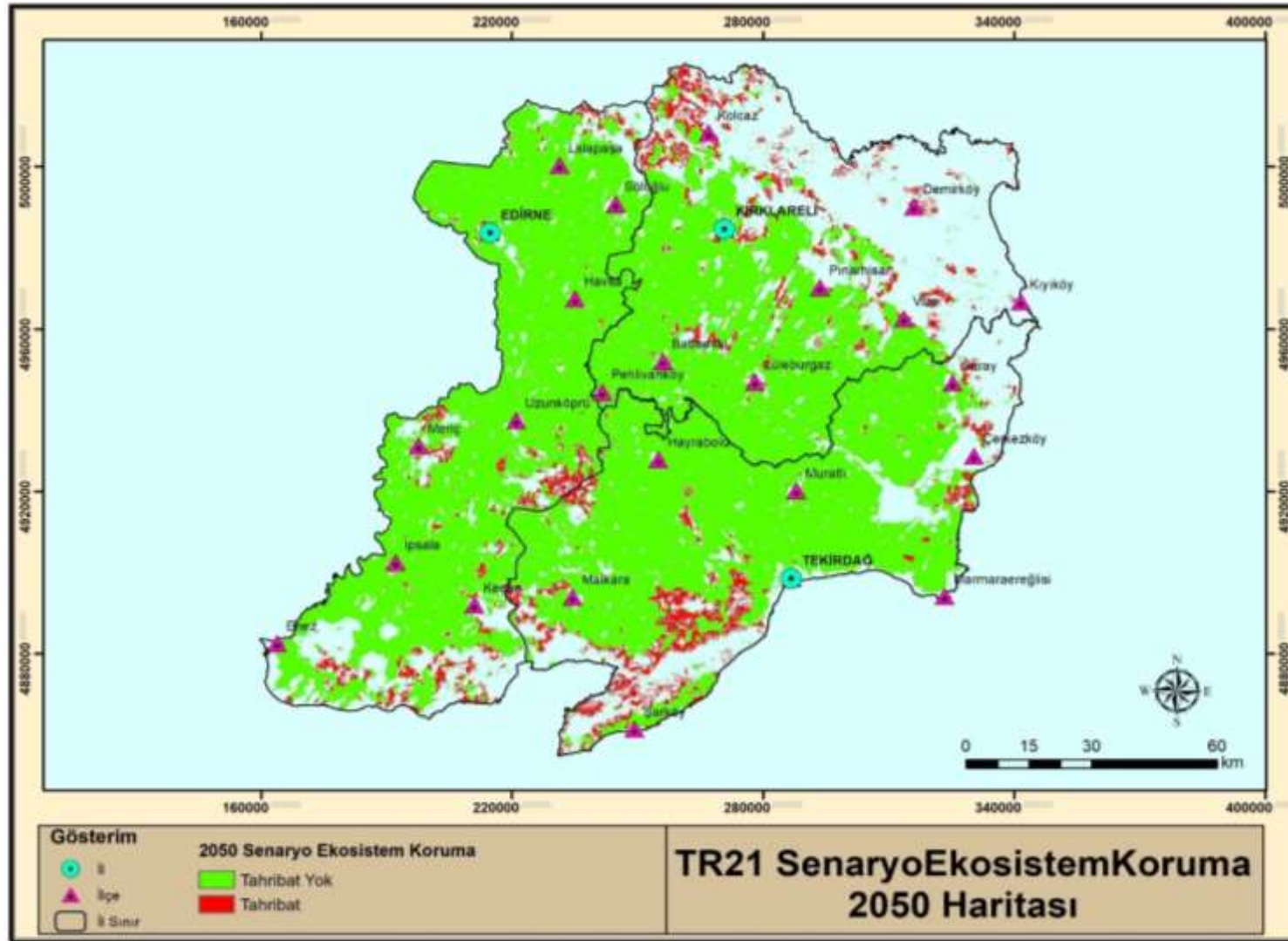
Şekil 27. TR21 Parçalanma (Entropy) bakımından tahribat haritası



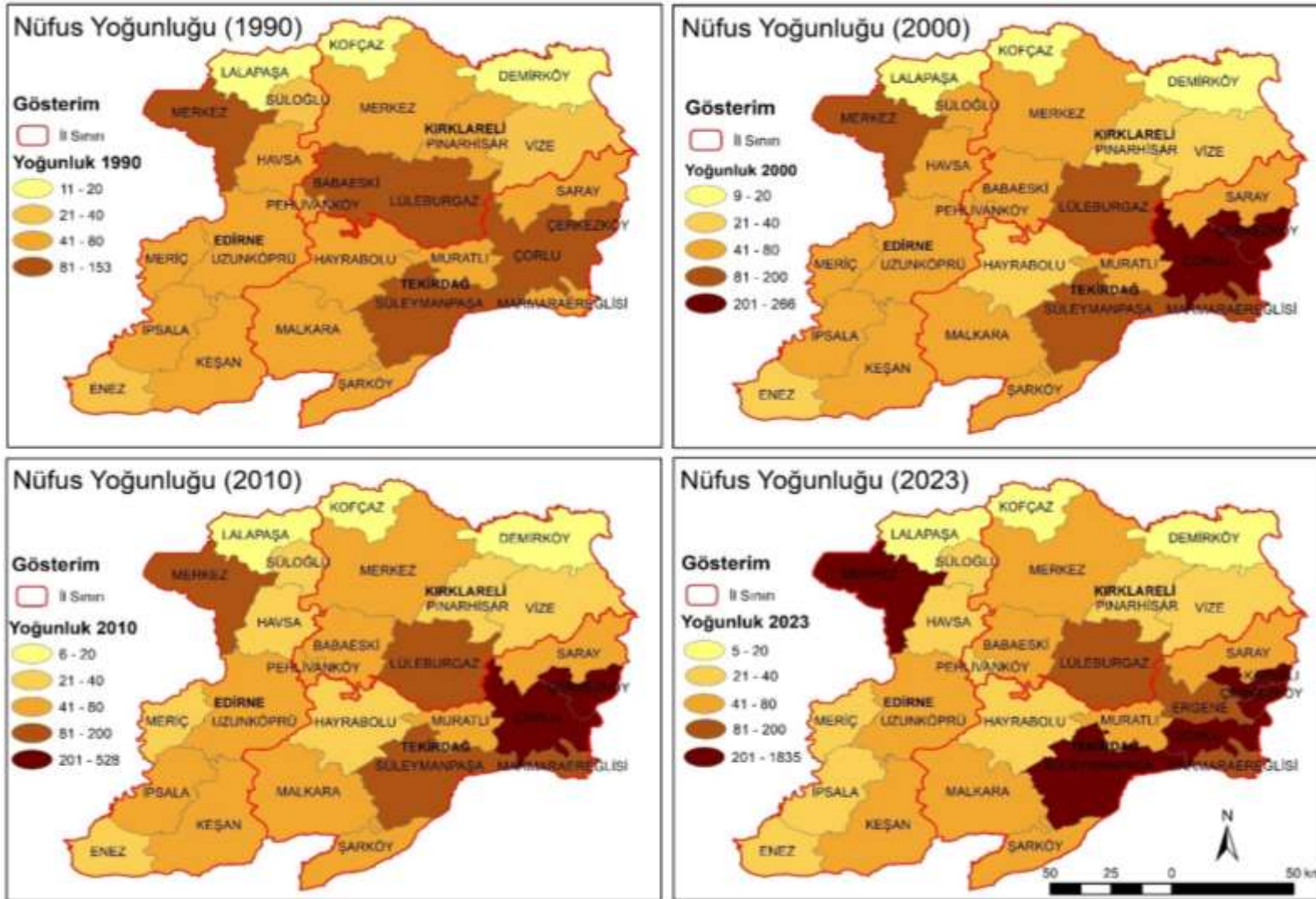
Şekil 28. TR21 Mevcut durum senaryosu (BaU) bakımından tahribat haritası



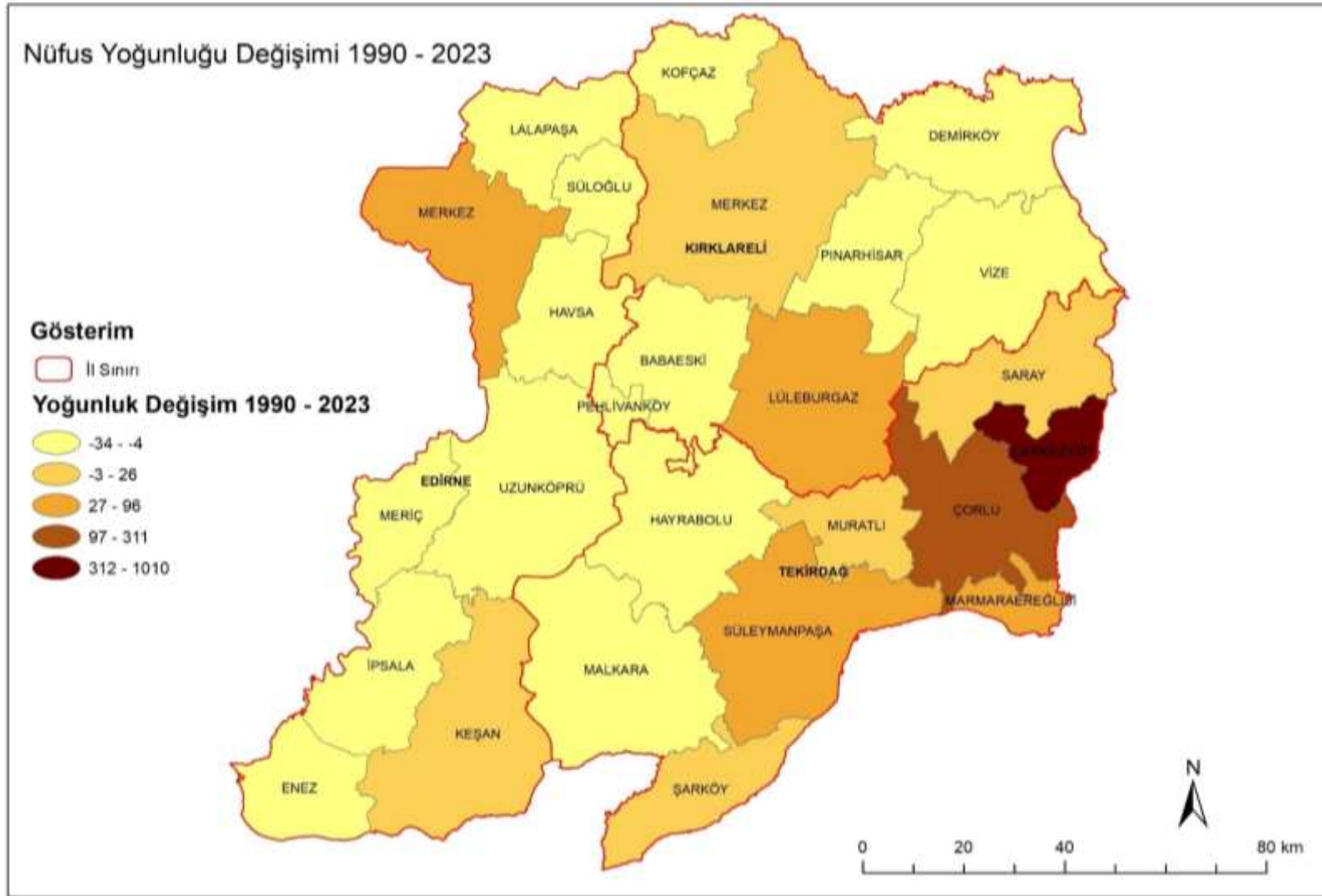
Şekil 29. TR21 Ekonomik gelişme senaryosu bakımından tahribat haritası



Şekil 30. TR21 Ekosistem hizmetlerinin korunması bakımından tahribat haritası



Şekil 31. TR21 1990 - 2023 yılları arası nüfus yoğunluğu haritası (TÜİK)



Şekil 32. TR21 1990-2023 yılları arası nüfus yoğunluk değişimi haritası

4. TR21 TRAKYA ATD DEĞERLENDİRME

TR21 Trakya bölgesi için “Biri Hariç Hepsi Hariç” (10AO) yaklaşımı dikkate alınarak tahribata uğramış, üretkenlikte artış gözlenen ve durağan alanlar belirlenmiştir. Öncelikli olarak AÖAKD-AÜD-TOK-Erozyon dikkate alınarak hesaplanan ATD haritasında Trakya bölgesinde Tahribat %2.95, Durağan %72.50, Artış %24.55 olarak belirlenmiştir (Çizelge 13) (Şekil 34).

Çizelge 13. TR21 AKAÖD-AÜD-TOK-Erozyon dikkate alınarak hesaplanan ATD

AÖAKD-AÜD-TOK-Erozyon			
Değişim Sınıf	ATD	Alan/(ha)	Alan/(%)
1	Tahribat	55735,11	2,95
2	Durağan	1368111,23	72,50
3	Artış	463270,02	24,55
	Toplam	1887116,36	100,00

AÖAKD-AÜD-TOK-Erozyon-Parçalanma dikkate alınarak hesaplanan ATD haritasında Trakya bölgesinde Tahribat %7.33, Durağan %69.93, Artış %22.74 olarak belirlenmiştir (Çizelge 14) (Şekil 35).

