T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

ARAZİ KULLANIM/ARAZİ ÖRTÜSÜ DEĞİŞİKLİĞİNİN MODELLENMESİ VE TOPRAK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ: ADIYAMAN, BESNİ İLÇESİ ÖRNEĞİ

Miraç KILIÇ

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA
2023

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
ÇİZELGELER DİZİNİ v
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ vi
1. GİRİŞ 1
1.1. Oyuntu Erozyonundan Etkilenmiş Alanların Belirlenmesi ve Haritalanması için Bütünleşik Bir Çerçeve 5
1.2. Sayısal Toprak Haritalama Prensipleriyle Hibrit Model Yaklaşımı Kullanılarak Toprak Organik Karbon İçeriğinin Mekânsal Modellenmesi 7
1.3. Sürdürülebilir Arazi Kullanım Türünün Bulanık Mantık Yaklaşımı ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Entegrasyonuyla Belirlenmesi 10
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 14
3. MATERYAL ve YÖNTEM 19
3.1. Çalışma Alanı Coğrafi Konumu 19
3.2. İklimi ve Bitki Örtüsü 19
3.3. Jeolojisi 20
3.4. Toprak Özellikleri 21
3.2. Yöntem 22
3.2.1. Coğrafi nesne tabanlı görüntü analizi ile oyuntu erozyonu envanteri 22
3.2.2. Toprak örneklemesi ve laboratuvar analizleri 28
3.2.3. Toprak organik karbon içeriğinin mekânsal dağılım modeli metodolojisi 29
3.2.3.1. Yükselti 29
3.2.3.2. İklim 30
3.2.3.3. Spektral ve topoğrafik indeksler 30
3.2.3.4. TOK içeriğinin çok katman algılayıcılı yapay sinir ağları ile tahmin metodolojisi 32
3.2.3.5. Çok katmanlı algılayıcı ve ordinary kriging hibrit model süreci 34
3.2.3.6. MLP-OK hybrid enterpolasyon yöntemi ile doğruluk değerlendirilmesi 36
3.2.4. Sürdürülebilir tarımsal arazi kullanım uygunluk değerlendirme sistemi metodolojisi 38
3.2.4.1. İklim katmanı 39
3.2.4.2. Erozyon katmanı 40
3.2.4.3. Arazi kullanım türleri 41
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARIŞMA 45
4.1. Oyuntu Erozyonundan Etkilenen Alanların Belirlenmesinde Coğrafi Nesne Tabanlı Görüntü Analizi ve Rassal Ağaçlar Denetimli Makine Öğrenmesi Sınıflandırma Modeli 45
4.1.1. Koşul faktörleri ve haritaları 45
4.1.2. Çok çözünürlüklü görüntü segmentasyonu 47
4.1.2.1. Rassal ağaçlar denetimli makine öğrenmesi sınıflandırma sonuçları ve doğruluk değerlendirmesi 50
4.2. Toprak Organik Karbonu Mekânsal Dağılımının Çok Katmanlı Algılayıcı Yapay Sinir Ağı (MLP) İle Modellenmesi 59
4.2.1. Modelde kullanılan girdi verilerinin tanımlayıcı istatistikleri 59
4.2.2. Çok katmanlı algılayıcı yapay sinir ağı (MLP) mimarisi 61
4.2.3. Toprak organik karbon içeriği mekânsal tahmini 63
4.2.4. Enterpolasyon yöntemlerinin doğruluğunun değerlendirilmesi 65
4.3. Sürdürülebilir Tarımsal Arazi Uygunluk Değerlendirme Sistemi 69
4.3.1. Tanımlayıcı istatistikler 69
4.3.2. Tematik toprak haritaları 70
4.3.3. Arazi uygunluk değerlendirmesi 71
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER 81
KAYNAKLAR 85
ÖZGEÇMİŞ 104

ÖZET

Doktora Tezi

ARAZİ KULLANIM/ARAZİ ÖRTÜSÜ DEĞİŞİKLİĞİNİN MODELLENMESİ VE TOPRAK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ: ADIYAMAN, BESNİ İLÇESİ ÖRNEĞİ

Miraç KILIÇ

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Recep GÜNDOĞAN
Yıl: 2023, Sayfa: 105

Bu çalışmada, arazi kabiliyeti ile arazi kullanımı arasındaki ilişkilerin anlaşılmasında üçlü bir yaklaşım amaçlanmıştır. Bunlar: I) Arazi kullanım sonuçlarının ortaya konması, II) Arazinin fonksiyonlarını yerine getirebilme niteliğini değerlendirmesi ve III) Arazinin potansiyel arazi kullanım türlerine uygunluğunun tahmin edilmesidir. Bir arazi bozulma süreci olarak oyuntu erozyonu (GE), çevresel değişkenlerin peyzaj üzerindeki etkilerini yansıtan, uzun dönem boyunca var olan arazi bozulmasının göstergelerinden biridir. Tez çalışmasının ilk aşamasında, Adıyaman Besni ilçesinde birçok faktör modele dahil edilerek Coğrafi Nesne Tabanlı Görüntü Analizi (GEOBIA) ve Rassal Ağaçlar (RF) denetimli makine öğrenimini kullanarak oyuntu erozyonundan etkilenen alanlar belirlenmiştir. Doğruluk değerlendirmesi; kesinlik, geri çağırma, F1-Skor değerleri ve Kappa indeksi ile belirlenmiştir. Bu değerler sırasıyla 0.90, 0.95, 0.92 ve 0.88 olarak bulunmuştur. Arazinin fonksiyonlarını yerine getirebilme niteliğininin değerlendirmesi amacıyla toprak organik karbon (TOK) mekânsal tahmin haritası üretmek için Çok Katmanlı Algılayıcı yapay sinir ağı (MLP) ve Ordinary Kriging (OK) artıklarının tahminini entegre eden hibrit (MLP-OK) yaklaşımı benimsenmiştir. TOK içeriğinin tahmin doğruluğu, MLP, MLP-OK, OK, Ters Mesafe Ağırlıklandırma (IDW) ve Empirical Bayesian Kriging (EBK) ile karşılaştırılmıştır. Diğer yöntemlere kıyasla MLP-OK, doğrulama noktaları için daha düşük tahmin hataları (ME: -0,035, MAE: 0.138 ve RMSE: 0,175) üretmiş ve TOK içeriği daha doğru tahmin edilmiştir. TOK içeriğinin tahmininde diğer yöntemlere göre yaklaşık olarak %58, %63 ve %70 oranlarında nispi iyileşmeler gözlemlenmiştir. Çalışmanın son aşamasında, buğday ve çok yıllık bahçe bitkileri için tarımsal sürdürülebilir arazi kullanım uygunluğunu değerlendirilmiştir. Çalışmanın yürütüldüğü Besni ilçesinden toplam 132 toprak örneği alınmış ve kil, kum, silt, toprak organik maddesi, tuzluluk, pH, kireç, katyon değişim kapasitesi, tarla kapasitesi ve solma noktası belirlenmiştir. Uzun dönem iklim özelliklerine bağlı olarak büyüme mevsimi periyodu değerlendirilmiş ve RUSLE modeli ile yıllık toprak kaybı hesaplanmıştır. Mamdani bulanık çıkarım sistemi kullanılarak bulanık sürekli sınıflandırma yapılmıştır. Buğday için sürdürülebilir arazi kullanım türleri; bulanık toprak katmanı için, orta derecede uygun (S2, %0.87), marjinal olarak uygun (S3, %72.2) ve şu anda uygun olmayan arazi birimleri (N1, %26.9) olarak bulunmuştur. Bulanık erozyon katmanı ve bulanık iklim katmanı ile beraber değerlendirildiğinde S1, S2, S3, N1 ve N2 sürdürülebilirlik kategorileri alanın %1.36, %3.8, %47.6, %18.6 ve %28.6'sını kapladığı belirlenmiştir. Çok yıllık bahçe bitkileri bulanık toprak katmanı sonuçlarına göre alanın %38.1'i S1, %57.8'i S2 ve %4.02'ü S3'dür. Ancak her üç bulanık katman birlikte değerlendirildiğinde, S1, S2, S3 ve N1 sınıflarının dağılımları sırasıyla %2.72, %5.94, %48.86 ve %42.48 olmuştur. En dikkat çekici sonuçlar: (i) sadece toprak özellikleri dikkate alınarak yapılan arazi değerlendirmesi, sürdürülebilirliği yeterince dikkate almamaktadır; (ii) yanlış arazi kullanımı sonucu meydana gelen toprak erozyonu sürdürülebilir tarımsal üretimi tehdit etmektedir; (iii) hibrit mekânsal model ile TOK içeriği başarılı bir şekilde tahmin edilmiştir; (iv) marjinal tarım arazileri, çalışma alanında oldukça büyük yer kaplamaktadır. Sonuç olarak, çalışma Besni'de var olan en yaygın olan arazi kullanım türleri için bir arazi bozulma hassasiyetine sahip sürdürülebilir arazi kullanım değerlendirme çerçevesi oluşturmuştur. Sonuçlar, toprak kalitesi azalmasını tersine çevirmek için potansiyel çözümler sunarken, tarımsal arazi bozulma sürecine de ışık tutmuştur.

ANAHTAR KELİMELER: Sürdürülebilir arazi kullanım türleri değerlendirmesi, Mekânsal tahmin modellemesi, Oyuntu erozyonu duyarlılığı, Toprak karbonu

ABSTRACT

PhD. Thesis

MODELING OF LAND USE/LAND COVER CHANGE AND EFFECTS ON SOIL PROPERTIES: A CASE STUDY OF ADIYAMAN, BESNİ

Miraç KILIÇ

Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Soil Science and Plant Nutrition

Supervisor: Prof. Dr. Recep GÜNDOĞAN
Year: 2023, Page: 105

In this study, a tripartite approach has been aimed in understanding the relationships between land capability and land use. These are: I.) Revealing the results of land use, II.) Evaluating the ability of the land to fulfill its functions, and III.) Estimating the suitability of the land for potential land use types. As a land degradation process, gully erosion (GE) is one of the indicators of long-term land degradation that reflects the effects of environmental variables on the landscape. In the first stage of the thesis, many factors have been included in the model in Adıyaman Besni district and the areas affected by gully erosion have been determined by using Geographic Object Based Image Analysis (GEOBIA) and Random Forest (RF) supervised machine learning. Accuracy assessment; Precision has been determined by Recall, F1-Score and Kappa index. These values have been found to be 0.90, 0.95, 0.92, and 0.88, respectively. A hybrid (MLP-OK) approach, integrating the prediction of multi-layer perceptron artificial neural network (MLP) and ordinary kriging (OK) residues, has been adopted to produce a soil organic carbon (SOC) spatial prediction map in order to evaluate the ability of the land to fulfill its functions. The prediction accuracy of SOC content has been compared with MLP, MLP-OK, OK, Inverse Distance Weighting (IDW), and Empirical Bayesian Kriging (EBK). Compared to other methods, MLP-OK produced lower prediction errors (ME: -0.035, MAE: 0.138, and RMSE: 0.175) for validation points, and the SOC content was more accurately estimated. In the estimation of SOC content, relative improvements of approximately 58%, 63%, and 70% have been observed compared to other methods. In the final stage of the study, the suitability of agricultural sustainable land use types for wheat and perennial horticultural crops has been assessed. A total of 132 soil samples have been taken from Besni district where the study has been conducted and clay, sand, silt, soil organic matter, salinity, pH, lime, cation exchange capacity, field capacity and wilting point have been determined. Depending on the long-term climatic characteristics, the length of growing season period has been evaluated, and the annual soil loss has been calculated with the RUSLE model. Fuzzy continuous classification has been made using the Mamdani Fuzzy Inference System. Sustainable land use types for wheat; For the fuzzy soil layer, land units have been found to be moderately suitable (S2, 0.87%), marginally suitable (S3, 72.2%), and currently not-suitable (N1, 26.9%). When evaluated together with the fuzzy erosion layer and the fuzzy climate layer, it has been determined that the sustainability categories S1, S2, S3, N1, and N2 covered 1.36%, 3.8%, 47.6%, 18.6%, and 28.6% of the area. According to the fuzzy soil layer results for perennial horticultural crops, 38.1% of the area is S1, 57.8% S2 and 4.02% S3. However, when all three fuzzy layers are assessed together, the distributions of S1, S2, S3 and N1 classes are 2.72%, 5.94%, 48.86% and 42.48%, respectively. The most important results are: (i) the land assessment, which only takes soil characteristics into account, does not give sufficient importance to sustainability.; (ii) soil erosion as a result of improper land use types threatens sustainable agricultural production; (iii) SOC content is successfully predicted by the hybrid spatial model; (iv) marginal agricultural lands occupy quite a large area in the study area. As a result, the study's established a land degradation sensitive sustainable land suitability assessment framework for the extensive land use types in Besni. The results highlight the agricultural land degradation process while offering potential solutions to reverse soil degradation.