Çizelge 14. TR21 AKAÖD-AÜD-TOK-Erozyon-Parçalanma dikkate alınarak hesaplanan ATD

AÖAKD-AÜD-TOK-Erozyon-Parçalanma			
Değişim Sınıf	ATD	Alan/(ha)	Alan/(%)
1	Tahribat	138378,51	7,33
2	Durağan	1319735,87	69,93
3	Artış	429071,11	22,74
	Toplam	1887185,50	100,00

AÖAKD-AÜD-TOK-Erozyon-BaU2050 dikkate alınarak hesaplanan ATD haritasında Trakya bölgesinde Tahribat %6.70, Durağan %70.49, Artış %22.82 olarak belirlenmiştir (Çizelge 15) (Şekil 36).

Çizelge 15. TR21 AKAÖD-AÜD-TOK-Erozyon-Bau2050 dikkate alınarak hesaplanan ATD

AÖAKD-AÜD-TOK-Erozyon-BAU2050			
Değişim Sınıf	ATD	Alan/(ha)	Alan/(%)
1	Tahribat	126349,00	6,70
2	Durağan	1330194,63	70,49
3	Artış	430641,30	22,82
	Toplam	1887184,93	100,00

AÖAKD-AÜD-TOK-Erozyon-Ekonomik2050 dikkate alınarak hesaplanan ATD haritasında Trakya bölgesinde Tahribat %6.68, Durağan %70.50, Artış %22.82 olarak belirlenmiştir (Çizelge 16) (Şekil 37).

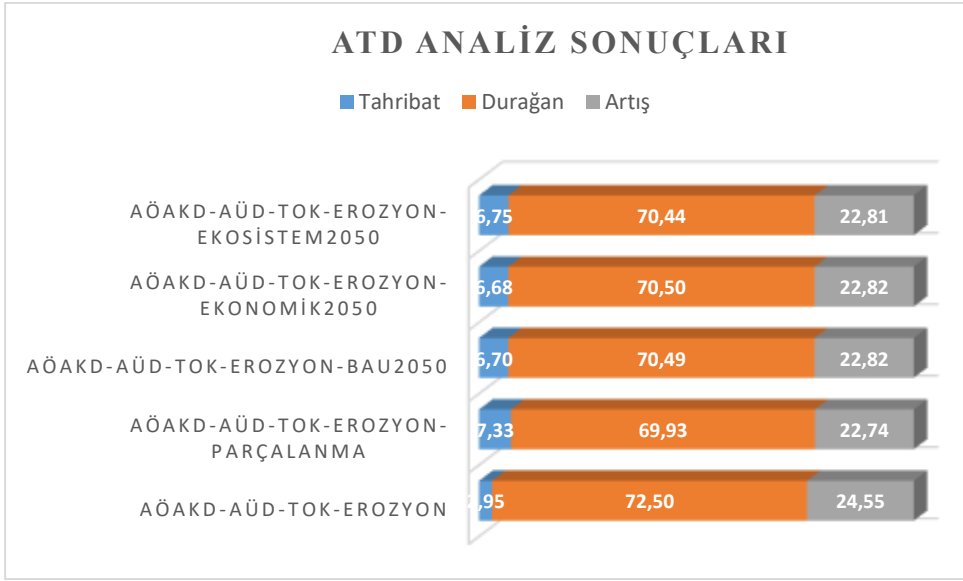
Çizelge 16. TR21 AKAÖD-AÜD-TOK-Erozyon-Ekonomik2050 dikkate alınarak hesaplanan ATD

AÖAKD-AÜD-TOK-Erozyon-Ekonomik2050			
Değişim Sınıf	ATD	Alan/(ha)	Alan/(%)
1	Tahribat	126054,35	6,68
2	Durağan	1330425,23	70,50
3	Artış	430705,24	22,82
	Toplam	1887184,82	100,00

AÖAKD-AÜD-TOK-Erozyon-Ekosistem2050 dikkate alınarak hesaplanan ATD haritasında Trakya bölgesinde Tahribat %6.75, Durağan %70.44, Artış %22.81 olarak belirlenmiştir (Çizelge 17) (Şekil 38).

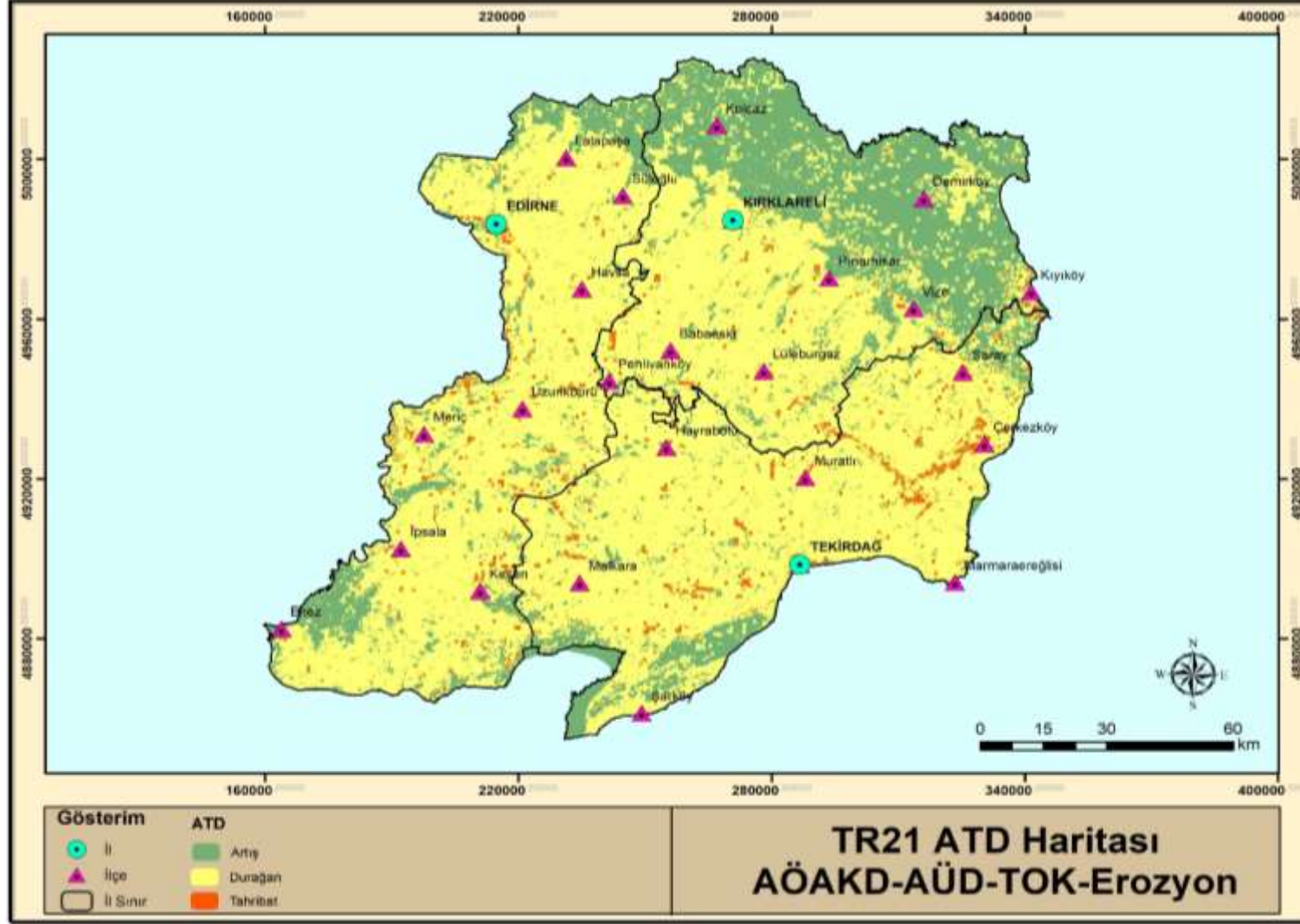
Çizelge 17. TR21 AKAÖD-AÜD-TOK-Erozyon-Ekosistem2050 dikkate alınarak hesaplanan ATD

AÖAKD-AÜD-TOK-Erozyon-Ekosistem2050			
Değişim Sınıf	ATD	Alan/(ha)	Alan/(%)
1	Tahribat	127298,05	6,75
2	Durağan	1329329,44	70,44
3	Artış	430557,76	22,81
	Toplam	1887185,25	100,00

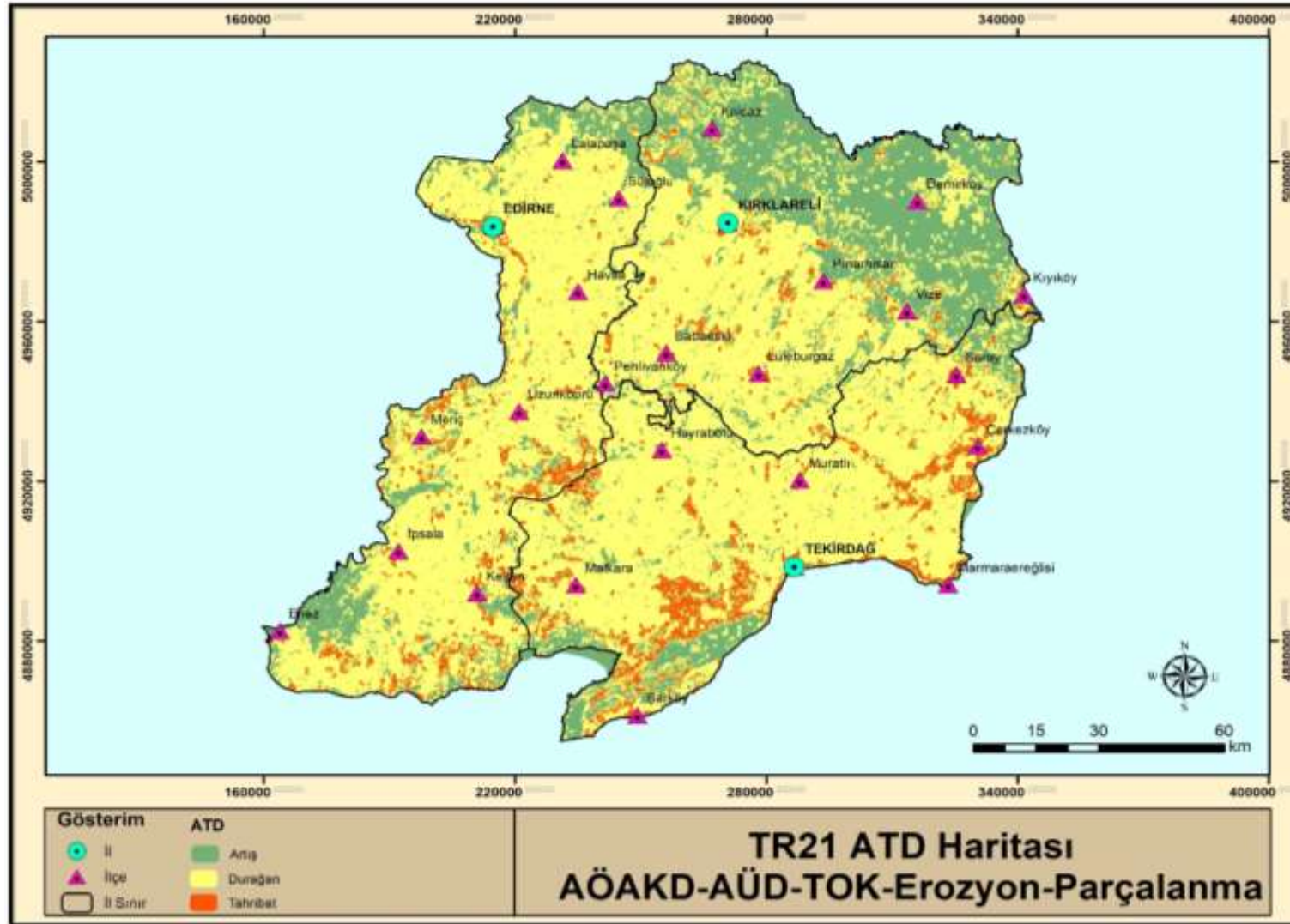


Şekil 33. ATD analizi sonuçları karşılaştırmalı grafiksel gösterim

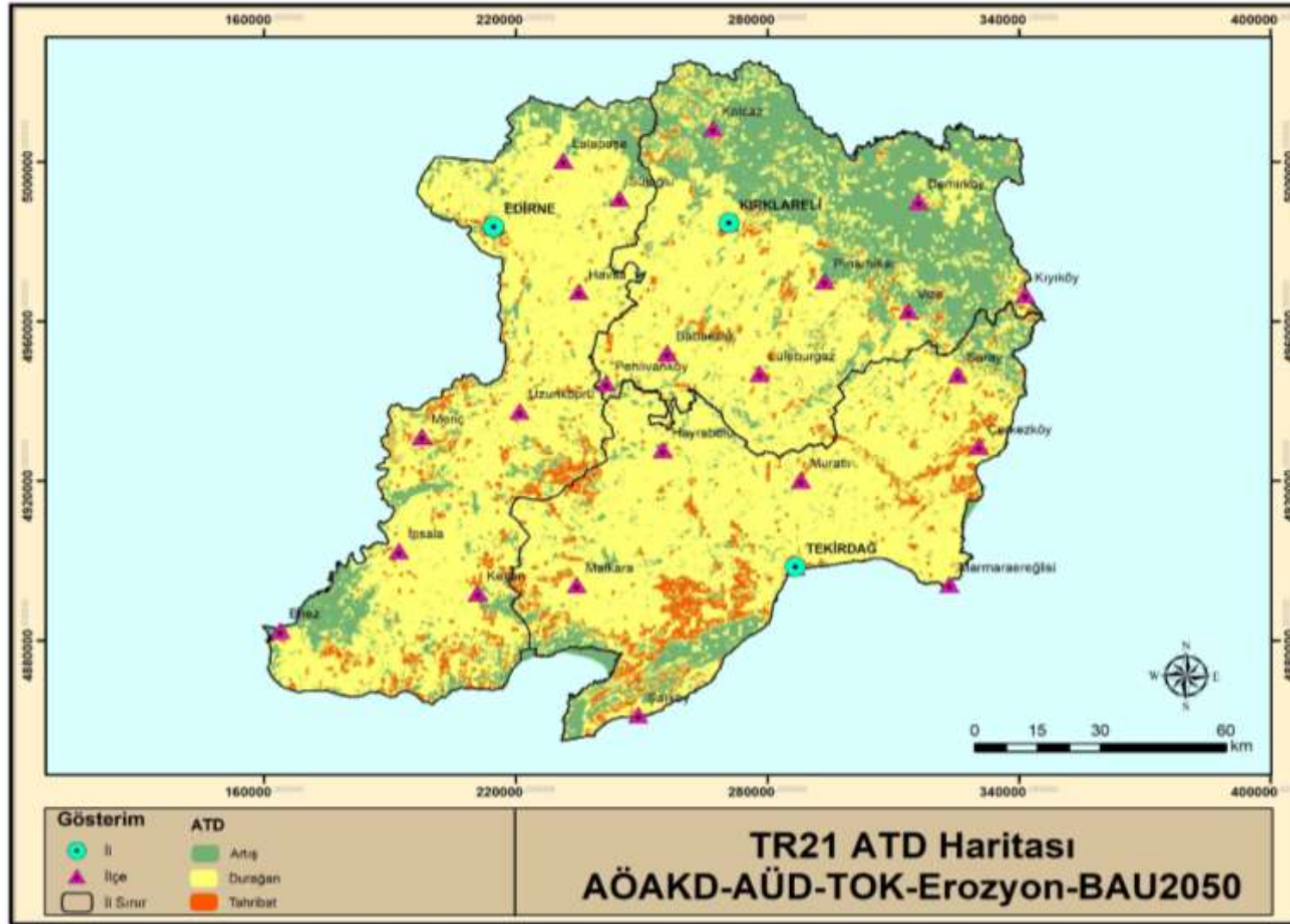
2050 yılı için yapılan tahribat analizlerinde ek olarak ERA5-Land, SSP245 ve SSP585 iklim senaryoları kullanılmıştır. İklim senaryolarından elde edilen yıllık toplam yağış değerleri ile 2050 yılına ait erozyon haritaları ve buna bağlı olarak ATD analizleri gerçekleştirilmiştir.



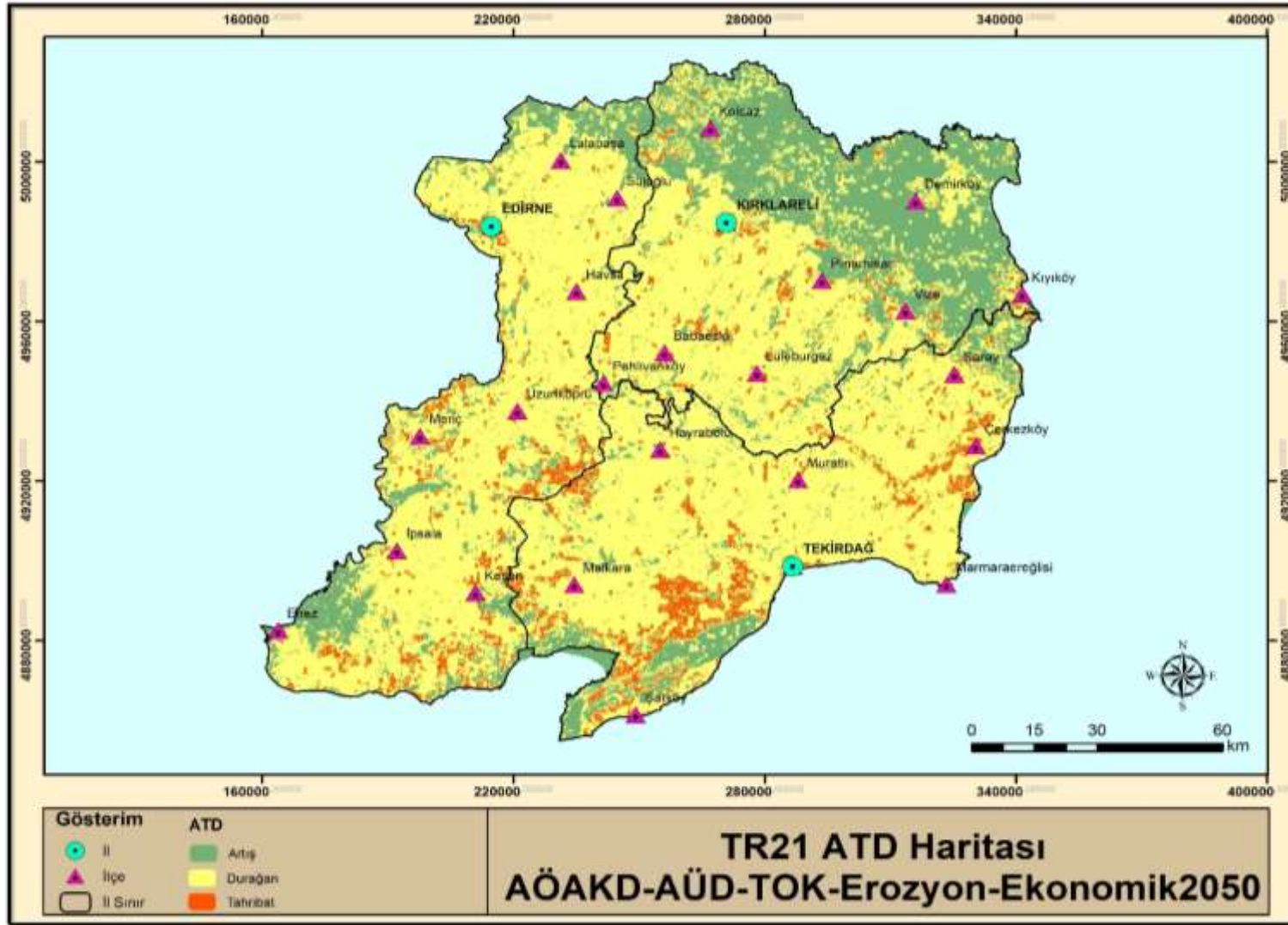
Şekil 34. TR21 ATD haritası AKAÖD-AÜD-TOK-Erozyon



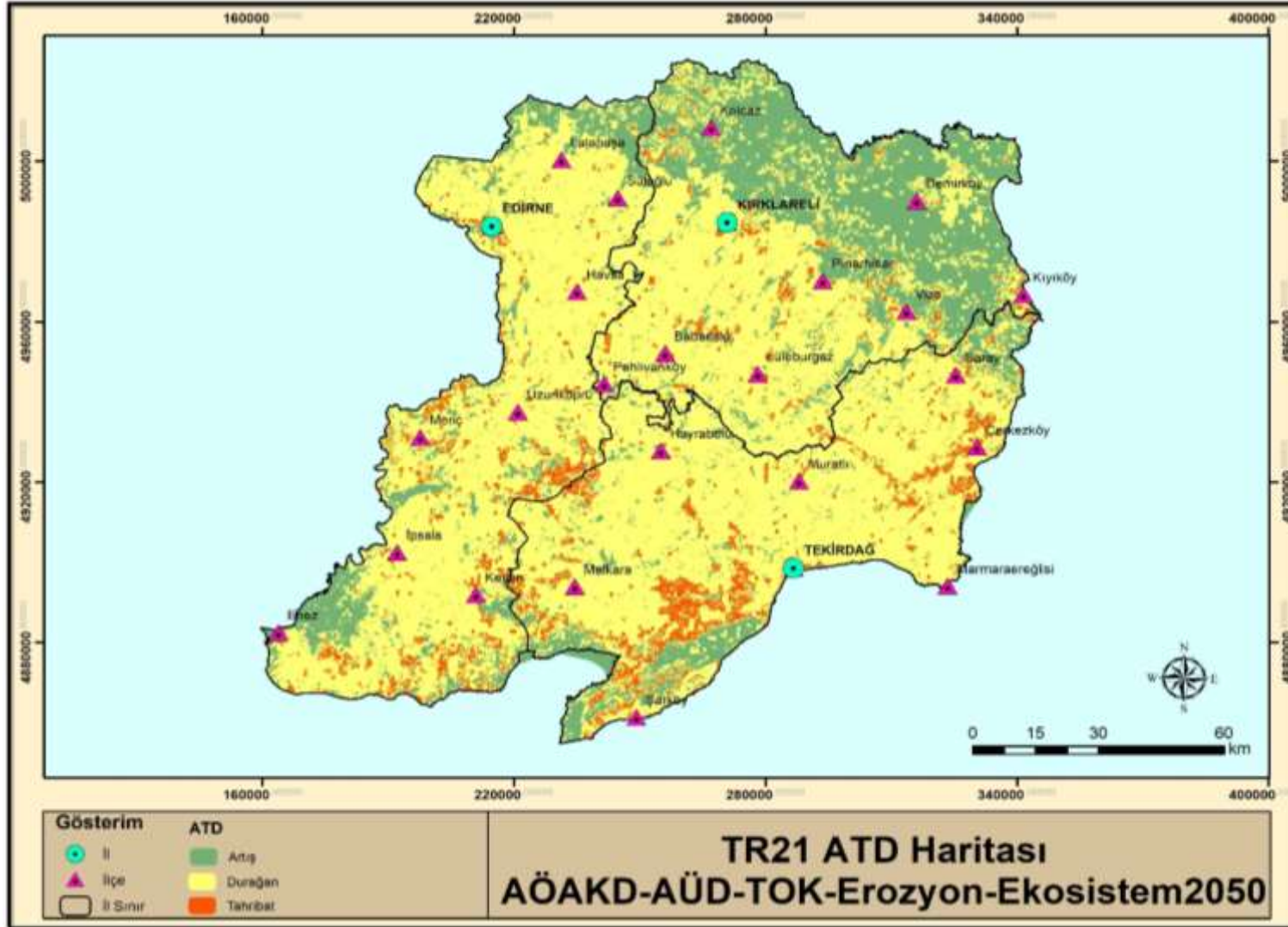
Şekil 35. TR21 ATD haritası AKAÖD-AÜD-TOK-Erozyon-Parçalanma



Şekil 36. TR21 ATD haritası AKAÖD-AÜD-TOK-Erozyon-BaU2050



Şekil 37. TR21 ATD haritası AKAÖD-AÜD-TOK-Erozyon-Ekonomik2050



Şekil 38. TR21 ATD haritası AKAÖD-AÜD-TOK-Erozyon-Ekosistem2050

5. KARAR DESTEK SİSTEMİ

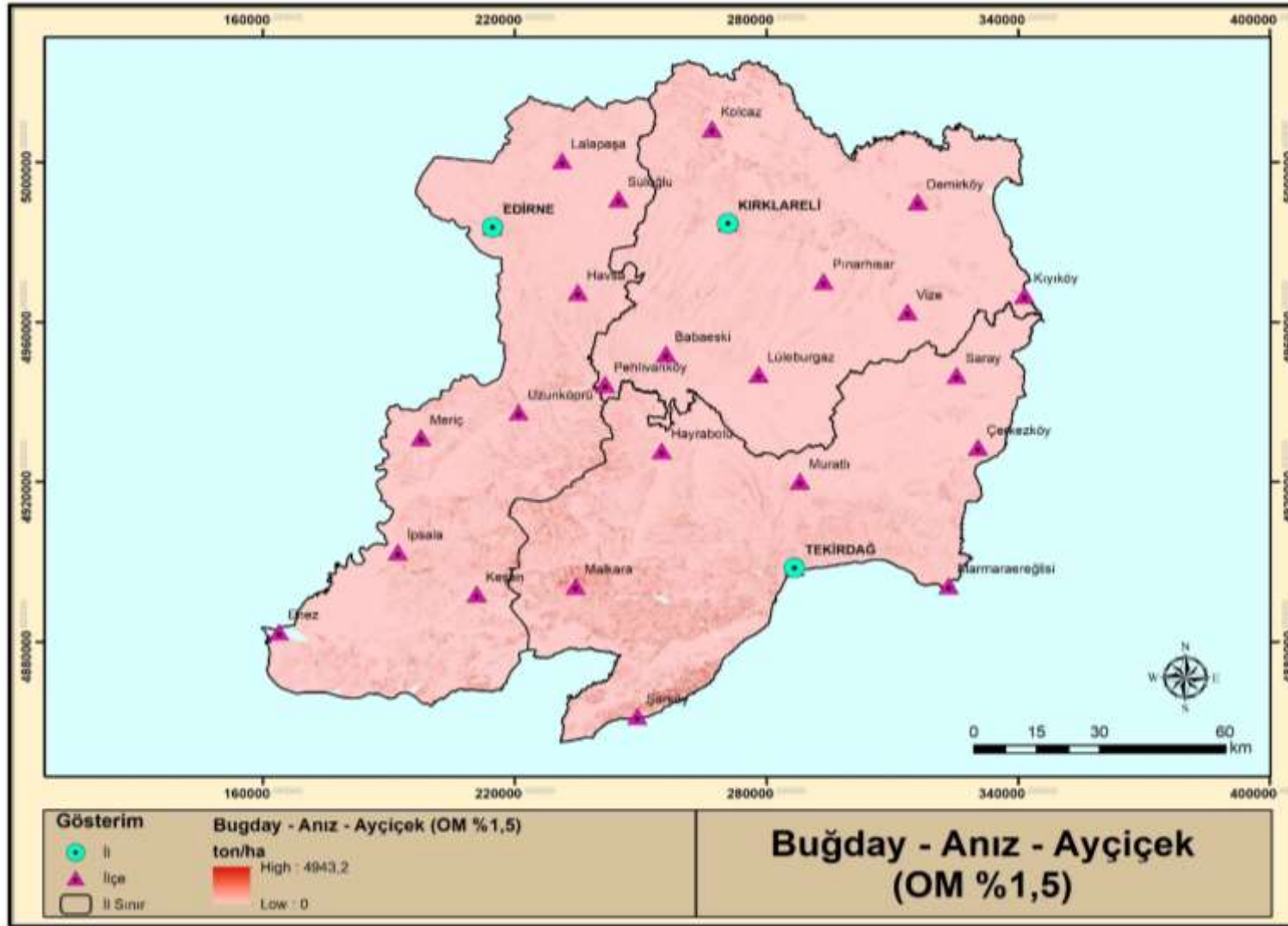
Karar destek sistemi kapsamında üretilen Buğday – Anız – Ayçiçek, Buğday – Baklagil – Ayçiçek, Buğday – İşlenmiş Toprak – Ayçiçek münavebe senaryo erozyon modelleri dikkate alındığında en yüksek toprak kayıplarının işlenmiş toprak münavebesinde ortaya çıktığı görülmüştür (Çizelge 18). Her bir münavebe senaryosunda en düşük değerler organik madde (OM-%1,5)'nin en düşük olduğu durumlarda gözlenmiştir. OM düzeyi arttıkça erozyon oranları azalmıştır.