KEYWORDS: Agricultural land suitability assessment, Spatial prediction modelling, Gully erosion susceptibility, Soil organic carbon

TEŞEKKÜR

Doktora eğitimine başladığımda, teşekkür bölümünü uzak bir gelecekte yazacağımı düşündüm. Şimdi sona ulaştım ve bu çalışmayı bitirmem için beni cesaretlendiren herkese minnettarlığımı ifade etme zamanı geldi. Elbette, bu araştırmanın gerçekleşmesi birçok insanın işbirliğinden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, hepinizden bahsetmeyi umuyorum ve şu anda unuttuğum kişiler, lütfen beni bağışlayın ve bu gecikmeye rağmen hepinize şükranlarımı sunduğumu düşünün.

Sadece danışman hocam değil akademik mentörüm Sayın Prof. Dr. Recep Gündoğan hocama ne kadar çok minnettar olduğumu söyleyerek başlamak istiyorum. Yıllar boyunca sürdürdüğü çok değerli bilimsel araştırmaları sayesinde elde ettiği tecrübe ve birikimin rehberliği, bu tezi başarıyla tamamlama noktasına getirdi. Çalışmalarımın ilerleyişi ile her zaman ilgilendiğiniz ve tüm değerli önerileriniz için en içten teşekkürlerimi sunarım. Araştırmanın ilk taslağıyla ilgili yorumları ve düzeltmeleri ile doğru yoldan ne kadar uzaklaştığımı fark etmemi sağlayan, bu tezin geliştirilmesinde bana rehberlik eden ve gözden geçirme sürecinde önemli katkılar sunan, tavsiyelerde bulunan ve araştırmalarım için cesaretlendiren Sayın Prof. Dr. Hikmet Günal hocama en içten teşekkürlerimi sunarım. Düzenli olarak her hafta bana zaman ayırıp yapay zekâ algoritmalarının felsefesi ve Toprak Biliminde uygulanması konusunda değerli bilgilerini benden esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Bilal Cemek hocama en içten teşekkürlerimi sunarım. Bu uzun soluklu süreçte araştırmanın her aşamasını takip eden hem tavsiyeleri hem de yorumlarıyla tezimin bugünkü haline gelmesinde önemli katkılarda bulunan ve tez izleme komitesi toplantılarında araştırmanın gelişim sürecine tavsiyeleri ile şekil veren Sayın Prof. Dr. Salih Aydemir hocama en içten teşekkürlerimi sunarım. Tez konusu önerisi sürecinden itibaren araştırmaya önemli katkılarda bulunan tez izleme toplantılarında, araştırmanın gelişim sürecine tavsiyeleri büyük katkılar sunan Sayın Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Köse hocama en içten teşekkürlerimi sunarım. Yapay zekâ, toprak bilimi ve jeoistatistiğin kesiştiği noktada değerli bilgilerini benden esirgemeyen, arazi çalışmalarımın mekânsal dağılım ve arazi kullanım türleri değerlendirme modelleri başarısını artıracak şekilde dizayn edilmesinde büyük katkılar sunan Sayın Doç. Dr. Mesut Budak hocama en içten teşekkürlerimi sunarım.

Şimdi, size duyduğum tüm minnet, sevgi ve saygıyı ifade etmek istiyorum sevgili Annem ve Babam. Hayatımın ilk dönemlerinden itibaren rehberliğiniz, emeğiniz ve çalışkanlığınız ile hayatım boyunca bana aşıladığınız sevgi ve fikirler, tezimi bitirmeme ve ilerlememe izin verdi. Kelimeler yetersiz ama bana verdiğiniz her şey için ne kadar minnet duyduğumu bilmenizi isterim. Benimle aynı şekilde büyüdüğünü gördüğüm, önünde büyük bir gelecek olan Kız Kardeşime hem bu süreçte bana yardımcı olduğu için hem de her zaman koşulsuz desteği için en derin sevgilerimi ve teşekkürlerimi sunarım.

Sonuç olarak, bu süreçte tanıştığım tüm insanlara hayatlarında ve profesyonel kariyerlerinde başarılar diliyorum.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 3.1. Çalışma alanının konumu 20
Şekil 3.2. Çalışma alanındaki büyük toprak gruplarının dağılımı 22
Şekil 3.3. Çalışma alanındaki oyuntu erozyonunu belirlemek için kullanılan girdi parametreleri....24
Şekil 3.4. Coğrafi nesne tabanlı görüntü analizi iş akış şeması 25
Şekil 3.5. TOK içeri mekânsal dağılım modeli eğitim ve test noktalarının coğrafi konumları 32
Şekil 3.6. Sunulan çalışmada kullanılan MLP modelinin yapısı. 34
Şekil 3.7. Sunulan çalışmada kullanılan bulanık mantık modelinin ana yapısı....38
Şekil 3.8. Sürdürülebilir bir tarımsal arazisi uygunluk değerlendirme sisteminin akış şeması 44
Şekil 4.1. Coğrafi nesne tabanlı görüntü analizi için sayısal yükseklik modelinden elde edilen koşul faktörleri....46
Şekil 4.2. Coğrafi nesne tabanlı görüntü analizi koşul faktörlerinden NDVI haritası 47
Şekil 4.3. Farklı seviyelerde bölütleme sonuçları 48
Şekil 4.4. Farklı segmentasyon ölçeklerinde OPI, OMI ve OFI endekslerinin değişimi....50
Şekil 4.5. RF denetimli makine öğrenme model sonuç haritasından bir kesit ve eğitim veri kümesinin alanda nokta olarak işaretlenmiş konumları....52
Şekil 4.6. Çalışma alanın bir kesitinde Sentinel 2 mavi, kırmızı, yeşil, NDVI, TWI ve eğim koşul faktörleri ve aynı coğrafi konumda RF sınıflandırma sonuçları 54
Şekil 4.7. Çalışma alanının bir bölümünde Google Earth uydu görüntüsü üzerinden RF modeli tarafından tahmin edilen TP, TN, FP ve FN örnekleri. 56
Şekil 4.8. Oyuntu erozyonundan etkilenen alanlar ve oyuntu erozyonu yoğunluğu haritası....59
Şekil 4.9. Farklı enterpolasyon yöntemleri kullanılarak elde edilen TOK içerik haritaları 65
Şekil 4.10. Test veri seti gözlem ve tahmin değerleri 66
Şekil 4.11. TOK içeriği mekansal enterpolasyon modellerinin Taylor diyagramı ile doğruluk değerlendirilmesi....69
Şekil 4.12. Araştırma alanı için büyüme mevsimi periyodunun mekânsal dağılımı ve uygunluk sınıfları 73
Şekil 4.13. Çalışma alanında RUSLE modeline göre yıllık toprak kaybı ve bulanık toprak katmanı...76
Şekil 4.14. Buğday ve çok yıllık bahçe bitkileri tarımı için bulanık toprak katman haritaları ve nihai arazi türü uygunluk sonuç haritaları……..…….....……80

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 3.1. Toprak organik karbon mekânsal dağılım modelinde ortak değişken olarak kullanılan indeksler 31
Çizelge 3.2. Sürdürülebilir arazi uygunluk değerlendirmesi için oyuntu erozyonu uygunluk sınıfları. 41
Çizelge 3.3. Buğday sürdürülebilir arazi uygunluk değerlendirme kriterleri ve uygunluk sınıfları. 42
Çizelge 3.4. Çok yıllık bahçe bitkileri için arazi özellikleri için arazi uygunluk değerlendirmesi 43
Çizelge 4.1. Çok ölçekli segmentasyon parametreleri 47
Çizelge 4.2. RF denetimli makine öğrenmesi hata metrikleri 57
Çizelge 4.3. TOK mekânsal dağılım modelinde kullanılan parametrelere ait ortak değişkenler 60
Çizelge 4.4. Girdi katmanı ile gizli katman ve gizli katman ile çıktı katmanı arasındaki ağırlık ve bias değerleri. 62
Çizelge 4.5. Eğitim alanlarında toprak organik karbon (TOK) içeriği ve artık ordinary kriging interpolasyonu için semivariogram model parametreleri 64
Çizelge 4.6. Farklı mekânsal enterpolasyon modellerinin tahmin performansı istatistikleri 68
Çizelge 4.7. Sürdürülebilir arazi kullanım türü değerlendirmesi için kullanılan toprak özellikleri 70
Çizelge 4.8. Sürdürülebilir arazi kullanım türleri uygunluğunda kullanılan arazi karakteristiklerine ilişkin mekansansal dağılım modeli optimum parametreleri 71
Çizelge 4.9. Büyüme mevsimi periyodunun uygunluk kategorilerine göre alanları ve oranları 72
Çizelge 4.10. Sürekli bulanık sınıflandırma sonucunda toprak erozyonu uygunluk sınıflarının alansal büyüklüğü ve oranları 75
Çizelge 4.11. Her iki arazi kullanım türüne ait bulanık toprak katmanı uygunluk skorları 77
Çizelge 4.12. Sürekli bulanık sınıflandırma sonuçlarının uygunluk kategorileri altında alansal ve oransal dağılımı 79

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

CRMSE	Merkezlenmiş hata kareler ortalamasının karekökü
CTI	Bileşik topoğrafik indeks
EBK	Empirical bayesian kriging
ESP-II	Optimal ölçek parametreleri tahmin algoritması
Eto	Evapotranspiration
EVI	Gelişmiş bitki örtüsü indeks
FAO	Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
GEOBIA	Coğrafi nesne tabanlı görüntü analizi
IDW	Ters mesafe ağırlıklı enterpolasyon yöntemi
MAE	Hatanın mutlak ortalaması
MAPE	Ortalama mutlak yüzde hata
MLP	Çok katmanlı algılayıcı yapay sinir ağı
MLP-OK	Çok katmanlı algılayıcı ve ordinary kriging hibrit modeli
MSE	Hata kareler ortalaması
MSI	Multispektral enstrüman
NDVI	Normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi
NIR	Yakın kızıl ötesi
OFI	Nesne uyum indeksi
OK	Ordinary kriging
OMI	Nesne eşleşme indeksi
OPI	Nesne saflık indeksi
RF	Rassal Ağaçlar denetimli makine öğrenmesi
RMSE	Hata kareler ortalamasının karekökü
RUSLE	Revize edilmiş evrensel toprak kaybı denklemi
TOK	Toprak organik karbonu
TWI	Topoğrafik ıslaklık indeksi

1. GİRİŞ

Türkiye'nin ana geliri tarım ve tarıma dayalı sanayidir. Bununla birlikte, tarım alanları toplam kara yüzeyinin sadece %17.5'ini kaplar ve geri kalan arazilerin üretkenliği, doğal olarak yüksek eğim ve engebelilik gibi arazinin topografik yapısı, yüksek kalsiyum karbonat içeriği, sodiklik, tuzluluk ve düşük organik madde gibi kimyasal; sıkışma, düşük gözeneklilik ve yüksek kum içeriği gibi fiziksel toprak özellikleri dolayısı ile sınırlıdır. Bunların yanı sıra, tarımsal üretim amacı ile uygulanan yoğun toprak işleme ve aşırı sulama yönetimi, ülkemizde erozyonunun en tehlikeli arazi bozulması süreci olmasına neden olmaktadır (Kapur ve ark., 2003).

Güneydoğu Anadolu bölgesi *bereketli hilal* olarak bilinen Mezopotamya'nın güney batı kısmını oluşturmaktadır. Bu nedenle, çok eski dönemlerden beri gerek tarımsal gerekse de farklı arazi kullanım ihtiyaçlarının karşılanması amacıyla yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Son yapılan arkeolojik çalışmaların sonuçları, bu bölgede 12 bin yıldan beri tarımsal faaliyetlerin yürütüldüğüne işaret etmektedir (Ezer, 2018). Benzer şekilde, antik dönemden modern zamanlara kadar bölge ormanları gemi ve demiryolu raylarının yapımında veya kereste ihtiyacının karşılanmasında kullanılmıştır (Köroğlu, 2013). Bununla birlikte, çok uzak olmayan dönemlerde bile bölgede önemli iklim değişiklikleri meydana gelmiştir. MÖ 3000 yıllarında çok yağışlı ve ılıman iklim koşullarına sahip olan bölgede, MÖ 2300 yıl önce 300 yıl süren çok büyük bir kuraklık yaşamıştır (Benek, 2013; Höflmayer, 2017). Benzer şekilde, 16. ve 17. yüzyıllarda "küçük buzul çağı" olarak da adlandırılan soğuk ve kurak bir dönemden sonra 18. ve 19. yüzyıllarda nispeten yağışlı geçen bir dönem yaşanmıştır. Bölge, 20. yüzyılın başından itibaren artan bir kuraklık ile karşı karşıya kalmıştır (Engiz, 2022; Gönençgil ve Vural, 2016).

Küresel iklim değişikliği ile beraber antropojenik faaliyetler arazi kullanımında köklü değişikliklere neden olmaktadır. Nüfus artışı, ekonomik zorluklar, göçler bu antropojenik faaliyetlerin en önemli olanlarıdır. Bunun sonucunda toprakların verimliliği; su ve rüzgar erozyonu, besin maddelerince fakirleşme, asitleşme, drenaj bozukluğu, tuzlulaşma ve alkalileşme gibi nedenlerle azalmakta ve gerekli tedbirler

zamanında alınmaz ise bu araziler bazı durumlarda tamamen kullanılmaz hale gelmektedir (Yaqoob ve ark., 2022). Arazinin kendisinden beklenen fonksiyonları yeterince yerine getiremez hale gelmesi, arazi bozunumu olarak tanımlanmaktadır. Arazi bozulması sonucunda arazi kabiliyeti ile arazi kullanımı arasında uyumsuzluklar ortaya çıkmaktadır. Bu uyumsuzluk, arazi kullanım türüne uygun olmayan tarımsal üretimin bir sonucu olarak da ortaya çıkmakta ve yalnızca arazi bozulmasına yol açmayıp aynı zamanda ekonomik ve sosyal bir takım sorunlara da sebep olmaktadır (Albaladejo ve ark., 2021). Bu nedenle, arazi kullanımının toprağın fonksiyonlarına olan etkilerinin değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu durum, arazi değerlendirmeleri çalışmalarının Türkiye'nin arazi verimliliği ve gıda güvenliğinde önemli bir yere sahip olan Güneydoğu Anadolu'un bitkisel üretimi için arazinin yerel potansiyellerine ve sınırlamalarına dikkat çekmesi bakımından da oldukça önem arz etmektedir.

Farklı toprak, topoğrafya, arazi kullanımına sahip olan ve kireçli toprak koşullarının yanı sıra kurak ve yarı kurak iklim ile karakterize edilen Besni ilçesi, Güneydoğu Anadolu bölgesinde, tarımsal üretim dinamiklerinin anlaşılması bakımından karakteristik bir alandır. Besni ilçesi, Güneydoğu bölgesindeki kuru ve sulu koşullarda birçok tarla bitkisinin yanı sıra çoğu çok yıllık kültür bitkilerinin de yetiştirildiği ve farklı tarım sistemlerinin uygulandığı arazi kullanım türlerinden oluşmaktadır. Bu çalışmada, arazi kabiliyeti ile arazi kullanımı arasındaki ilişkilerin anlaşılmasında üçlü bir yaklaşım amaçlanmıştır: I) Arazi kullanımı sonuçlarının ortaya konması, II) Arazinin fonksiyonlarını yerine getirebilme niteliğini değerlendirmesi ve III) Arazinin potansiyel arazi kullanım türlerine uygunluğunun tahmin edilmesidir.

Arazi bozunumunun tipik göstergelerinden biri olan oyuntu erozyonu, çalışma sahasında en önemli erozyon kaynaklı arazi bozulmasıdır ve tarım arazilerinin üretkenliklerini tehdit etmektedir. Araştırma alanı eski bir yerleşim yeri olmasından dolayı sürekli ekilebilir arazi kaybına yol açan oyuntu erozyonundan oldukça etkilenmiştir.

Toprak kökenli ekosistem hizmetleri, insanların topraktan elde ettiği faydalar olarak tanımlanabilir (Dominati ve ark., 2010) bunlar hem ekonomik bir değere sahiptir hem de doğa koruma için önemlidir. Toprak organik karbon (TOK) stoğu;

toprak sağlığı, gübreleme uygulamaları, kaliteli ve sürdürülebilir tarımsal üretim ile doğrudan ilişkili olan önemli bir parametredir (Jónsson ve Davíðsdóttir, 2016). TOK stoğu, besin döngüsünü destekleyerek tarımsal üretim ve kaliteli su temini gibi toprak kökenli ekosistem hizmetlerini desteklemektedir (Rawlins ve ark., 2015). TOK stoğu artışı; toprak erozyonunun azalmasına, toprak mikroorganizmaları için gerekli olan enerjinin sağlanmasına, toprağın besin depolama işlevlerinin gelişmesine, kirleticilerin filtrelenmesi ve geri dönüşümünün sağlanmasına ve karbondioksitin toprakta çeşitli karbon bileşikleri şeklinde depolanmasını sağlayarak atmosferdeki miktarın azaltılmasına katkı yaparak potansiyel olarak toprak, hava ve suyun sağlığının iyileştirmesini sağlamaktadır. Dolayısıyla, Dünya'nın en önemli doğal kaynaklarından biri olan TOK stoğu, kritik öneme sahip toprak kaynaklı ekosistem hizmetleri bileşiminin merkezinde yer almaktadır (Adhikari ve Hartemink, 2016; Lal, 2004) Sürdürülebilir makul bir TOK dengesi oluşturulması, Aralık 2015'te Paris'teki COP21 İklim Zirvesi'nde önerilen -Gıda Güvenliği ve İklim için Topraklar (4p1000)- gibi programların odağında yer almaktadır. Bu nedenle, TOK stoklarındaki düşüşler, arazi ve toprak bozulma göstergelerinden birisi olarak kabul edilmektedir. Ayrıca, TOK stoğu, Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri (SDG) çerçevesinde arazi ve toprak bozulmasına ilişkin bir gösterge olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle, araştırmamız kapsamında, toprağın fonksiyonlarını yerine getirebilme derecesini değerlendirmek için TOK içeriği bir indikatör olarak değerlendirilmiştir (Lal ve ark., 2021).

Tarım arazilerinin verimlilik düzeylerinin değerlendirilmesinde, temel yaklaşımlardan birisi olan tarımsal arazi kullanım türü uygunluğunun değerlendirilmesi; doğal kaynakların korunması, yönetilmesi ve sürdürülebilir bir tarımsal üretim sistemi oluşturulmasında önemli bir rol oynamaktadır (Singha ve Swain, 2016). Belirli bir tarım ürünü için arazi uygunluk değerlendirmesinin yapılması, karmaşık bir süreçtir. Çünkü arazi uygunluk değerlendirmesi, arazi yüzey şekli, toprak özellikleri, iklim ve agro-ekolojik faktörler gibi çeşitli faktörlerin varlığı ve şiddetine göre değişebilmektedir (Møller ve ark., 2021). Ayrıca, yerel ölçekte arazi uygunluğu, çevresel faktörler ve toprak özelliklerindeki farklılıklar nedeniyle lokal bir alanın her bir bölümünde de değişebilmektedir. Bu nedenle, yerel potansiyellere ve sınırlamalara dayalı olarak arazi verimliliğini artırmak için arazi birimlerini değerlendirmek, sınıflandırmak ve yönetmek gerekir (FAO, 1990). Bu amaçla, çalışma

alanında bitkisel üretim yapılan alanlarda, yetişme ortamı uygunluğunu tahmin etmek amacıyla hiyerarşik bulanık mantık yaklaşımı ile sürdürülebilir tarımsal üretim arazi uygunluğu modelinden yararlanılmıştır.

Araştırmada, her üç yaklaşımın sonuçlarının ortaya konulması ve değerlendirilmesinde geleneksel toprak etüd ve haritalama teknikleri kapsamında yapılan arazi çalışmaları ve laboratuvar analiz yöntemlerinin yanı sıra sayısal toprak haritalamanın güncel yaklaşımları benimsenmiş ve coğrafi bilgi sistemleri, uzaktan algılama teknikleri ve yapay zekâ modelleri kullanılmıştır. Her bir yaklaşım ile ilgili olarak teorik arka plan, kapsam ve yöntemler alt bölümler halinde daha detaylı olarak açıklanmıştır.

Bu çerçevede; çalışma sonunda aşağıdaki hedeflere ulaşılmıştır.

a) Arazi bozulma derecesinin ortaya konulmasında oyuntu erozyonundan etkilenmiş alanlar ve oyuntu riskli taşıyan alanlar belirlenmiştir. Bunun yanı sıra, yıllık toprak kaybı Revize Edilmiş Evrensel Toprak Kaybı Denklemi (RUSLE) ile ortaya konulmuştur. Tez Çalışmasında, arazi bozulmasının önemli bir göstergesi olan toprak erozyonu çok boyutlu olarak değerlendirilmiştir.
b) Arazinin fonksiyonlarının yerine getirebilme kapasitesinin önemli bir göstergesi olan TOK içeriği; hibrit mekânsal dağılım model yaklaşımı ile yüksek doğrulukta ve hassas çözünürlükte tahmin edilmiştir.
c) Arazi karakteristikleri ve arazi kullanım türleri arasındaki uyum derecesi dikkate alınarak; sürdürülebilir tarımsal arazi kullanım türlerinin uygunluğu bulanık mantık yaklaşımı ve coğrafi bilgi sistemleri entegrasyonuyla değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada; politika yapıcıların, karar vericilerin ve tarımsal üretimle ilgilenenlerin geleceğe dair sağlıklı projeksiyon oluşturması adına tarımsal üretimin artırılması için tarımsal üretim yapılan arazilerin yetişme ortamı imkanları doğrultusunda artırılması ve diğer arazi örtüsü veya kullanımı arasında optimum dengeyi kurmasına katkı sağlanılması hedeflenmektedir. Sonuç olarak, bu tezde bir

taraftan toprak koruma göz önünde bulundururken diğer taraftan sürdürülebilir kullanım senaryoları belirlenmiştir. Koruma-kullanma dengesi göz önünde bulundurularak, Adıyaman ili Besni ilçesinin mevcut arazi kullanım durumu değerlendirilmiş ve optimum kapasitesini ortaya koymak adına bir platform oluşturulmuştur.