Bu senaryo analizlerinde göze çarpan diğer bir konu devamlı yüzey örtüsü varlığının toprak kaybı üzerinde etkisidir. Buğday – Baklagil – Ayçiçek senaryosunda bu durum açıkça görünmektedir. Yüzey örtüsünün sürekli sağlandığı bu senaryoda OM değerlerindeki arttığı göz önünde bulundurulduğunda toprak kayıplarının TR21 bölgesinde 11,9 ton/ha ya kadar düşeceği öngörülmüştür (Çizelge 18).

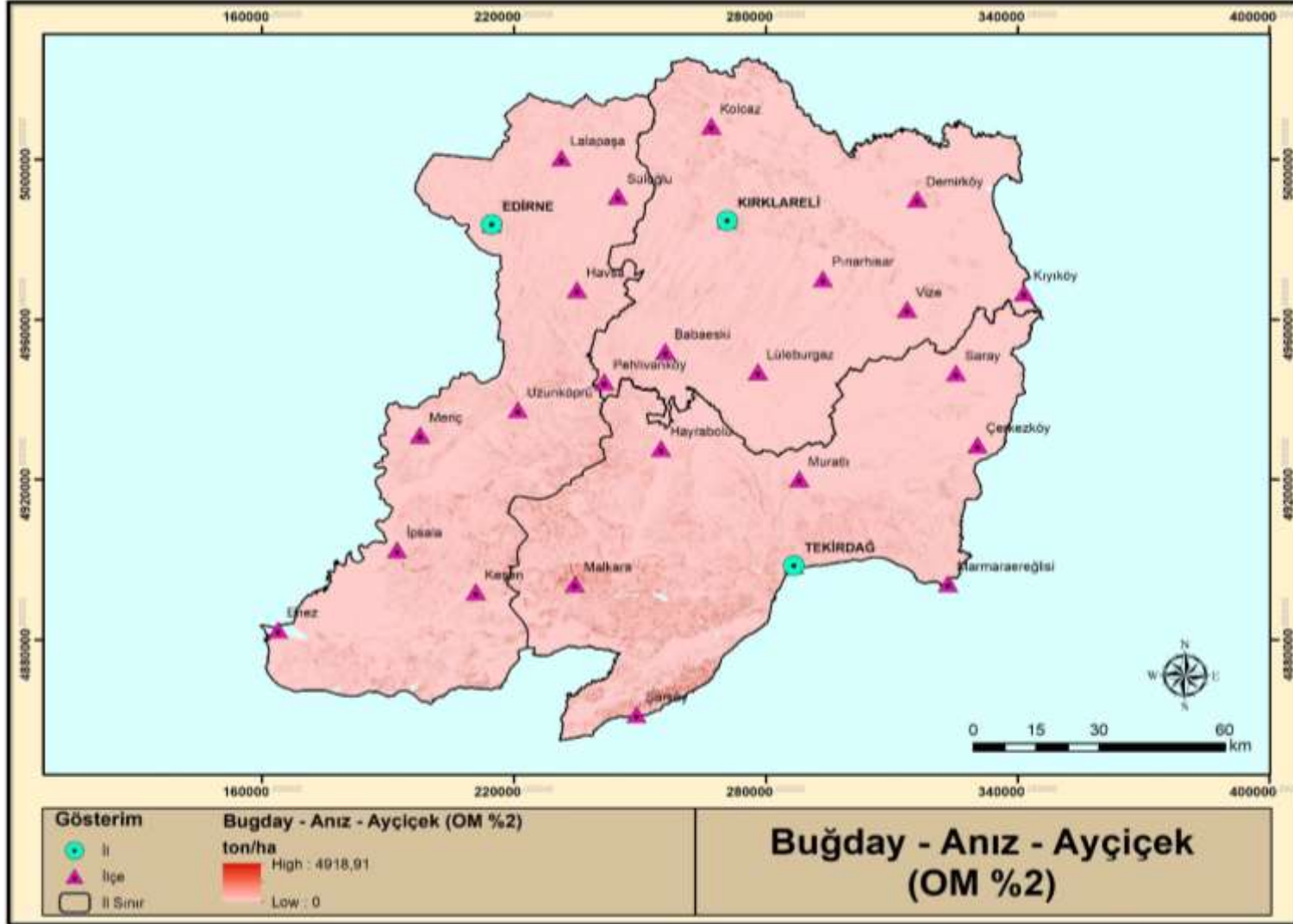
Senaryolar kapsamında üretilen haritalar Şekil (39-53) arasındadır.

Çizelge 18. TR21 bölgesi karar destek sistemi sonuçlarına göre erozyon birim alandankaybolan toprak miktarı (ton/ha)

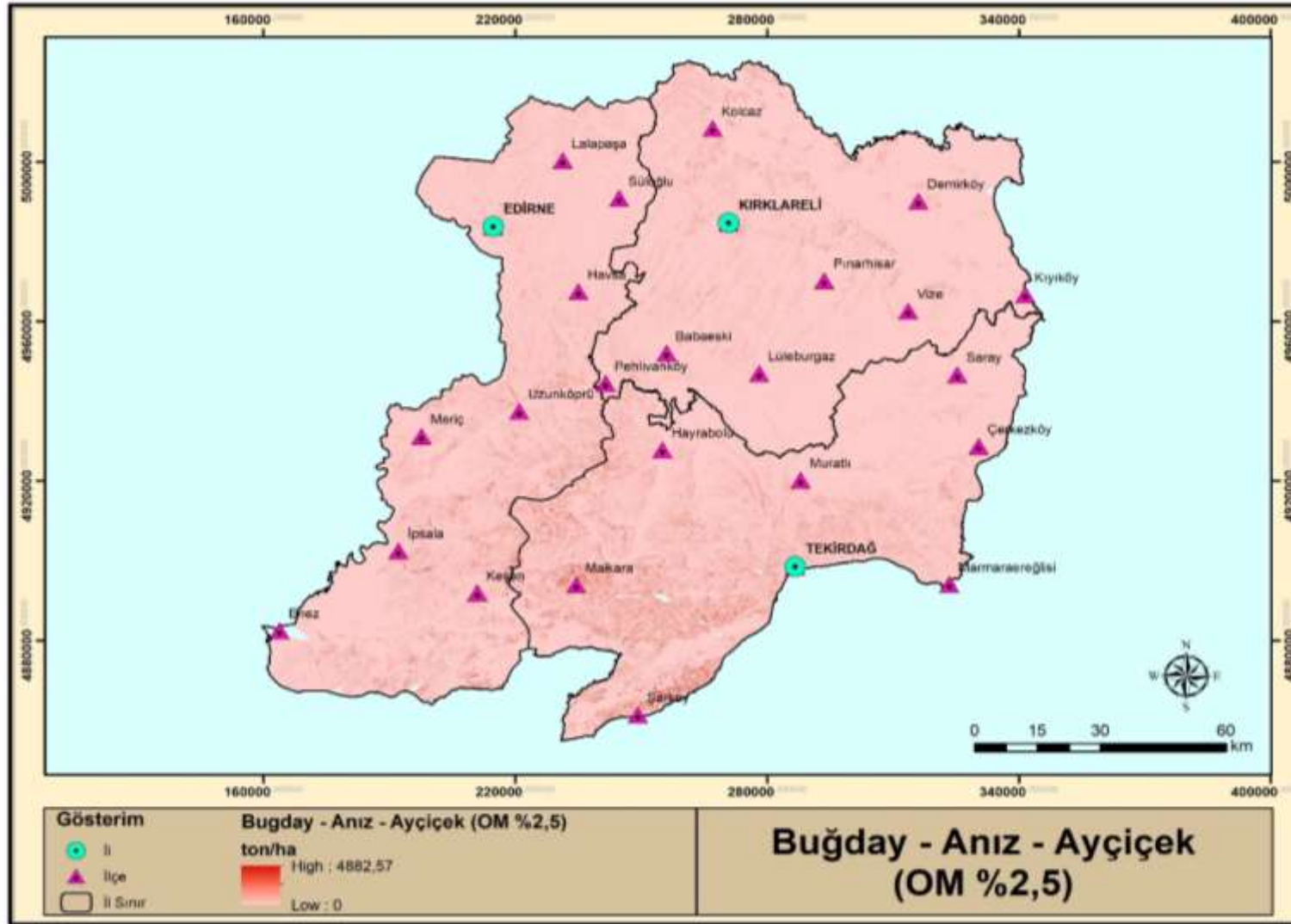
Ürün Deseni	Organik Madde Oranı				
	% 1,5	% 2	% 2,5	% 3	% 3,5
Buğday - Anız - Ayçiçek	21,6	21,2	20,6	20	19,4
Buğday - Baklagil - Ayçiçek	13,2	12,9	12,6	12,3	11,9
Buğday - İşlenmiş Toprak - Ayçiçek	23,3	22,8	22,3	21,6	20,9



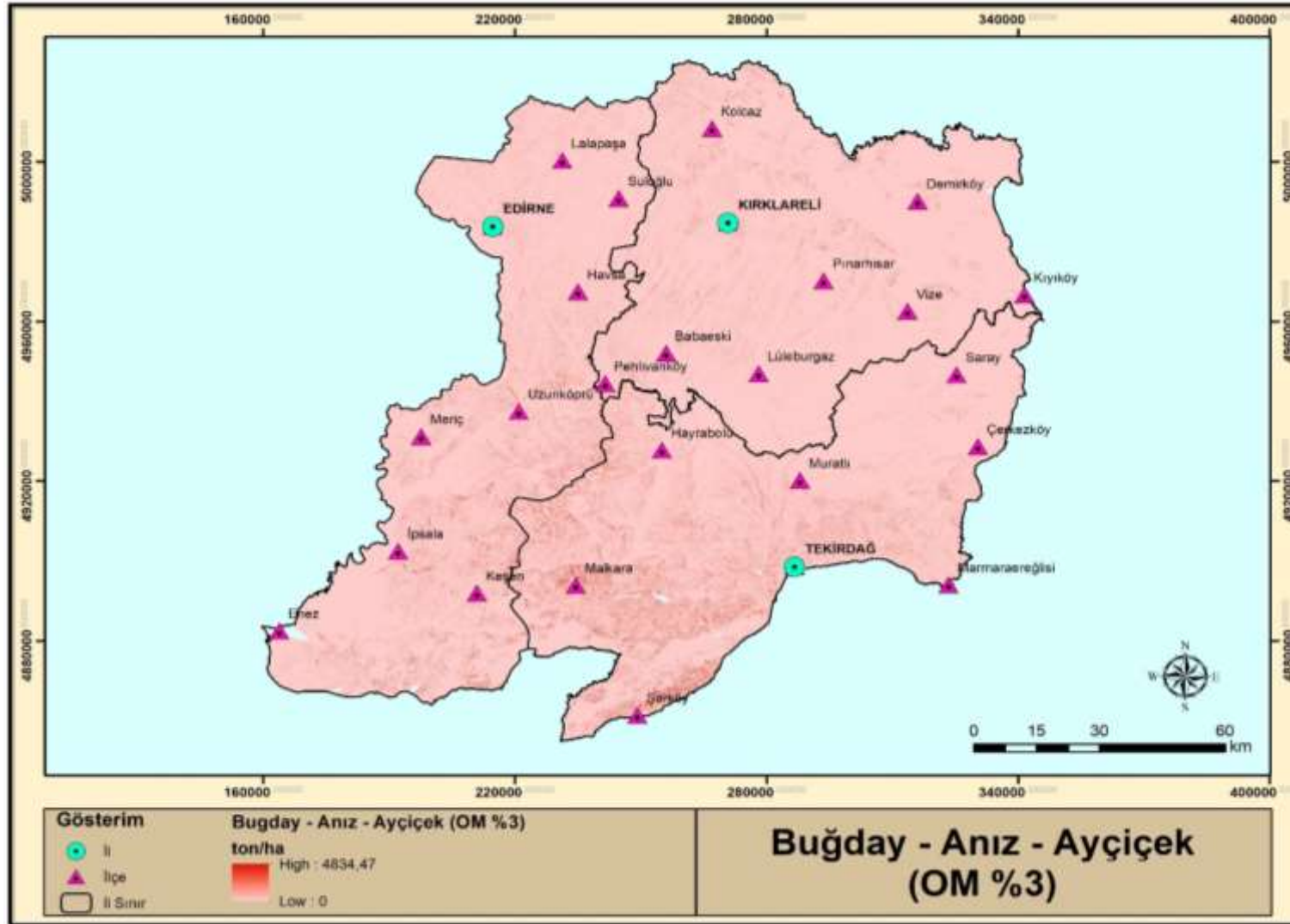
Şekil 39. Karar destek Buğday - Anız - Ayçiçek münavebesi (OM %1,5)



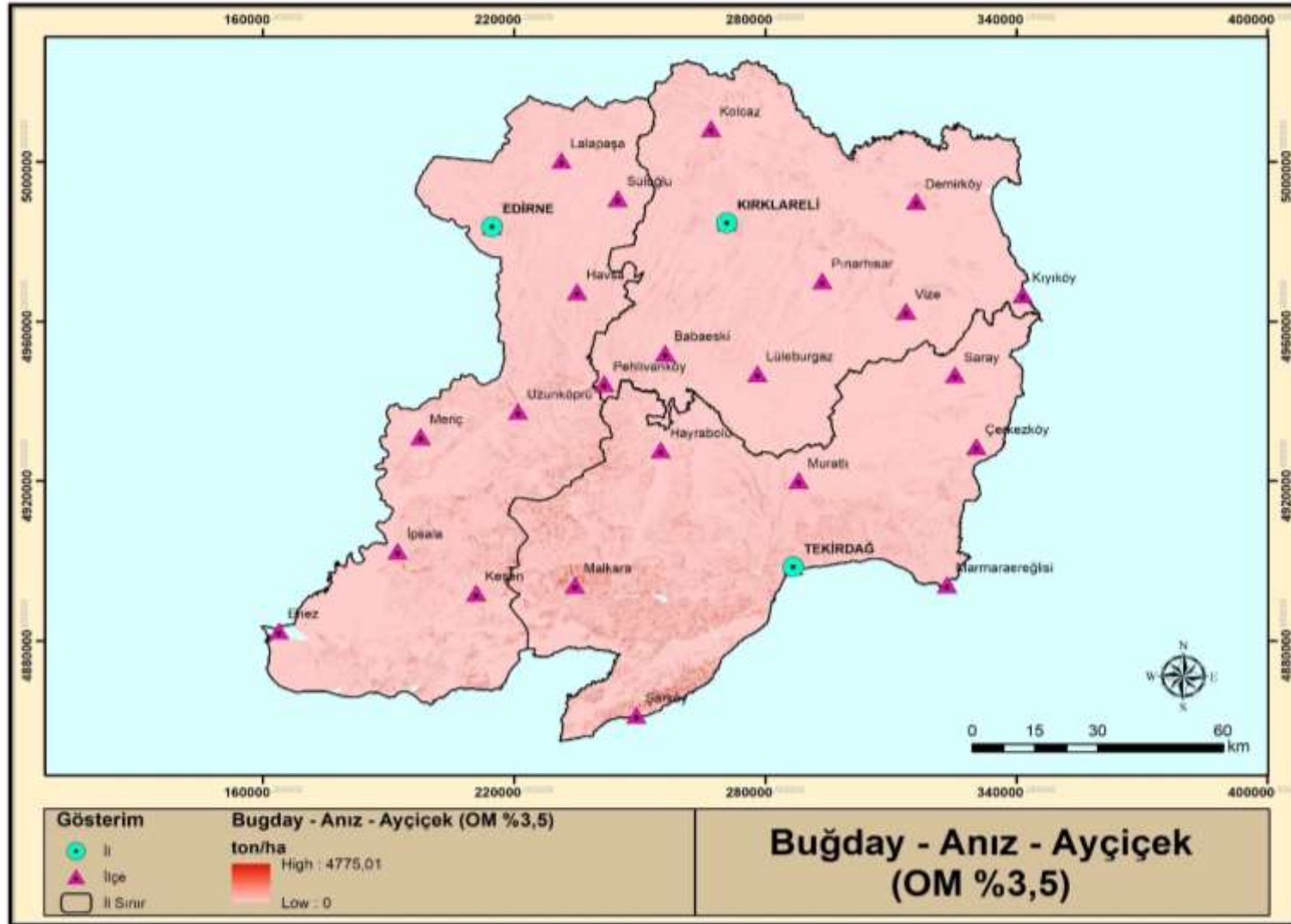
Şekil 40. Karar destek Buğday - Anız - Ayçiçek münavebesi (OM %2)



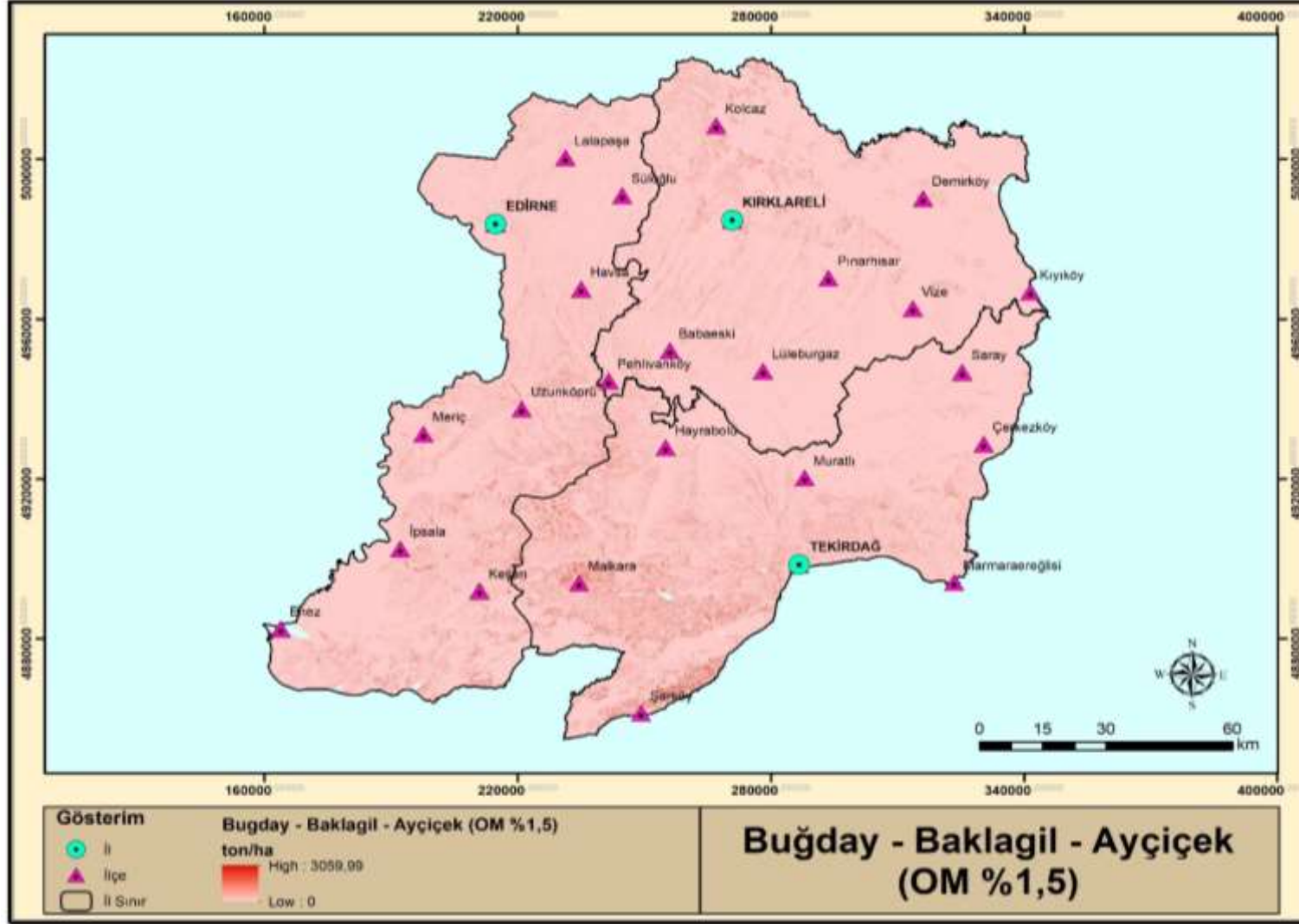
Şekil 41. Karar destek Buğday - Anız - Ayçiçek münavebesi (OM %2,5)



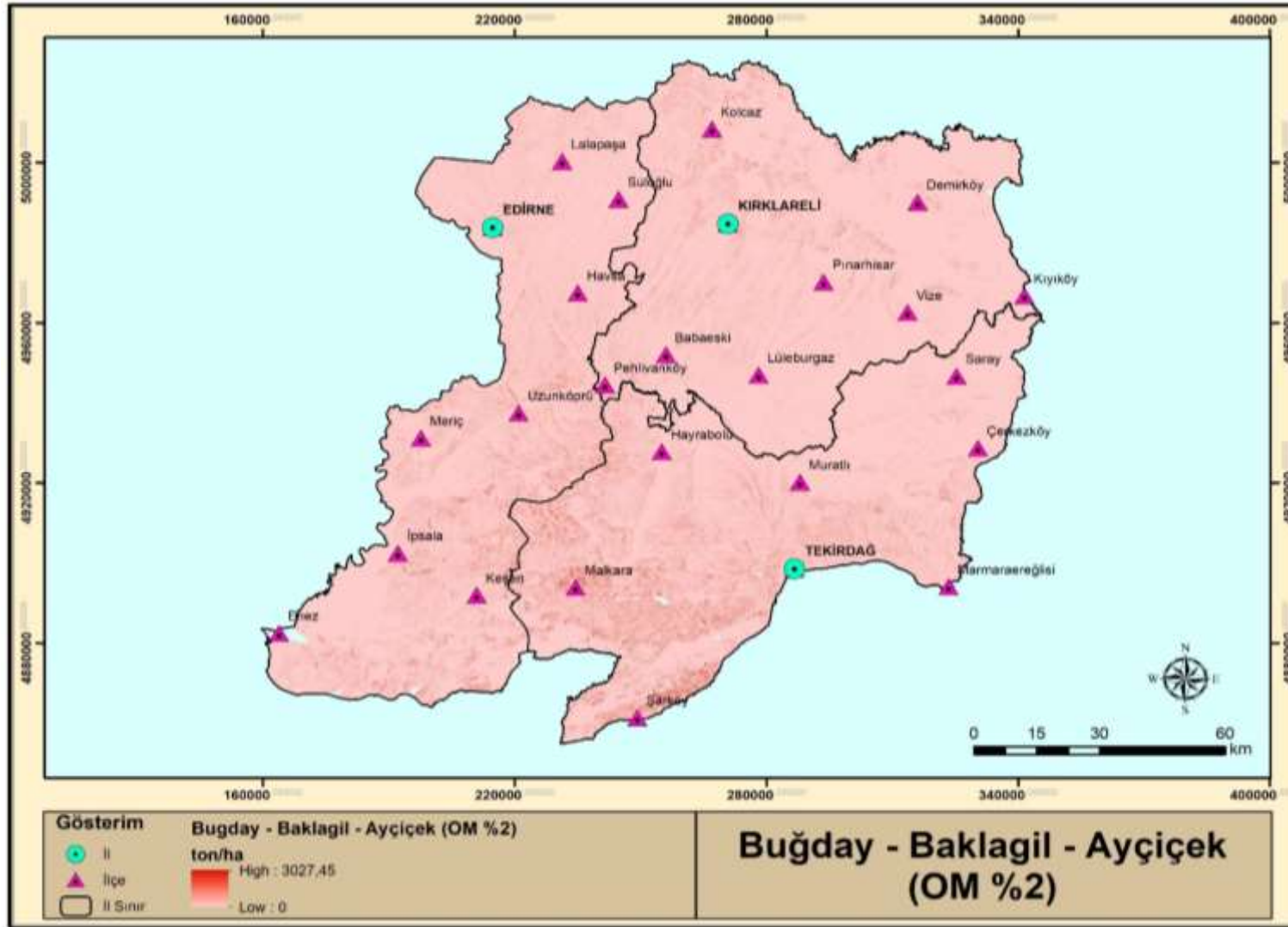
Şekil 42. Karar destek Buğday - Anız - Ayçiçek münavebesi (OM %3)