1.1. Oyuntu Erozyonundan Etkilenmiş Alanların Belirlenmesi ve Haritalanması için Bütünleşik Bir Çerçeve

Karasal ekosistemlerde bulunan arazilerin neredeyse yarısı, farklı faktörlerin etkileriyle bozulma süreciyle karşı karşıyadır. Ancak, arazi bozulma süreci, tropikal, ılıman, kurak ve yarı kurak iklim koşullarında farklı işlemektedir. Örneğin, su etkisiyle gerçekleşen toprak erozyonu, dünyanın tropik ve subtropik bölgelerindeki arazilerin bozulmasında son derece önemlidir. Bunun yanı sıra, kurak ve yarı kurak bölgelerde ise özellikle doğal bitki örtüsünün tahrip edildiği alanlarda rüzgar etkisi ile gerçekleşen erozyon arazi bozulmasının en önemli nedenlerindendir (Mahala, 2020).

Yüzeysel akışla üst toprağın drenaj kanalları boyunca taşınması olarak tanımlanan oyuntu erozyonu; hem küresel hem de yerel ölçekte tarımsal üretkenliği ve ekolojik çevreyi tehdit eden, arazi bozulmasının önemli nedenlerinden birisidir (Arneth ve ark., 2019; Poesen ve ark., 2003; Zhu ve ark., 2009). Oyuntu erozyonu, Torri ve Borselli (2003), tarafından kısa bir sürede arazi bozulmasına sebep olan bir faktör olarak belirtilmektedir. Buna rağmen, arazi bozunumunu araştıran çalışmalarda oyuntu erozyonunun fiziksel belirtileri ve besin maddesi kaybı açısından değerlendirilmesine genellikle ön yargılı yaklaşılmıştır. Özellikle, çiftçiler arazi bozulma süreci ile ilgili yeterli farkındalığa sahip olamamıştır (Anderson ve ark., 2021; Reed ve Kite, 2020).

Yağışların üst toprağı aşındırmasıyla erozyon sürecini başlatması ve nihayetinde oyuntu erozyonu aşaması çeşitli şartlara bağlı olarak kısa ve orta vadede gerçekleşebilirken; neredeyse yüzyıl ölçekli zaman dilimindeki bir süreci de kapsayabilmektedir. Dolayısıyla, verimli üst toprağın kaybı yavaş bir şekilde gerçekleşebilir. Ancak, sadece zamansal değişime odaklanmak yerine, erozyon

kaynaklı arazi bozulma sürecine etki eden itici faktörlerle birlikte olası iyileşme yolları da değerlendirilmelidir. Arazi bozulmasının önlenmesi ve arazinin iyileştirilmesinde, mekânsal olarak erozyon sürecinin takip edilmesi önemlidir (Coppus ve Imeson 2002; Morgan, 2009).

Ortalama olarak toprak oluşum hızı <5 mm/yüzyıl gibi oldukça yavaş bir seyirde gerçekleştiği için ölçülmesi zordur (Delgado ve Gómez, 2016). Ancak, araştırmalar, geleneksel olarak sürülen tarım arazilerinde görülen erozyon oranının, toprak oluşum hızından büyük olduğunu göstermektedir (Montgomery, 2012). Çalışma alanında iklim değişimi ve/veya antropojenik sebeplere bağlı olarak gerçekleşen oyuntu erozyonunun mekânsal olarak ortaya konulması bu yönden önem arz etmektedir.

Oyuntular, çeşitli şekilleri ve boyutları olan bir arazi yüzey şekli olduğu için üç boyutlu erozyon formu olarak değerlendirilmektedir. Oyuntuların uzunlukları birkaç metreden yüzlerce metreye; genişlikleri ve derinlikleri onlarca metreye kadar değişebilmektedir (Poesen ve ark., 2003). Çok geniş ve uzun olan oyuntular, uzaktan algılama verileri kullanılarak belirlenebilmektedir. Fakat, sadece optik uzaktan algılama görüntüleri kullanılarak oyuntu erozyonu doğrudan tespit edilemeyebilir. Sadece spektral olarak genellikle kestikleri yüzeylerden ayırt edilmeyebilirler ve çıplak toprağın spektral özellikleri, oyuntu içinde de aynı olabilir veya bitki örtüsü hem bir oyuğun içinde hem de çevresinde gelişebilir (d'Oleire-Oltmanns ve ark., 2013; Giménez ve ark., 2009). Oyunu erozyonunun bu özelliklerinden dolayı sadece spektral veriler kullanılarak piksel tabanlı sınıflandırma yaklaşımları yetersiz kalmaktadır. Bir yer şekli olarak nitelendirildiğinde, oyuntuların derinlik boyutu da göz önünde bulundurulmalıdır. Bu noktada, sayısal yükseklik modelleri önem kazanmaktadır. Bu yüzden, optik uydu görüntüleri, Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI), sayısal yükseklik modeli ve arazi yüzey şeklini tanımlayıcı birçok veriyi kullanabilen GEOBIA (Coğrafi obje tabanlı görüntü analizi) iyi bir alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca, sınıflandırma yaklaşımında insan faktöründen kaynaklı hataları azaltmak ve büyük boyuttaki verileri hızlı ve güvenilir bir şekilde analiz etmek için çeşitli makine öğrenme algoritmalarının GEOBIA ile entegrasyonuyla büyük alanlarda oyuntu erozyonları başarılı bir şekilde belirlenebilmektedir (d'Oleire-Oltmanns ve ark., 2014).

1.2. Sayısal Toprak Haritalama Prensipleriyle Hibrit Model Yaklaşımı Kullanılarak Toprak Organik Karbon İçeriğinin Mekânsal Modellenmesi

Mekânsal toprak bilgisi; yerel, bölgesel ve ulusal ölçekten küresel düzeye kadar değişen boyutlarda gıda ve toprak güvenliği, arazi bozulması ve benzeri bir çok problemle başa çıkmada kilit öneme sahiptir (Agyeman ve ark., 2021; Dharumarajan ve ark., 2019). Bu sorunlarla mücadele etmek için oluşturulan politikalar, mekânsal toprak bilgisinin ayrılmaz bir parçası olan modellemelerden ve olası senaryolardan faydalanmaktadır (Yang ve ark., 2011). Mevcut eski toprak haritalarının çoğu, toprakla çevre ilişkisini yeterince yansıtmamakla beraber, bileşik haritalama birimlerini içeren yetersiz uzamsal ayrıntıya sahiptir (McBratney ve ark., 2003). Dolayısıyla, toprak kaynaklarının belirli bir arazi peyzajında yönetimi ve çevresel modellenmesi için detaylı ve güvenilir toprak haritalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bilgilerin ışığında, farklı ölçeklerde üretilmiş ve ilgililere hizmet edecek toprak haritaları; günümüzde artık hayati önem taşımaktadır (Arrouays ve ark., 2014).

Günümüzde tahmine dayalı toprak haritalama ve modelleme çalışmaları, genel kabul görmüş toprak oluşum faktörlerine dayanmaktadır. Dokuchaev tarafından ortaya konulan ampirik deterministik toprak oluşum modeli, Jenny tarafından iklim, organizma, rölyef, ana materyal ve zaman (CLOPRT) şeklinde formüle edilmiştir (Glinka, 1927; Jenny, 1994). Zamanla bilgisayar teknolojilerinin gelişmesiyle toprak oluşum faktörlerinin sayısal toprak haritalamada kullanımı giderek artmıştır. McBratney ve ark. (2003), Jenny denklemini modifiye etmiş ve SCORPAN olarak da bilinen yeni toprak oluşum faktörleri denklemini gelişmiştir. Böylelikle örneklenmeyen noktalardaki toprak özelliklerinin mekânsal olarak tahmin edilmesi ve toprak özelliklerini modellemek için sahaya özgü toprak verileri ile mevcut çevresel değişkenler arasındaki bağlantının ortaya konulmasında başarı giderek artmıştır. Gelinen noktada, toprak ekosisteminin kompleks yapısının her geçen gün daha iyi anlaşılması modelleme çalışmalarına ivme kazandırmaktadır (Richter ve ark., 2011; Thompson ve ark., 2012).

Makine öğrenmesi (ML) algolaritmaları, uzamsal değişkenler ve ilgilenilen özelliğin ölçülen değerleri kullanılarak toprak özelliklerinin haritalanmasında oldukça

kullanışlı araçlardır. Sayısal toprak haritalamada; jeoistatistik yöntemlerin yanı sıra makine öğrenmesi de dâhil olmak üzere çok çeşitli modeller, toprak sınıflandırılması ve özelliklerinin haritalanması için kullanılmaktadır (Behrens ve ark., 2018; Žížala ve ark., 2022). Bunların en popüler örnekleri: regresyon problemlerine çözüm sunan ve ağaç tabanlı Classification Regression Tree (CART), Rassal Ağaçlar (Random forest) ve gradyan azaltma prensibiyle optimizasyonu amaçlayan Boosted Regression Tree; güçlendirilmiş regresyon örneklerinden olan Destek Vektör Makineleri gibi istatistiksel makine öğrenmesi algoritmalarıdır (Dharumarajan ve ark., 2021; Ebrahimzadeh ve ark., 2021; Heuvelink ve ark., 2021). İkinci yaklaşım: Kriging gibi deterministik eğilimi hesaba katmadan saha gözlemlerinin mekânsal yapısını modelleyen coğrafik mekânsal modellerdir (Kumar ve ark., 2012; Yuan ve ark., 2020). Üçüncü yaklaşım; stokastik ve deterministik yaklaşımı birlikte değerlendirerek, mekânsal varyasyon ve istatistiksel modelleri kullanan hibrit modellerdir. Bu modeller hibrit yapılarından dolayı daha iyi performans göstermektedir (Matinfar ve ark., 2021). Ancak, bu yöntemlerin bazı dezavantajları bulunmaktadır. Örneğin; kriging ve çoklu regresyon modelleri doğrusaldır (Gautam ve ark., 2011). Doğrusal model yaklaşımlarından farklı olarak yapay sinir ağları: doğrusal olmayan kalıpları tahmin etmek için güçlü sonuçlar üretir, eğitim süreci boyunca, tahmin ve gözlem farklarını azaltmak için çıktı verileri ile girdi verilerini karşılaştırır ve daha sonra algoritma ağ denkleminde ağırlıkları tekrar hesaplar ve girdi katmanına geri döner (Odebiri ve ark., Mutanga, 2021). Veri odaklı bir yaklaşım olan yapay sinir ağlarının başarısı veri kalitesine ve modelin mimarisine büyük ölçüde bağlıdır. Bu yapısı, tahmin edilecek toprak özelliğini etkileyen çevresel faktörleri bütünsel olarak ele almasını sağlamaktadır (Khaledian ve Miller, 2020; Schmidhuber, 2015). Dolayısıyla, çalışmanın paradigması; yapay sinir ağları artıkların krikingini modele entegre etmek suretiyle uzamsal otokorelasyonu da göz önünde bulundurup daha iyi mekânsal tahmine olanak sağlamaktır.