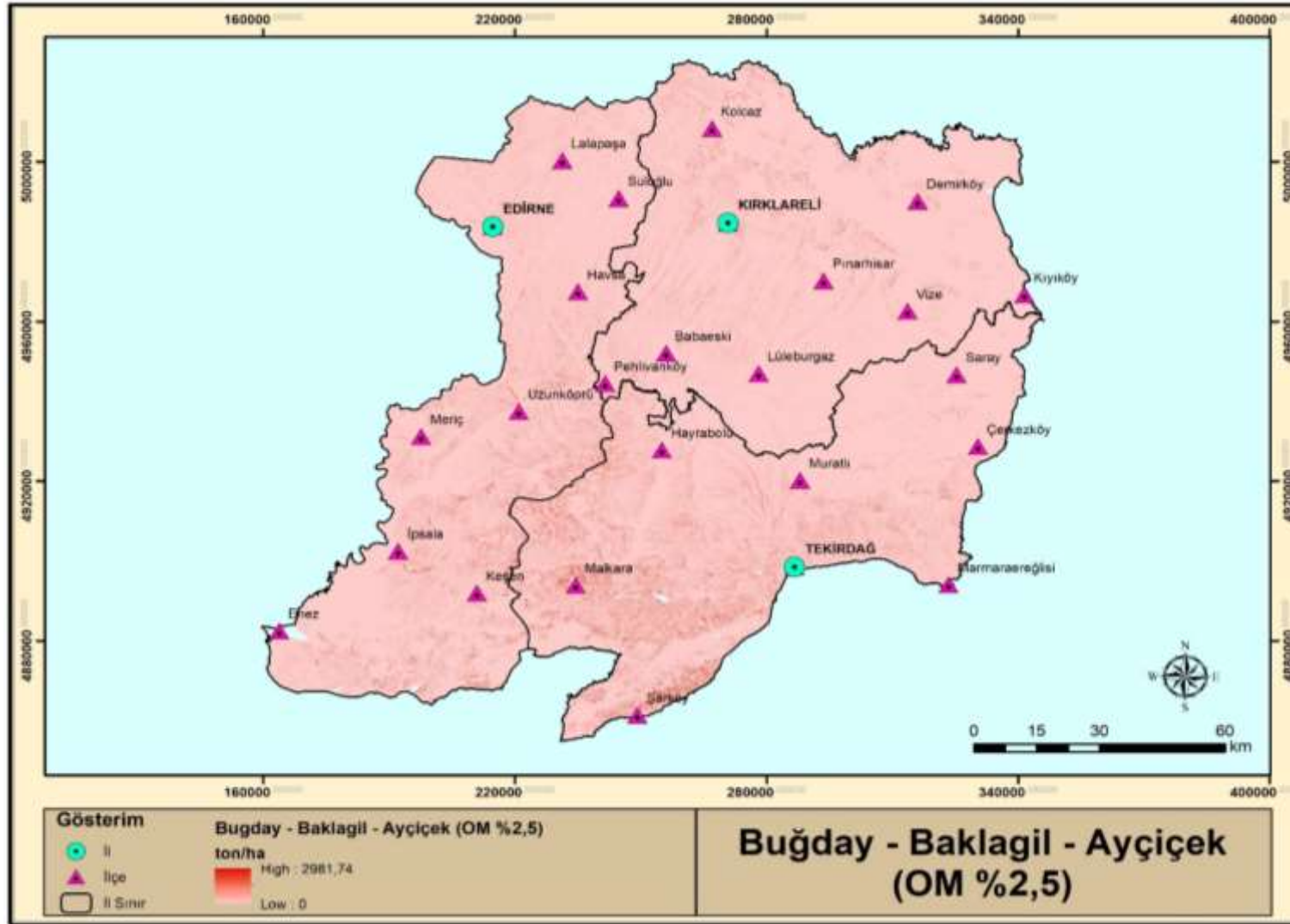
Şekil 43. Karar destek Buğday - Anız - Ayçiçek münavebesi (OM %3,5)



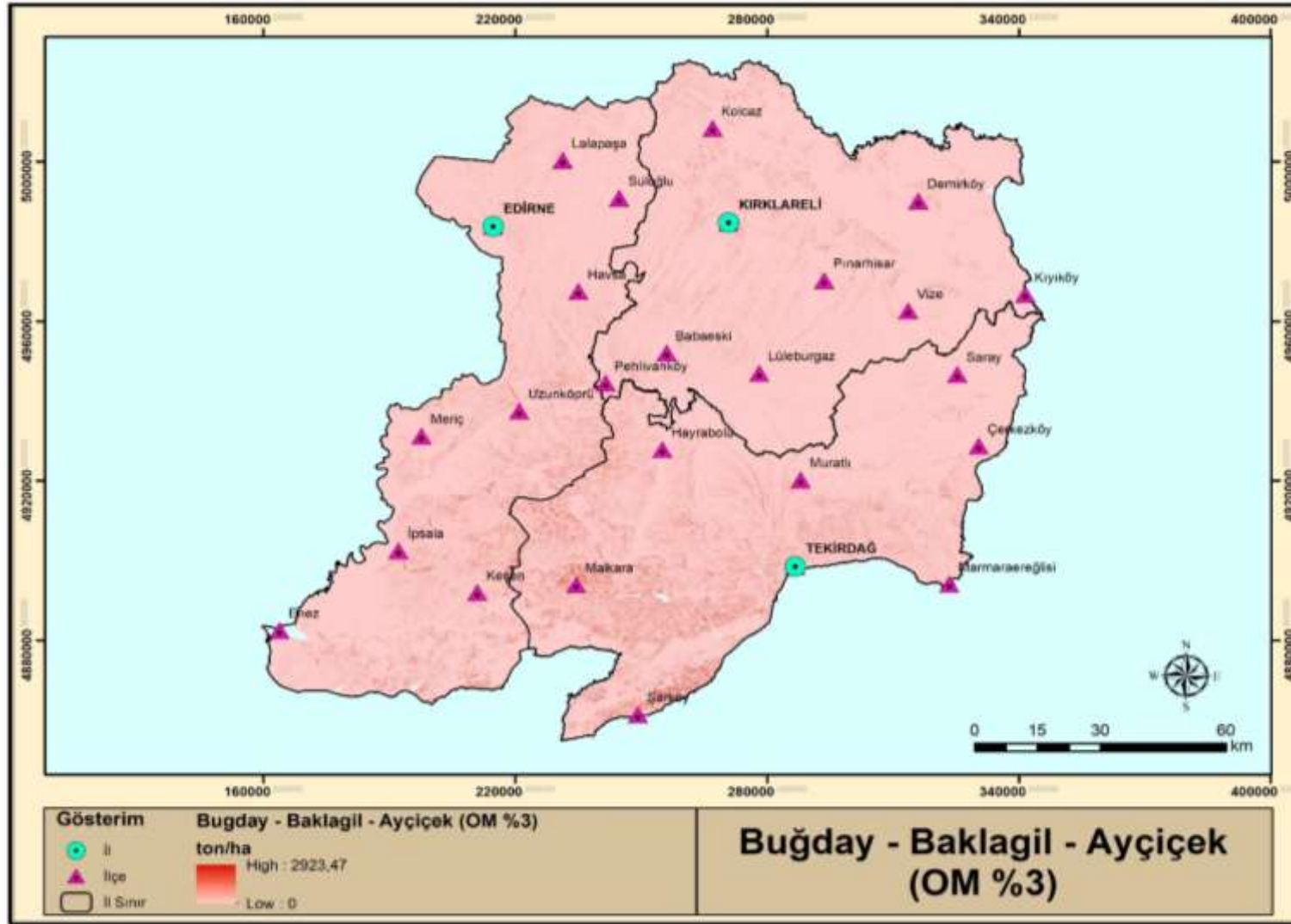
Şekil 44. Karar destek Buğday - Baklagil - Ayçiçek münavebesi (OM %1,5)



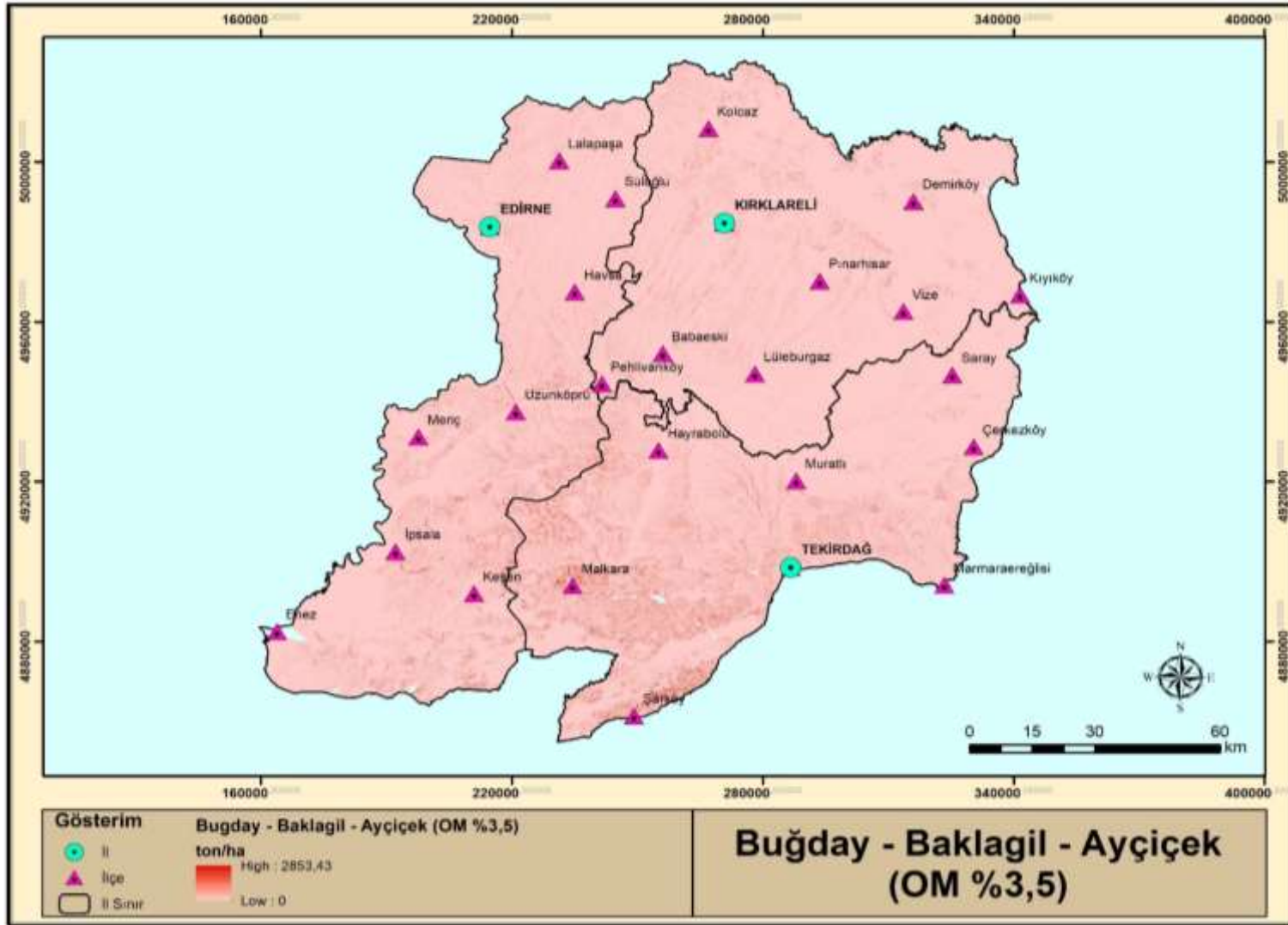
Şekil 45. Karar destek Buğday - Baklagil - Ayçiçek münavebesi (OM %2)