Toprağın hem organik hem de inorganik karbon formunu depolama potansiyeli iklim değişikliği ve küresel ısınma ile mücadelede oldukça önemlidir (Dharumarajan ve ark., 2021). Küresel ölçekte, atmosferik sera gazlarının seviyesini azaltmadaki bu rolünün yanı sıra yerel ölçekte, toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri üzerine olumlu etkisi, TOK stoğunu önemli toprak ekosistem hizmetlerinden biri

haline getirmektedir (Milne ve ark., 2007). Toprak karbonunu ve kaynağı toprak canlılarını sürdürülebilir bir şekilde yönetmek, toprağın işlevselliğini ve ekosistem hizmet sunum yeteneğini geliştirmek için kilit bir mekanizmadır (Hutchinson ve ark., 2007). Dolayısıyla toprak organik karbonu (TOK), toprak ekosistem hizmetlerinin fonksiyonunu değerlendirmek için öncelikli ve önemli bir toprak özelliğidir. Bu nedenlerden dolayı, sayısal toprak haritalamada kullanılan güncel yöntemlerle, TOK içeriğini en doğru şekilde belirlemek çalışmanın başlıca motivasyonlardan birisini oluşturmaktadır.

Toprak organik karbonu, ölçülmesi oldukça kolay olmasına rağmen, mesafeye bağlı olarak oldukça değişkendir. Bir tarım arazisinden daha büyük alanlardaki TOK konsantrasyonunu değerlendirmek bu nedenle oldukça zor olabilir. TOK içeriğinin mekânsal varyasyonu pedojenik faktörler, bitki örtüsü ve topoğrafya ile oldukça ilişkilidir (Baldock ve Nelson, 2000). İklim parametrelerinden, öncelikli olarak sıcaklık ve nem, TOK içeriği ve mineralizasyon hızı üzerinde doğrudan etkilidir. Sıcaklık, bitki artıklarının parçalanma hızını kontrol eden önemli bir faktördür. Örneğin, yıllık ortalama hava sıcaklığındaki her 8-9 °C'lik artış reaksiyon hızını neredeyse iki katına çıkarmaktır (Bot ve Benites, 2005). TOK konsantrasyonundaki değişiklikler, bitki örtüsündeki değişikliklerle de ilişkilidir. Örneğin, otsu bitki örtüsü, toprak üstü bileşene kıyasla büyük bir kök kütlesi üretirken, ormanlarda organik maddenin çoğu yer üstünde üretilir ve kalıntılar ayrışmaya karşı daha dirençlidir (Melillo ve ark., 1993). Topografik değişkenler arasında denizden olan yüksekliğin, TOK ile ilişkisi dolaylıdır ve toprak tekstürü, mineralojisi ve sıcaklıktaki varyasyon ile ilişkilidir (Powers ve Schlesinger, 2002). Oluşumu ve değişimi oldukça değişkenlik gösteren TOK içeriğinin zamansal ve mekânsal olarak doğru değerlendirilmesinde yukarıda sayılan sebeplerin etkisinin olmasının yanı sıra modelleme çalışmalarında kullanılacak parametrelerin de seçimi oldukça önemlidir. Çünkü, TOK depolanmasına etki eden değişkenler arası ilişki doğrusal değildir ve üstelik hiyerarşik bir yapıdadır (Grunwald ve ark., 2014). Dolayısıyla, büyük alanlarda TOK mekânsal modelini doğru bir şekilde belirleme yeteneği ortak değişkenlerin durumuyla yakından ilişkilidir.

Çalışmanın bu bölümünü motive eden temel unsurlara önceki paragraflarda değinilmiştir. Bu olgulardan yola çıkarak bu bölümün hedefleri: (I) Yerel ölçekte, arazi bozulması, toprak ve gıda güvenliği gibi temel çevresel sorunlara karşı etkili politikalar geliştirmek için mekânsal çözünürlüğü yüksek bir TOK içeriği haritası üretmek (II) Tahmin doğruluğundan ödün vermeden, TOK'u etkileyen faktörlerin hiyerarşik yapısını da dikkate alarak en etkili ortak değişkenleri modele dahil etmek; (III) Çalışma alanı koşullarında, Ters Mesafe Ağırlıklandırma yöntemi (IDW), Ordinary Kriging (OK), Empirical Bayesian Kriging (EBK), Çok Katmanlı Algılayıcı yapay sinir ağı (MLP-ANN) ve MLP-OK Hybrid modellerinin mekânsal TOK tahmin etme başarısını karşılaştırmak, ve (IV) Benzer koşullarda TOK içeriğini tahmin etmek için matematiksel MLP-ANN modeli geliştirmektir.

1.3. Sürdürülebilir Arazi Kullanım Türünün Bulanık Mantık Yaklaşımı ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Entegrasyonuyla Belirlenmesi

Arazi değerlendirmesi, FAO tarafından kullanıldığı amaca göre arazi performansının değerlendirilmesi süreci olarak tanımlamıştır (George, 2005). Sürdürülebilir tarımsal arazi kullanım türü değerlendirmesinde bu temel yaklaşım, arazinin özelliklerine göre potansiyel kullanımını tahmin etmek için faydalı olmaktadır (Rossiter, 1996). Arazi değerlendirmesi: toprak etüdü yorumu ve arazi sınıflandırmasından geliştirilmiştir. Toprak etüdü yorumları, toprak kullanımı için tavsiyeden ziyade verim performansına ait tahminlerdir (Beek, 1980). Bu bağlamda, bu çalışmada ortaya konulan sürdürülebilir tarımsal arazi kullanımı türü değerlendirmesi yaklaşımı, sadece toprak özelliklerini dikkate almayıp; aynı zamanda iklim, erozyon riski ve topoğrafya gibi sürdürülebilir kullanım üzerine etkili olan başka faktörleri de hesaba katmaktadır.

Sürdürülebilir tarımsal arazi kullanım türü uygunluk değerlendirmesinin çekirdeğinde, arazi kullanım türlerinin gereksinimlerinin mevcut arazi kaynaklarının özellikleriyle karşılaştırılması yer almaktadır. Bu yaklaşım; toprak, bitki örtüsü, iklim ve yer şekillerine ilişkin etüt ve çalışmaların yorumlanmasını içermektedir. Bu nedenle, değerlendirme sürecinin temeli, farklı türdeki arazi kullanımlarının farklı gereksinimleri olduğu gerçeğine dayanmaktadır (Dent ve Young, 1981). Arazi

değerlendirmesi, planlamacılara ve karar vericilere hangi tarımsal ürünün nerede yetiştirileceğine karar vermelerinde yardımcı olabilecek bilgi ve öneriler sunmaktadır. Özetle, arazi değerlendirme araştırmasının asıl çıktısı, farklı arazi türlerinin belirli arazi kullanımları için uygunluğunu gösteren ve çoğunlukla haritalara eşlik eden raporlarla tanımlanan bir çeşit arazi sınıflandırmasıdır (FAO, 1981).

Arazi değerlendirmesi, arazi kabiliyeti veya arazi uygunluk değerlendirmesi amacıyla yapılabilmektedir. Bu kavramlar benzer gibi görünseler de farklıdırlar. Arazi kabiliyeti, arazinin tarımsal potansiyelini genel bir şekilde tanımlar. Uygunluk değerlendirmesi için yapıldığında; toprak ekosisteminin farklı tarımsal üretim sistemlerinde kültür bitkilerinin, meraların ve ormanların uzun süre bozulmadan, sürdürülebilir üretme yeteneklerini sağlama amacıyla yapılmaktadır (Boonme, 2005). Bu nedenle, tarım arazileri kullanım planlaması için etkili yöntemlerden biri olarak kabul edilmektedir.

Genel olarak, iki tür arazi uygunluk değerlendirme yaklaşımı vardır. Bunlardan ilki olan nitel yaklaşım, arazi uygunluğunu geniş bir ölçekte değerlendirmek için kullanılır; göreceli uygunluk, maliyet ve getirilerin kesin hesaplanması olmaksızın yalnızca niteliksel terimlerle ifade edilir (Baja ve ark., 2002). Niteliksel yaklaşım, temel olarak arazinin fiziksel üretkenlik potansiyeline dayanır ve ekonomi sadece arka planda sunulur. Geniş alanların genel bir değerlendirmesini amaçlayan çalışmalarda yaygın olarak kullanılırlar. Nitel sınıflandırmanın sonuçları, çok uygun, orta derecede uygun ve uygun değil gibi niteliksel terimlerle verilir. İkinci olarak, nicel yaklaşım, farklı arazi kullanım türleriyle ilgili sınıflar arasında nesnel karşılaştırmaya izin veren daha ayrıntılı arazi niteliklerini içeren parametrik teknikleri kullanmaktadır (FAO, 1981). Son zamanlarda, çoğu çalışma, arazi uygunluk değerlendirmesi sürecinde nitel ve nicel yaklaşımları birleştirmiştir. Arazi değerlendirmesinde nitel ve nicel yaklaşımların bir arada kullanılmasına imkân sağlayan güncel yöntemlerden bir tanesi bulanık mantık modeldir (Sarmadian ve ark., 2010).

Arazi değerlendirmesi, fiziksel parametrelere (ör. toprak özellikleri, bitki örtüsü, topografya ve iklim) dayalı olarak gerçekleştirilebilir veya nüfus yoğunluğu, tarımsal ürünler için ulaşım ve pazar gibi farklı değişkenler de kullanılabilir (FAO, 1976). Fiziksel parametreler sabit kalma eğilimindeyken, sosyo-ekonomik parametreler;

çalışmanın yapıldığı bölgenin sosyal, ekonomik ve politik performanslarından etkilenir ve bu nedenle çok dinamiktir (Dent ve Young, 1993). Dolayısıyla, fiziksel arazi uygunluk değerlendirmesi, arazi kullanım planlaması ve gelişimi için daha güvenilir bir araçtır (Van Ranst ve ark., 1996; Sys, 1985); çünkü arazinin kullanımı için kısıtlamalar ve fırsatlar hakkında istikrarlı ve sağlam bilgiler sağlayabilir ve bu nedenle arazi kaynaklarının optimal kullanımı konusunda daha iyi bir rehber sunabilmektedir (FAO, 1985).

Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO), arazi değerlendirmesi için resmi bir yaklaşım geliştirmiş ve arazi değerlendirmesi için teorik bir çerçeve hazırlamıştır (Bouma, 1989; Sonneveld ve ark., 2010). Bu çerçevede belirli bir yöntem önerilmemektedir. Daha sonraki yıllarda, maksimum sınırlama ve parametrik yöntemler gibi varyasyonlar, bu çerçeveye dayalı olarak geliştirilmiştir. Parametrik yöntemde, farklı arazi uygunluk sınıfları tamamen ayrı ve ayrı gruplar olarak tanımlanmaktadır. Dolayısıyla, birbirlerinden ayırt edici ve tutarlı bir aralıkla ayrılmaktadır. Bu nedenle, orta düzeyde uygunluğa sahip arazi birimleri, önceden tanımlanmış arazi uygunluk sınıfları özelliklerinden yalnızca birini seçebilmektedir (Keshavarzi ve ark., 2010). Bulanık mantık, dilsel olarak ifade edilen, uzman görüşüne önem veren ve bir kümeye üyelik derecesi önemli olan dolayısıyla sınıflar arası ayrımın net olmadığı sürdürülebilirlik tahminlerinde ön plana çıkmaktadır (Kang ve ark., 2020; Rizzo ve ark., 2022). Zadeh ve ark. (1975) tarafından geliştirilen bulanık mantık, özellikle de uygunluk değerlendirmelerindeki belirsizlikleri modellemek için en kullanışlı metotların arasında yer almaktadır (Alimohammadlou ve Khoshsepehr, 2022; Lamastra ve ark., 2016; Li ve ark., 2020).

Çalışmanın yürütüldüğü Adıyaman'ın Besni ilçesi, Türkiye'nin Güneydoğusunda oldukça geniş bir bitkisel ürün çeşitliliğine sahiptir. İlçede uzun yıllar ortalama buğday verimi (302.9 kg/da) Türkiye ortalamasının (265.3 kg/da) üzerindedir. Bunun yanı sıra çekirdekli sofralık üzüm ortalama verimi (456 kg/da) Türkiye ortalamasının (693.3 kg/da) altındadır. Benzer olarak badem, antepfıstığı ve sofralık zeytin verimleri de Türkiye ortalamasının sırasıyla %43, %17 ve %10.8 (kg/meyve veren ağaç) altındadır (Anonim, 2022a). Bu istatistikler Besni ilçesinde başlıca iki arazi kullanım türü olan buğday ve çok yıllık bahçe bitkileri için

sürdürülebilir tarımsal uygunluk haritalarının gerekliliğini göstermektedir. Bu bağlamda, arazi uygunluk haritaları, iki ana arazi kullanım türü (AKT) için oldukça uygun olan alanları belirleyebilir, verimi artırabilir ve arazi bozulmasının önüne geçebilir. Bununla birlikte, çalışma alanında güncel, dijital ortamda bulunan ve toprak koruma-kullanım dengesini önceleyen bir sürdürülebilir arazi uygunluk veri tabanı mevcut değildir. Bu nedenle, bu çalışmanın bu bölümünün temel amacı, FAO "arazi uygunluk değerlendirme çerçevesine" dayalı olarak iki AKT uygunluğunu Mamdani bulanık çıkarım sistemi ile biyofiziksel fenomenler, Revize Edilmiş Evrensel Toprak Kaybı Denklemi (RUSLE), oyuntu erozyonu duyarlılığı ve büyüme mevsimi periyodu faktörlerini kullanarak değerlendirmektir. Bu araştırma, Besni'de arazi kullanım türleri uygunluğunu sürdürülebilirlik ilkeleri çerçevesinde değerlendirerek; özellikle marjinal uygun arazilerde arazi bozulmasını durduracak ya da geri çevrilmesini sağlayacak çözüm önerileri için karar vericiler ve politika yapıcılara kapsamlı bilgi sunmaktadır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Oyuntu erozyonu, harekete geçen toprak parçacıklarının havza dışına çıkmasına neden olan ve arazilerin parçalanmasına yol açan önemli bir bozulma olayı olduğundan gıda güvenliği ve tarımsal ekosistemler için bir tehdit oluşturmaktadır. Bu nedenle, oyuntu erozyonundan etkilenen alanların yanı sıra oyuntu erozyonuna hassas alanların belirlenmesi de kritik öneme sahiptir. Huang ve ark. (2022), sayısal yükseklik modelleri kullanarak oyuntu erozyonu üzerine etkili olan değişkenlerin yükseklik, eğim yönü, eğim derecesi, drenaj, plan ve profil eğriliği, akış güç indeksi ve topografik ıslaklık indeksi olduğunu ortaya koymuştur. Bu ortak değişkenler ile rassal ağaçlar (random forest), destek vektör makineleri ve yapay sinir ağı ile oyuntu envanteri ve hassas alanları belirlemişlerdir. Piksel tabanlı yaklaşımla gerçekleştirdikleri sınıflandırmada, optimal yöntemi piksel boyutu ile kalibre edilmiş rassal ağaçlar algoritması olarak bildirmişlerdir. Öte yandan rassal ağaçların hiper parametreleri kalibre edilmediği durumda ve düşük mekânsal çözünürlük koşullarında yapay sinir ağları ve destek vektör makinesi algoritmalarına göre düşük performans gösterdiğini rapor etmişlerdir.

Oyuntu erozyonu envanteri ve oyuntu erozyonuna hassas alanların belirlenmesinde, piksel tabanlı yaklaşımdan farklı olarak nesne tabanlı sınıflandırma yaklaşımı da benimsenmektedir. Obje tabanlı sınıflandırma, Drăguţ ve ark. (2014)'ın geliştirdiği gibi yarı otomatik çok ölçekli görüntü segmentasyon algoritmaları ve denetimli makine öğrenme modelleri ile birlikte gerçekleşebilmektedir. d'Oleire-Oltmanns ve ark. (2014), Fas'ın Taroudannt bölgesinde obje tabanlı görüntü analizi ile uydu görüntülerini ve alan örneklemesini bir arada kullanarak oyuntudan etkilenen alanları belirlemişlerdir. Döngüsel nesne tabanlı görüntü analizi ve sınıflandırma yaklaşımında %62'lik bir genel sınıflandırma doğruluğu elde etmişlerdir. Shahabi ve ark. (2019), yarı otomatik çok ölçekli görüntü segmentasyon algoritması (ESP-II) ile oyuntu objelerini vektör (poligon) veri türünde ortaya koymuşlardır. Bu poligon veri tabanı aynı zamanda koşul faktörlerinin özniteliklerini de barındırmaktadır. Ardından, yapay sinir ağları, destek vektör makineleri ve rassal ağaçlar sınıflandırma algoritmaları ile ikinci sınıflandırma aşamasını yürütmüşlerdir. Bu üç algoritma

sinerjisinden faydalanarak elde ettikleri ve istif model (stack model) olarak adlandırdıkları hibrit yaklaşımla, oyuntu ağlarının tespitinde en yüksek doğruluk (F1=0.89) elde etmişlerdir.

Öte yandan sadece oyuntu erozyonu envanteri elde etmenin ötesinde, oyuntudan etkilenen alanların koşul faktörleri öznitelikleri de önemlidir. Özellikle çalışmanın son safhasında açıklanan sürdürülebilir tarımsal arazi kullanım yaklaşımında oyuntu erozyonu faktörünü girdi verisi olarak kullanmak için bu olgu oldukça işlevseldir. Utsumi ve ark. (2020), çok ölçekli görüntü segmentasyonu aşamasından sonra veri madenciliğine dayalı öznitelik çıkartmak suretiyle kural kümesi belirlemiştir. Kural kümesinde benimsedikleri koşul faktörleri ve öznitelikler: RapidEye görüntü 3. bant ortalaması (>120), 5. bant ortalaması ve genişliği (<250 ve >75), obje uzunluk/genişlik oranı (0.5) ve eğim (>8°) şeklindedir. Kullandıkları sınıflandırma algoritmalarının % 69.78 ile % 90.24 arasında başarılı olduğu bildirilmiştir. Bu çalışmada, yukarıda değinilen çalışmalardaki metodolojiler birleştirilmiştir. Yarı otomatik çok ölçekli görüntü segmentasyonu, ESP-II algoritmasıyla yapılmıştır. Rassal ağaçlar denetimli makine öğrenmesi ile sınıflandırma işlemi yürütülmüştür. Öznitelik verileri, doğrulama aşamasında gerçek pozitif (true positive) veri setinden elde edilmiştir. Böylelikle sürdürülebilir tarımsal arazi değerlendirmesi için bulanık küme sınır değerleri belirlenmiş ve oyuntu envanter haritası elde edilmiştir. Araştırmanın oyuntu erozyonu safhası ile ilgili ayrıntılı bilgi metodoloji, bulgu ve sonuçlar Bölüm 3 ve Bölüm 4'de yer almaktadır.

Uygun olmayan arazi kullanım ve yönetim uygulamaları, gerek kuru tarım sistemi gerekse sulu tarım sisteminde ekili alanların, meraların ve ormanların biyolojik ve ekonomik üretkenliğinin kaybı olarak tanımlanan *arazi bozulmasına* neden olmaktadır (Eswaran ve ark., 2019; Hamdy ve Aly, 2014; Salvati, 2010). Doğal ekosistemi ve sosyal faktörleri içerisine alan kavram, hem biyofiziksel doğal ekosistemdeki hem de sosyo-ekonomik koşullardaki değişikliklerden etkilenmektedir (Assessment, 2005). Doğal ekosistem faktörü, aşırı ve kalıcı iklim olaylarının periyodik stresleri yoluyla arazi bozulmasını etkilemektedir. İnsan faaliyetleri ise ormansızlaşma, doğal bitki örtüsünün bozulması ve arazi kullanımı/örtü değişikliklerine yol açan kentsel yayılma yoluyla arazi tahribatına katkıda

bulunmaktadır. Ayrıca, bilinçsiz gübre ve pestisit kullanımı, yanlış ve yoğun tarım makineleri kullanımı, aşırı ve zamansız otlatma, uygun olmayan münavebe ve gereğinden fazla sulama suyu kullanımı gibi uygulamalar arazi bozulması sürecinin hızlanmasına yol açmaktadır (Zielinski, 2005).

Arazi kullanımı/arazi örtüsü değişikliğinin toprağın fiziksel ve kimyasal üzerindeki etkileri birçok araştırmacı tarafından incelenmiş ve uygun olmayan arazi kullanımı değişikliğinin, besin maddeleri kaybına ve topraktaki organik madde stoğunun azalmasına yol açtığı bildirilmiştir (Birang, 2009; Emadi ve ark., 2008). Ayrıca, arazi kullanım türlerindeki değişikliğin toprak hacim ağırlığı ve hidrolik iletkenlik gibi verimlilik parametreleri üzerinde olumsuz etkiler oluşturduğu konusunda çalışmalar da mevcuttur (Rai ve Sharma, 1998). Islam ve Weil (2000), orman arazilerinden tarım alanlarına dönüşümün hacim ağırlığında artışa, gözeneklilik ve agregat stabilitesinde ise azalmaya neden olduğunu bildirmiştir. Bu durum; TOK stoğundaki değişikliği, arazi kullanımı/yönetim değişikliği bağlamında değerlendirmeyi zorunlu kılmaktadır. Çünkü, hacim ağırlığı, organik karbon konsantrasyonu, toprağın iskelet (kaba parçaları oranı) kısmı ve toprak derinliğine bağlı olarak TOK stoğunu etkilemektedir (Don ve ark., 2011; Poeplau ve ark., 2017).

Geleneksel jeoistatistik yaklaşımları, Besni gibi tipik heterojen fizyocoğrafik alanlarda TOK içeriğinin mekânsal tahmininde tatmin edici sonuçlar vermemektedir. Çünkü, TOK içeriğini etkileyen faktörlerin değişkenliğinin model sürecine dâhil edilmediği durumlarda model çıktısı olan sayısal karbon haritasının yerel mekânsal varyasyonu güvenilir bir düzeye ulaşamamaktadır. Bu gibi durumlar, sadece kriging tahminlerinin güvenilirliğini azaltmaktadır (Alsamamra ve ark., 2009). Ayrıca, kriging modelinde örneklem boyutunun yanı sıra örneklem noktaları arası mesafe de tahmin başarısında etkili olmaktadır (Zhu ve Lin, 2010). Wu ve ark. (2009), toprak derinliği ve toprak nemi mekânsal modelinde ordinary kriging ve regresyon kriging performanslarını karşılaştırmıştır. Ordinary kriging sadece örneklem konumunu dikkate aldığı için mekânsal otokorelasyonun açıklanmasında yeterli olmadığını bildirmiştir. Öte yandan, toprak özellikleri ile ortak değişkenleri arasında güçlü bir ilişki olduğundan regresyon kriginig sonuçlarının daha güvenilir olduğu rapor edilmiştir. Ancak, TOK ile çevresel değişkenler arasındaki doğrusal olmayan yapıyı

regresyon kriging yeterince temsil etmemektedir. Bu noktada doğrusal olmayan ilişkileri açıklamada yapay zekâ modelleri ön plana çıkmaktadır.