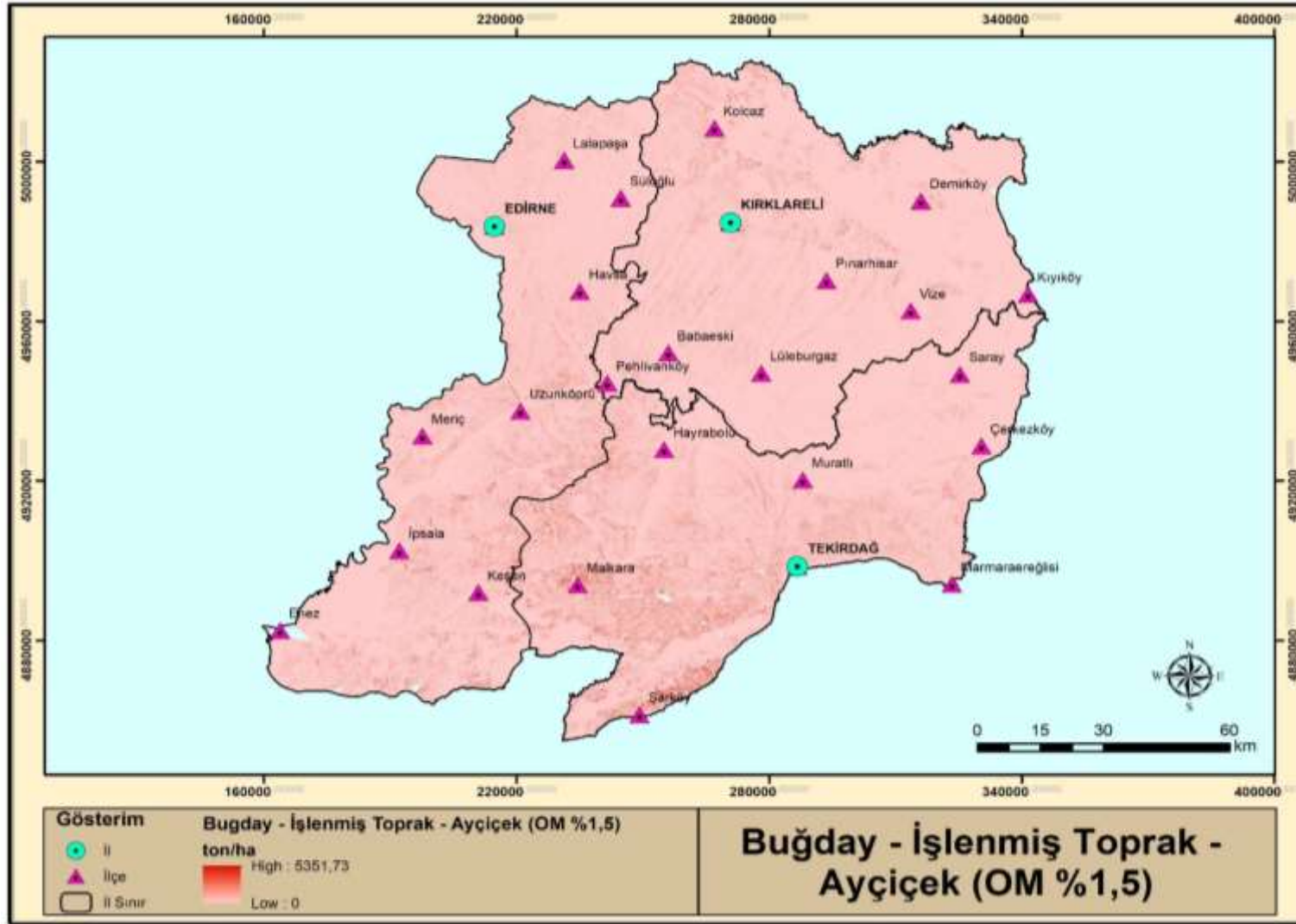
Şekil 46. Karar destek Buğday - Baklagil - Ayçiçek münavebesi (OM %2,5)



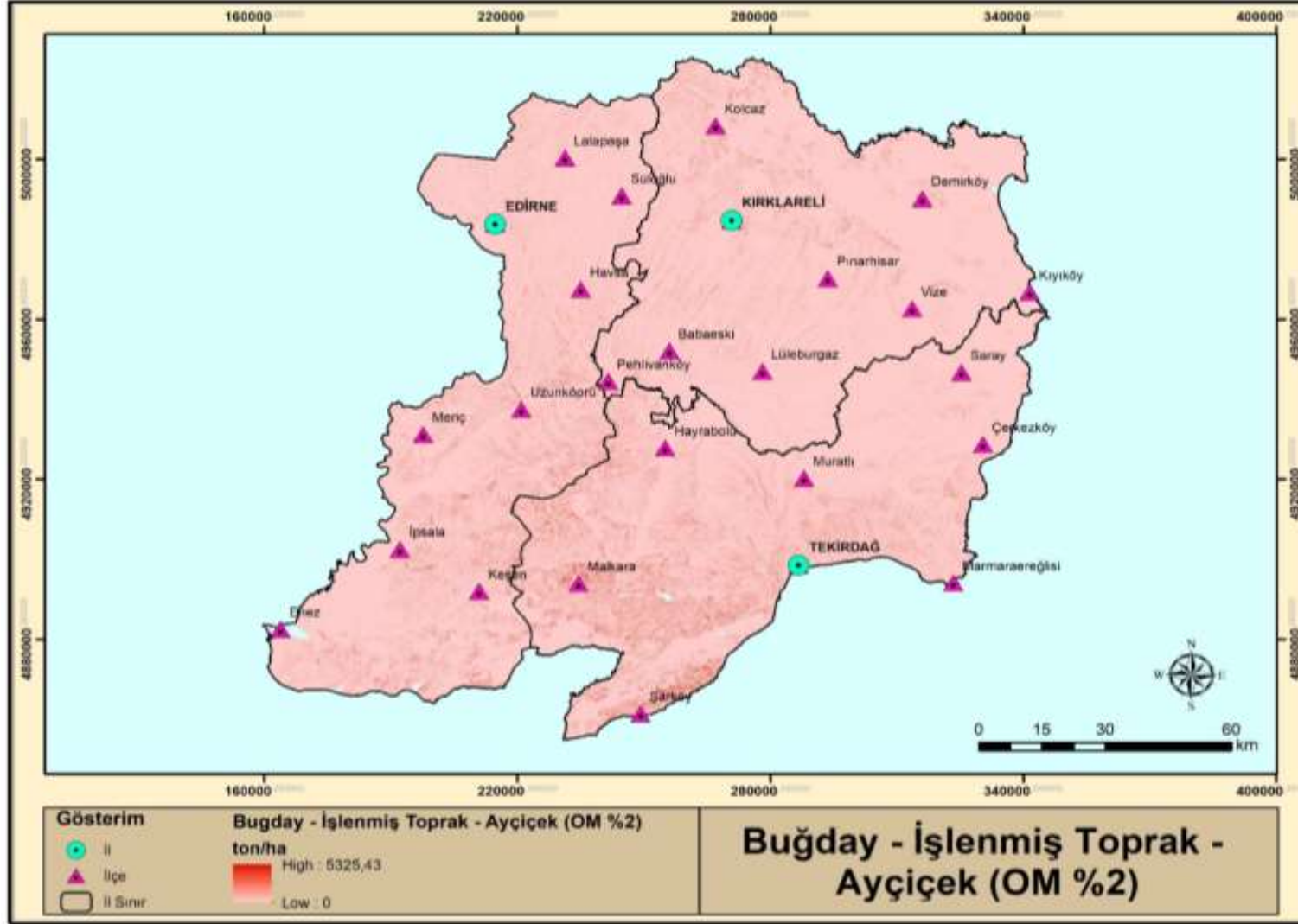
Şekil 47. Karar destek Buğday - Baklagil - Ayçiçek münavebesi (OM %3)



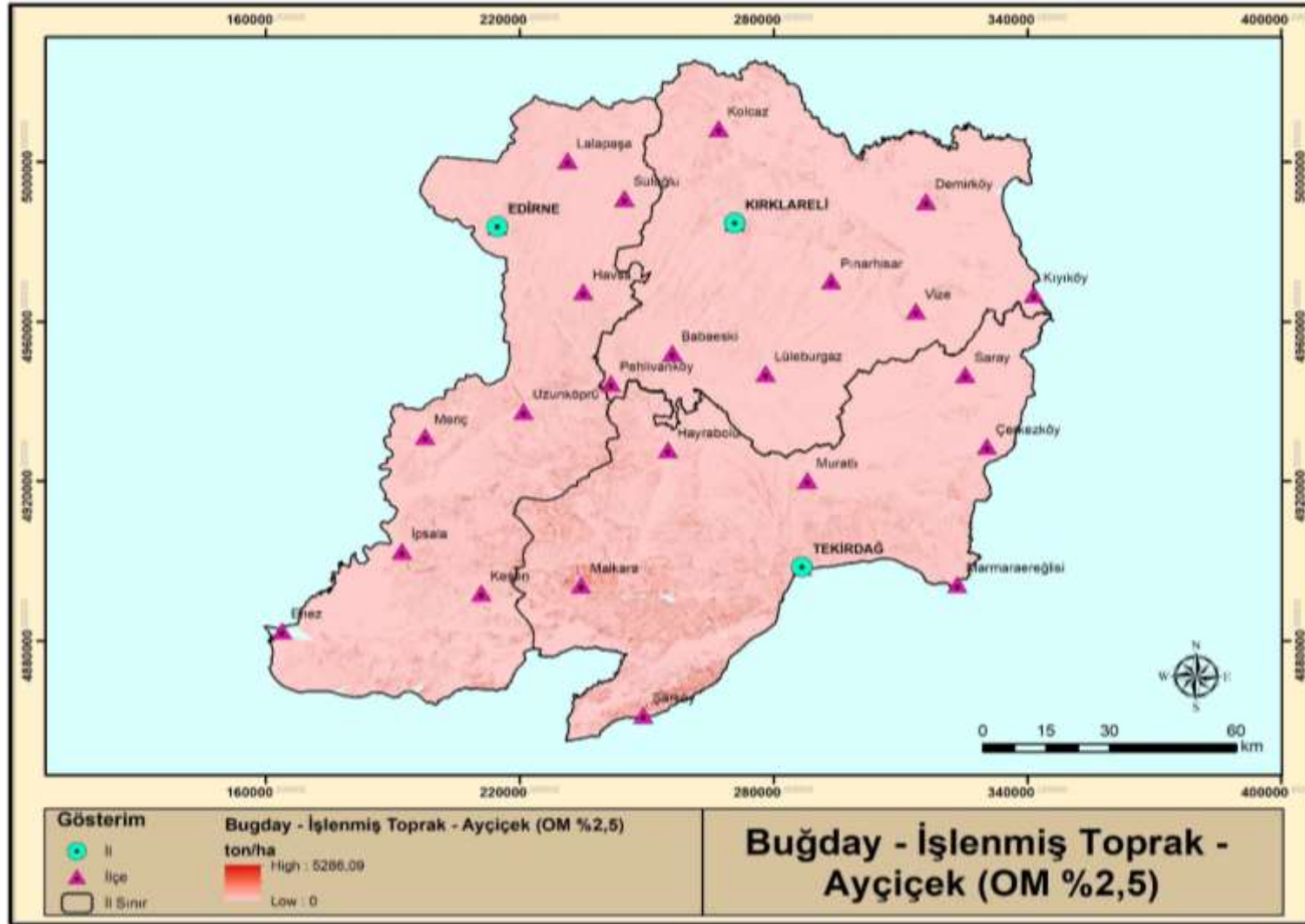
Şekil 48. Karar destek Buğday - Baklagil - Ayçiçek münavebesi (OM %3,5)



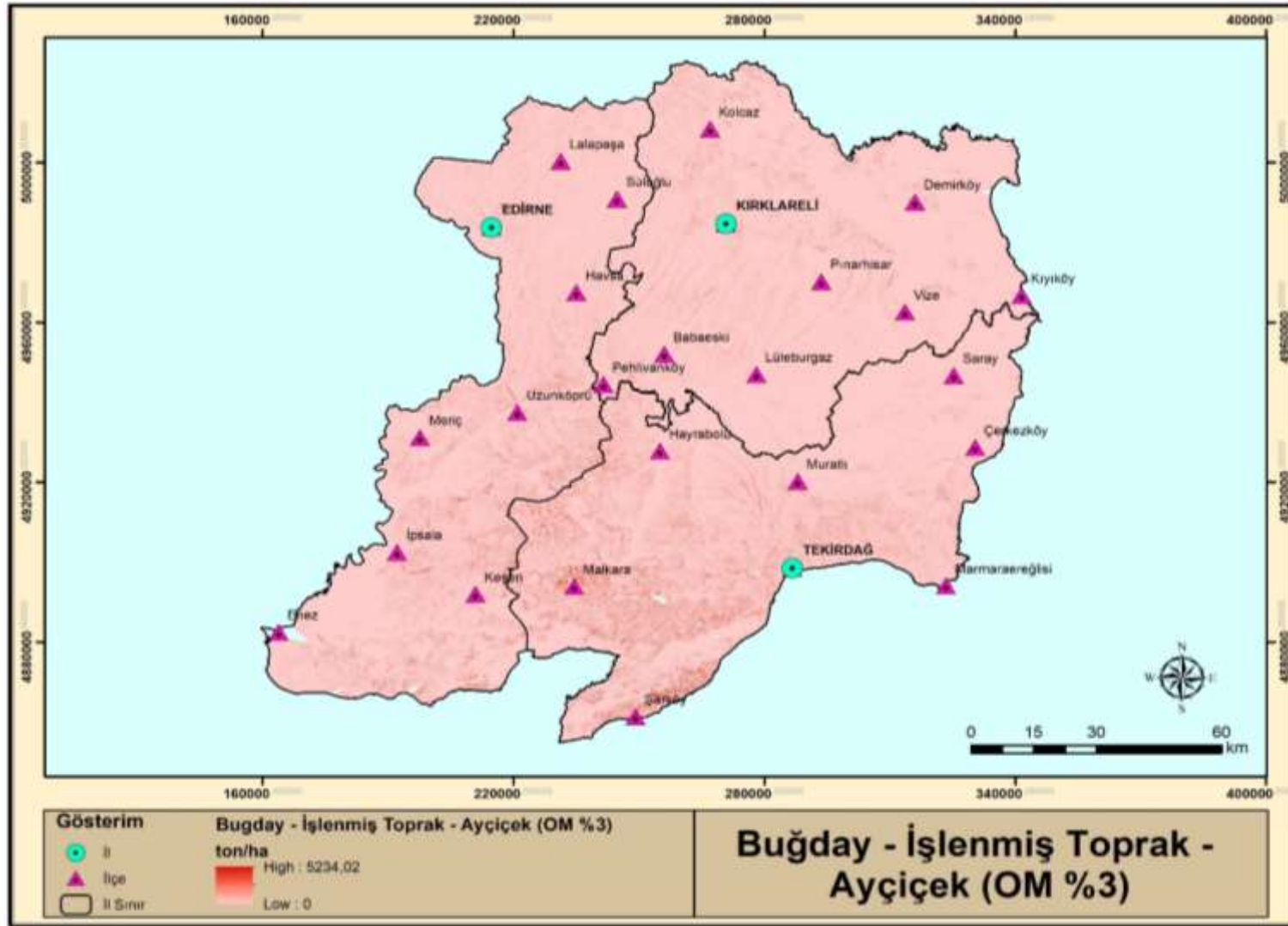
Şekil 49. Karar destek Buğday - İşlenmiş Toprak - Ayçiçek münavebesi (OM %1,5)



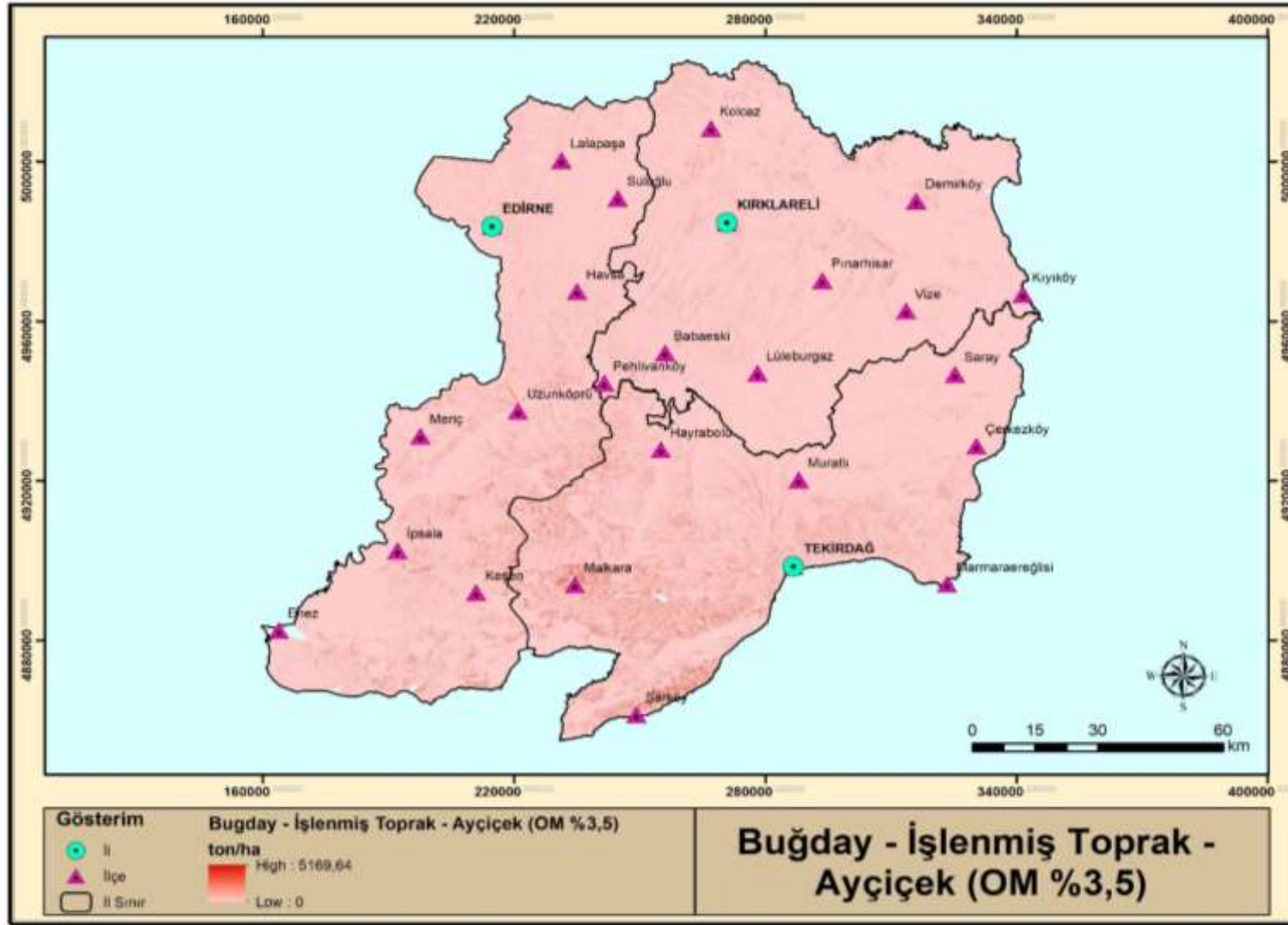
Şekil 50. Karar destek Buğday - İşlenmiş Toprak - Ayçiçek münavebesi (OM %2)



Şekil 51. Karar destek Buğday - İşlenmiş Toprak - Ayçiçek münavebesi (OM %2,5)



Şekil 52. Karar destek Buğday - İşlenmiş Toprak - Ayçiçek münavebesi (OM %3)



Şekil 53. Karar destek Buğday - İşlenmiş Toprak - Ayçiçek münavebesi (OM %3,5)

6. İKLİMTRAK ARAZİ TAHRİBATI DENGELEME WEBGIS UYGULAMASI

İklimTrak projesi kapsamında TR21 bölgesinde meydana gelen arazi tahribatını ortaya koymak amacıyla <https://iklimtrak.com/> adresi altında “Arazi tahribatı karar destek sistemi” WEBGIS uygulaması geliştirilmiştir (Şekil 54).



Şekil 54. Arazi tahribatı karar destek sistemi giriş

Uygulama ile İklimTrak projesi kapsamında üretilen tüm verilere ulaşarak il, ilçe ve çizilen alan bazında tahribat analizleri yapılabilmektedir (Şekil 55-56).

Genel Proje Mimarisi: Trakya WebGIS

Trakya WebGIS projesi, modern web teknolojileri ve CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) araçları kullanılarak geliştirilmiş bir coğrafi analiz ve harita sunum platformudur. Proje üç ana katmandan oluşmaktadır:

1. Backend (API Katmanı - NestJS)
2. Frontend (Web Arayüz - React/Vite)
3. Veritabanı ve CBS Katmanı (PostgreSQL/PostGIS, GeoServer, Python/RasterIO)

Backend (API) Teknolojileri

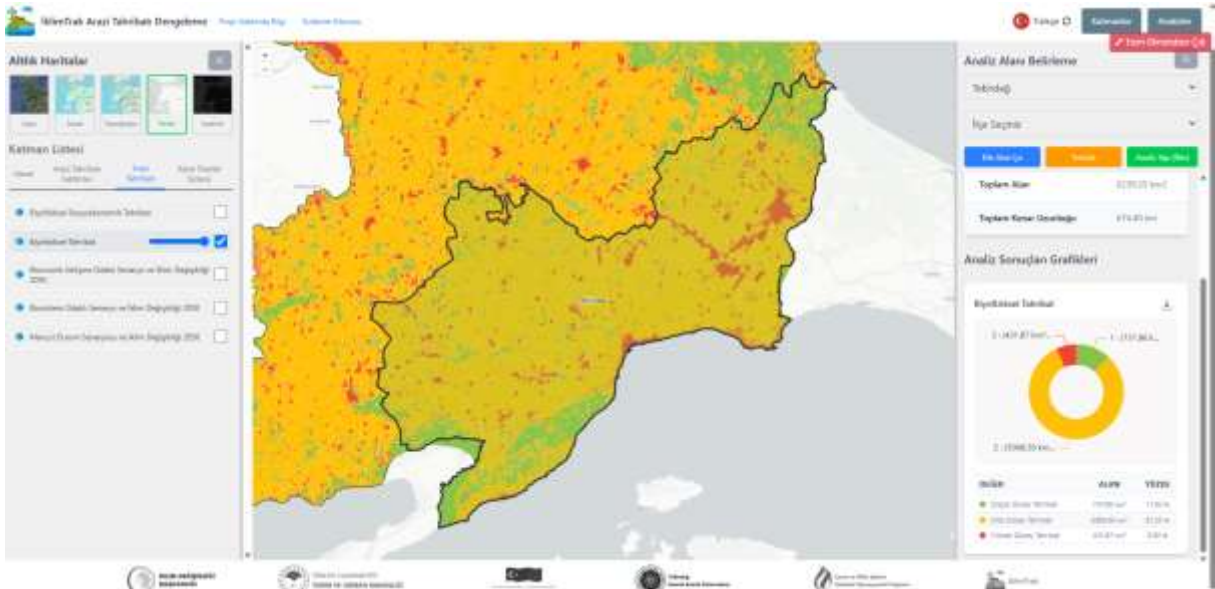
- Framework: NestJS (v11)
- ORM: TypeORM (PostgreSQL uyumlu)
- Veritabanı Bağlantısı: pg PostgreSQL sürücüsü
- HTTP İstemcisi: axios (harici servislerle etkileşim için)
- Harita Hizmetleri:
 - map-tile-downloader & map-tiles-generator kütüphaneleri, raster veya vektör tile'ların işlenmesi amacıyla kullanıldı.
- Swagger Desteği: NestJS yapısı üzerinde otomatik API dokümantasyonu

- Test: Jest + Supertest
- Lint ve Format: ESLint + Prettier
- Derleme: TypeScript + SWC (@swc/core)

NestJS backend'i kullanıcı yönetimi, coğrafi sorgular, harita tile servisleriyle etkileşim ve raster analiz API uç noktalarını sağlar.



Şekil 55. WEBGIS uygulaması, karar destek sistemi



Şekil 56. WEBGIS uygulaması, analizler

7. KAYNAKÇA

- Anonymous. 2015. Land Productivity Dynamic for Land Degradation Neutrality for Two Adjacent Micro Catchments in Gediz Basin CASE STUDY REPORT. General Directorate of Combating Desertification and Erosion (ÇEM).
- Anonymous. 2016. Web Sitesi <http://www.fao.org/3/a-i5232e.pdf>, Erişim Tarihi:05.08.2021
- Anonymous 2018. The IPBES assessment report on land degradation and restoration. Montanarella, L., Scholes, R., and Brainich, A. (eds.). Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany. 744 pages.
- Anonymous 2021. Global Report on Food Crises 2021. FSIN. Joint Analysis for Better Decision. Food Security Information Network (eBook).
- Aquino, D. N., Rocha, O. C., Moreira, M. A., Teixeira A. S., Andrade, E. M., 2018. Use of remote sensing to identify areas at risk of degradation in the semi-arid region. *Revista Ciência Agronômica*, vol. 49, no. 3.
- Chotte, J.L., Aynekulu, E., Cowie, A., Campbell, E., Vlek, P., Lal, R., Kapović-Solomon, M., Maltitz, G. von, Kust, G., Barger, N., Vargas, R. ve Gastrow, S. 2019. Realising the Carbon Benefits of Sustainable Land Management Practices: Guidelines for Estimation of Soil Organic Carbon in the Context of Land Degradation Neutrality Planning and Monitoring. A report of the Science-Policy Interface. United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD), Bonn, Germany. ISBN 978-92-95117-03-7 (electronic copy).
- Cowie, A.L., Orr, B.J., Sanchez, V.M.C., Chasek, P., Crossman, N.D., Erlewein, A., Louwagie, G., Maron, M., Metternicht, G.I., Minelli, S., Tengberg, A.E., Walter, S. ve Welton, S. 2018. Land in balance: The scientific conceptual framework for Land Degradation Neutrality. *Environmental Science & Policy*. Volume 79, January 2018, 25–35.
- Durigon, V. L., Carvalho, D. F., Antunes, M. A. H., Oliveira, P. T. S., & Fernandes, M. M. (2014). NDVI time series for monitoring RUSLE cover management factor in a tropical watershed. *International Journal of Remote Sensing*, 35(2), 441-453.
- ELD Initiative. 2015. Report for policy and decision makers: Reaping economic and environmental benefits from sustainable land management. (electronic copy).
- Montanarella L., Pennock, D.J., McKenzie, N., Badraoui, M., Chude, V., Baptista, I., Mamo, T., Yemefack, M., Singh Aulakh, M., Yagi, K. ve Young Hong, S. 2016. World's soils are under threat. *Soil* 2(1):79-82.
- Renard, K.G., Foster, G.A., Weesies, D.A., McCool, D.K., Yoder, D.C., 1997. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE). *Agriculture Handbook No. 703*. USDA, Washington, DC.
- UN.2021. World population projected to reach 9.8 billion in 2050, and 11.2 billion in 2100. United Nations. Department of Economic and Social Affairs. Policy Briefs.
- United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD), 2016. Integration of the Sustainable Development Goals and Targets into the Implementation of the United Nations Convention to Combat Desertification and the Intergovernmental Working Group Report on Land Degradation Neutrality. CCD/COP(12)/20/Add.1.
- United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD), 2017. Scientific Conceptual Framework for Land Degradation Neutrality. A Report of the Science-Policy Interface.
- Van der Knijff, J. M., R. J. A. Jones, & Montanarella, L. (2000). Soil Erosion Risk Assessment in Europe. Ispra: European Soil Bureau. Joint Research Centre. EUR 19044 EN
- Wischmeier, W.H., Smith, D.D., 1978. Predicting rainfall erosion losses—a guide for conservation planning. USDA, *Agricultural Handbook*. U.S. Government Printing Office, Washington, DC., pp. 537.

Bu yayın, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti'nin mali desteğiyle hazırlanmıştır. İçeriğinden yalnızca Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi sorumludur. Türkiye Cumhuriyeti ve Avrupa Birliği'nin görüşlerini yansıtmıyor olarak yorumlanamaz.