Yapay sinir ağları, doğrusal olmayan yapısı nedeni ile sayısal toprak haritalama çalışmalarında sıklıkla kullanılmıştır (Kuang ve ark., 2015). Çok katmanlı algılayıcı sinir ağları modelinde elektromanyetik spektrumun görünür ve yakın kızılötesi bölümlerini ortak değişken olarak kullanarak başarılı TOK tahmin modeli oluşturulmuştur (Li ve ark., 2013). Dai ve ark. (2014), Tibet platosunda toprak organik maddesinin mekânsal modeli için kriging, yapay sinir ağları ve her iki modelin hibrit yaklaşımını değerlendirmiştir. Ortalama karekök hatasını radyal tabanlı yapay sinir ağında 8.24, universal krigingde 9.03 ve ters mesafe ağırlığında 9.57 olarak bildirmişlerdir. Bu çalışmada en dikkat çeken nokta; universal kriging (sadece mekânsal otokorelasyonu dikkate alır) ile radyal tabanlı fonksiyon yapay sinir ağları sinerjisinden elde ettikleri model başarısının kriging yöntemine göre %33, yapay sinir ağlarına göre %27 daha az ortalama karekök hatasına sahip olmasıdır. Song ve ark. (2017)'nın sonuçları bu bulguları destekler niteliktedir. Song ve ark. (2017), ELMOK adını verdikleri hibrit modelin başarısında (i) model yaklaşımlarının çok sayıda (14) yardımcı değişken kullanmaya olanak sağlamasının; (ii) yapay sinir ağı ile ordinary kriging entegrasyonun toprak organik karbon mekânsal değişkenliğini açıklama yeteneğine sahip olmasının; (iii) yapay sinir ağlarının doğrusal olmayan yapısı ve ortak değişken seçiminde çok boyutlu etki hiyerarşisini göz önünde bulundurmalarının etkili olduğunu bildirmişlerdir.

Bulanık küme, karmaşık bir sistemde risk değerlendirmesini belirlemek için kullanılan nicel bir yöntemdir (Lin ve ark., 2021). Arazi uygunluk değerlendirme çalışmaları için bulanık kümenin avantajları: (i) küme sınırlarını tanımada esnekliğe izin vermesi; (ii) doğada geçişli olarak değişmekte olan biyofiziksel parametreleri modelleme yeteneğidir. Bu olguya uyumlu olarak, arazide bulunan bir faktörün ideal noktaya yakınlık derecesini hesaplayıp kısmi üyeliğini belirler. Bu özelliği ile peyzaj birimleri arasındaki sınırları, keskin değil geçiş bölgeleri olarak değerlendirir (Aarthi ve Sivakumar, 2022; Keshavarzi ve ark., 2010; Alex ve ark., 1997). Sürekli bulanık sınıflandırma bu özellikleri ile toprak biliminde dikkat çekmiştir. Horáček ve ark. (2018), bulanık kümeleme kullanarak toprak birimlerinin taksonomik sayısal

haritalanması için "bulanık taksonomi" adında yeni bir yöntem sunmuştur. Abbaspour-Gilandeh ve Abbaspour-Gilandeh (2019), bulanık ve uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi ile hacim ağırlığı, toprak nem içeriği ve toprak elektriksel iletkenliği gibi toprak koni indeksi üzerindeki etkili ortak değişkenlerle tarım topraklarının koni indeks değerlerini tahmin etmişlerdir. Ayrıca, sürekli bulanık küme üyelik fonksiyonlarının çeşitliliği ve uyarlanabilirliği, sürdürülebilir tarımsal arazi değerlendirmesi çalışmalarında paradigma değişikliğine yol açmıştır. Bijanzadeh ve Mokarram (2013), toprak verimlilik modellemesi ve haritalanması amacıyla yaptıkları çalışmada; toprak ve çevre arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarmak için üyelik fonksiyonlarının etkili bir araç olduğunu belirtmişlerdir. Abbasi ve ark. (2019), buğday için arazi uygunluk değerlendirmesinde parametrik ve bulanık küme yöntemlerini karşılaştırmıştır. Bulanık küme yönteminin parametrik yöntemden daha doğru bir uygunluk sınıflandırması yapmasının yanı sıra, arazi biriminin ayırt edilen uygunluk sınıflarının her birine ait olma derecesi hakkında daha net bilgi sağladığını belirtmiştir. Houshyar ve ark. (2017), hiyerarşik sürekli bulanık kümeleme yaklaşımı ile yaptıkları tarımsal arazi değerlendirmesinde; ne kadar fazla ve farklı türden faktör olursa olsun hiyerarşik bulanık küme mimarisi ile başarılı sonuç elde etmişlerdir. Hiyerarşik bulanık kümeleme yaklaşımları ise birbirleri ile yüksek ilişki gösteren faktörleri alt bulanık modellerinde ele almak şeklindedir. Bu çalışmada da benzer bir yaklaşım benimsenmiş olup ayrıca, üyelik fonksiyonlarının uzman görüşü ve arazi karakteristiklerine göre dizayn edilebilirliği; derinlik, tuzluluk, oyuntu erozyonu, yıllık toprak kaybı gibi hem verimliliği hem de arazi yönetimi üzerine risk teşkil edecek faktörlerin uygunluk değerlendirmesinde, özenle dikkate alınmasını sağlamıştır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

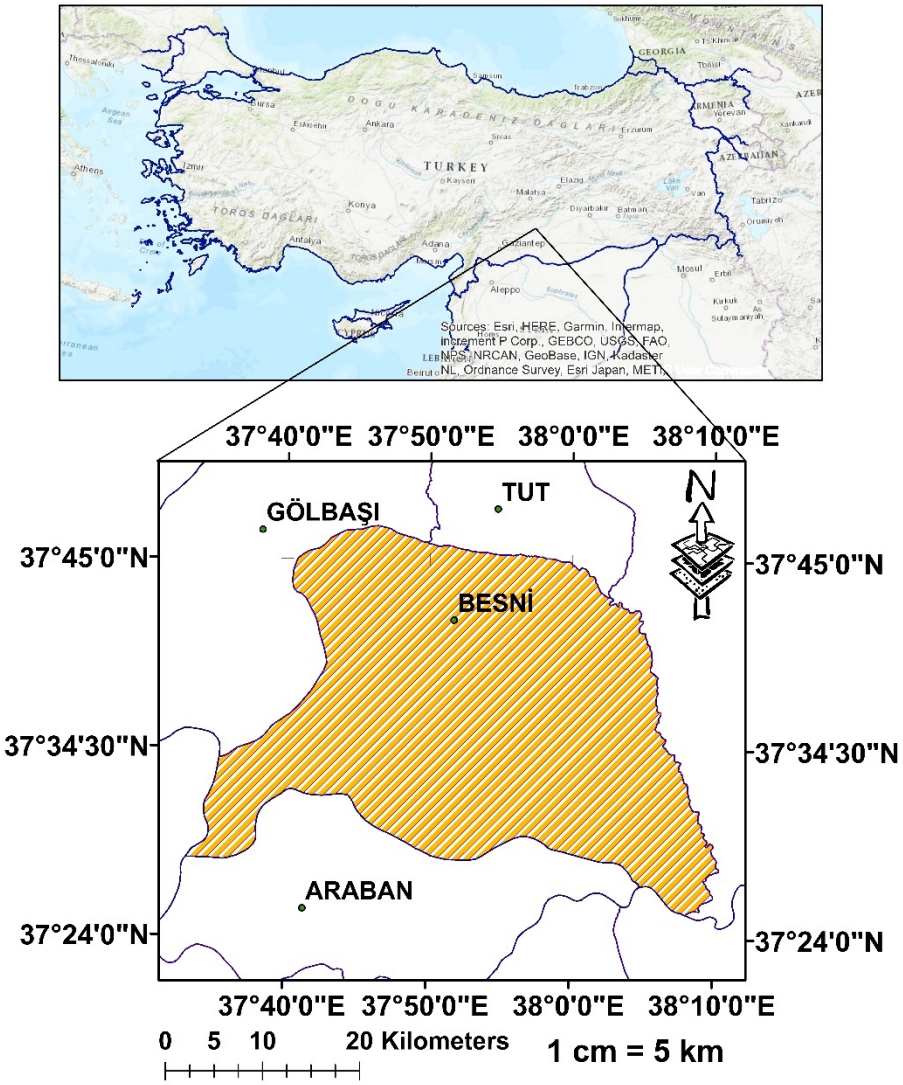
3.1. Çalışma Alanı Coğrafi Konumu

Bu çalışma Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde bulunan Adıyaman ilinin Besni ilçesinde yürütülmüştür (Şekil 3.1.). Çalışma alanı, 37° 41' 34" Kuzey enlemi ile 37° 51' 40" Doğu boylamları arasında yer almakta olup, alanı 1330 km^2'dir. Jeomorfolojik yapısı esas olarak akarsular tarafından parçalanmış karstik plato niteliğindedir. Plato içerisinde çok sayıda polye ve uvalalar yer almaktadır. Çalışma alanının yükseltisi batıdan doğuya doğru azalmaktadır. Çalışma alanının önemli akarsuları Göksu çayı, Aksu çayı, Sofraz çayı ve Karasu olup bu akarsular Fırat nehri ile birleşmektedir.

3.2. İklimi ve Bitki Örtüsü

Karasal ve Akdeniz ikliminin karışımı olarak bozulmuş Akdeniz ikliminin hakim olduğu çalışma alanında, ortalama yıllık yağış ve sıcaklık sırasıyla 636 mm ve 15,71 °C'dir. Akdeniz ikliminin hakim olduğu bölgeler için toprak erozyonu önemli bir faktördür (García-Ruiz, 2010). Çalışma alanında, özellikle yağışların yıl içerisinde düzensiz dağılımı ve tarım arazilerinin yoğun kullanımı; tipik Akdeniz ikliminde görülen genel çölleşme eğilimi süreçlerini yansıtmaktadır. Ayrıca, yarı kurak iklim koşulu etkisiyle, zayıf bitki örtüsünün olduğu arazilerde, ilkbahar ve erken yazda düşen yüksek yoğunluklu yağışların oluşturduğu eroziv etki bu süreci desteklemektedir. Bu nedenle, oyuntu gelişim dinamikleri, arazi bozunumunun önemli bir göstergesidir.

Fundalık alanlarda otlatma baskısı ve tarımsal arazilerine dönüşüm süreci, arazi tahribatına neden olmaktadır. İklim, üzüm, fıstık ve zeytin gibi tarım ürünlerinin yetiştirilmesi için uygun olduğundan, eğimli, engebeli ya da çok taşlı alanların bir kısmı bahçe tarımına ayrılmıştır. Az eğimli yerlerde arpa, buğday ve nohut gibi tarla bitkileri yetiştirilmektedir (Ortaç, 2020).



Şekil 3.1. Çalışma alanının coğrafi konumu

3.3. Jeolojisi

Çalışma alanı, Güneydoğu Toros Dağları'nın güney eteklerinde yer almaktadır; güneyinde yer alan polye ve uvalalar pliosen ve pleistosen yaşlı aluviyal ve koluviyal depozitleri kapsamaktadır. Bunun yanı sıra akarsu vadilerinin terasları ve vadi tabanlarında aluviyal depolar bulunmaktadır (Deniz, 2021). Çalışma alanı, Kretase'den Kuvarterner'e kadar değişik yaşlı yerinde oluşmuş (otokton) ve taşınmış (allokton) jeolojik birimlerden oluşmaktadır. En erken jeolojik birim Mesozoyik'te Üst

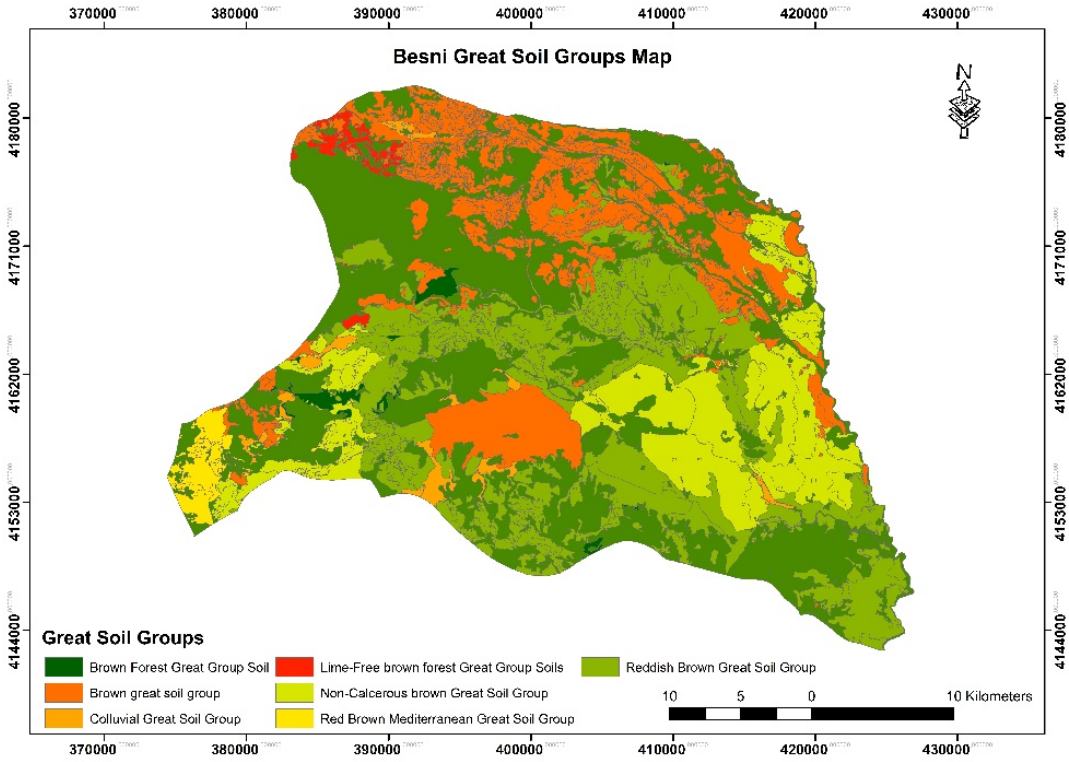
Jura-Alt Kretase döneminde oluşan Koçali Karmaşığıdır. Koçali Karmaşığı, çalışma alanının kuzeybatı ve batı kesimlerinde yayılım göstermektedir. Gri-yeşil, mavi renkli parlak bir yüzeye sahip olan serpantinler, tipik olarak nehirler tarafından aşındırılan ve derin vadilerle engebeli bir topografyanın oluşmasına neden olan masif yapılardır (Sungurlu, 1974). Kestel Formasyonu, Akdere Vadisi'nin iki yanında Besni ilçe merkezinin doğusunda geniş bir alanda yüzeylenmektedir. Kestel Formasyonu, iri blok ve çakılların varlığı ile Koçali Karmaşığın'ndan farklılık gösterir (Tuna, 1973). Üst Senoniyen döneminde oluşan kalkerler, çalışma sahasının diğer jeolojik birimidir. Besni Formasyonu çalışma alanının güney ve güneybatısında yer alır ve Üst Senoniyen Kireçtaşları (USL) olarak bilinir. Çalışma alanının bir diğer jeolojik birimi olan kırıntılı karbonatlar Üst Kretase döneminde oluşmuştur. Kırıntılı karbonatlar güney-güneydoğuda yer alır. İnceleme alanındaki marn, kumtaşı, şeyl ve yer yer çakıllardan oluşmaktadır. Eosen yaşlı kireçtaşı olan Hoya formasyonu, kırılgan ve sert kireçtaşları ile dolomitlerden oluşmaktadır (Duran ve ark., 1988). Çalışma alanının önemli bir bölümünü Alt Miyosen dönemine ait kalkerler kaplar ve ağırlıklı olarak kalkerli kalker ve kalkerli marndan oluşur (Yıldırım, 2004).

3.4. Toprak Özellikleri

Toprak Taksonomisine göre, çalışma çalışma alanının toprak sıcaklık rejimi mesic ve toprak nem rejimi xeric olarak sınıflandırılmıştır (Anonim, 1996;USDA, 2014). Çalışma alanında Inceptisol, Vertisol ve Entisol ordolarına ait topraklar yaygındır. İnceleme alanındaki topraklarda drenaj, tuzluluk ve alkalilik gibi problemler bulunmamaktadır. Çalışma alanında yer yer yüzeyde hafif-orta taşlı ve derine doğru yoğunluğu artan 5-10 cm çaplı yarı köşeli taşların olduğu toprak profilleri yer almaktadır.

Çalışma alanının yüksek ve alçak platolarında bozkır bitki örtüsü altında yaygın olarak kahverengi topraklar bulunur (Şekil 3.2.). Ayrıca güneydeki alçak plato alanlarında kırmızı kahverengi topraklar bulunur. Güneybatıda küçük bir alanı kaplayan kırmızı-kahverengi Akdeniz toprağı, esasen kırmızı Akdeniz ve kahverengi toprakların karışımıdır. Çalışma alanında bulunan ve güneybatı ve güneydoğuda yer alan diğer bir yaygın toprak türü de kalkersiz kahverengi topraklardır. Tahıllar

öncelikle düşük doğal verimli topraklar olan kireçsiz kahverengi topraklarda yetiştirilir. Yüksek platolarda ve kuzeye bakan yamaçlarda yer alan kahverengi orman toprakları, genellikle dağlık ve engebeli yaylalarda orman örtüsünün altında oluşan humus bakımından zengin topraklardır. Eğimli alanlarda ve vadi yamaçlarında bulunan kolüvyal topraklar daha çok fıstık, badem ve zeytin bahçeleri ve üzüm bağları için kullanılmaktadır (Anonim, 1996).



Şekil 3.2. Çalışma alanındaki büyük toprak gruplarının dağılımı (Anonim, 1996)

3.2. Yöntem

3.2.1. Coğrafi nesne tabanlı görüntü analizi ile oyuntu erozyonu envanteri

Coğrafi nesne tabanlı görüntü analizinde uzaktan algılama veri seti oluşturmak için 7 Eylül 2020 tarihine ait Sentinel-2A görüntüleri, Avrupa Uzay Ajansı internet sitesinden indirilmiştir. Daha ileri derecede yorumlama ve çözümleme işlemleri için, ham görüntü verisi üzerinde belirli ön işlemler yapılması gerekmektedir (Richards, 1999). Bu işlemlerin bazıları verinin alınışı sırasındaki hataları düzeltme amacı uygulanmaktadır. Bu yüzden ilk aşamada, uzaktan algılama görüntüleri kullanılarak

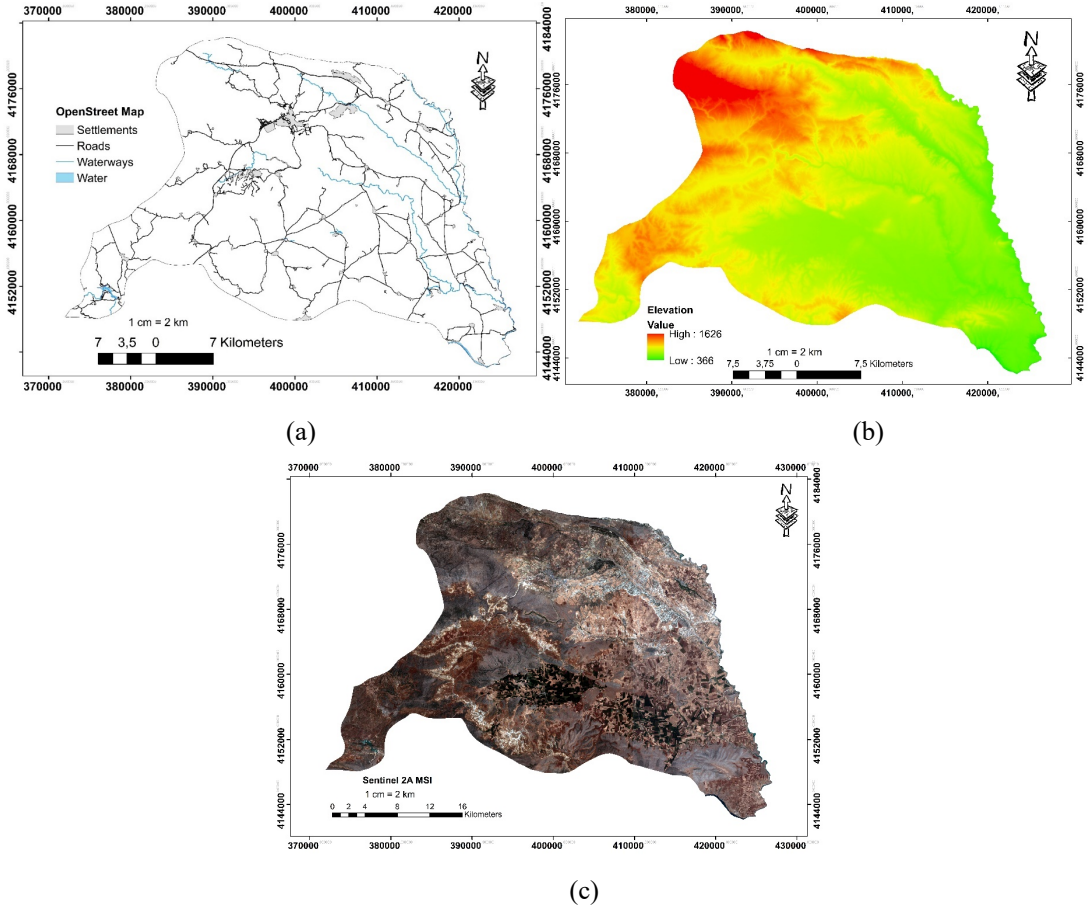
sağlıklı bilgi çıkarımı yapılabilmesi için gereken ön işleme adımlarından olan radyometrik düzeltme yapılmıştır. Radyometrik düzeltme sayesinde piksel parlaklık değerlerindeki atmosferik etkilerden kaynaklanan hatalar giderilmiştir. Çünkü, uydu sensörüne ulaşan sinyallerin su buharı, aerosoller ve diğer gazlar gibi atmosferdeki birçok asılı parçacık ve malzemeden etkilenerek piksel değerlerinde hatalara sebep olmaktadır (Khorram ve ark., 2012). İlk olarak, ham Sentinel 2A MSI görüntüsünün atmosfer üstü (TOA) haline ait granüller, QGIS yazılımına eklenti olarak çalışan Semi-Automatic Classification paketi kullanılarak atmosferik düzeltmeden geçirilmiş ve yeni L2A veri seti üretilmiştir. Ayrıca, uzaktan algılamada yaygın olarak kullanılan Koyu Piksel Çıkarımı (Dark Object Subtraction-DOS1) yöntemi ile atmosferik düzeltme gerçekleştirilmiştir (Congedo, 2021; Senel, 2018). Bu yeni veri setinde, T37SDB ve T37SC'ye ait mavi (b2), yeşil (b3), kırmızı (b4) and b8 (VNIR), eCognition programı için katman birleştirme (layer stack) ve mozaik (mosaic) işlemleri yapılmıştır. Ardından çalışma alanı sınırlarına göre kesme işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.3.).

Topografik özellikler (özellikle drenaj yoğunluğu ve eğim) oyuntu erozyonu oluşumunda etkili olan yüzeysel akışı önemli ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle, oyuntuların belirlenmesi ve haritalanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır (Shruthi ve ark., 2015; Zabihi ve ark., 2018). Bu faktörler 12,5 m mekânsal çözünürlüğe sahip Alos Palsar sayısal yükseklik modellerinden elde edilmiştir. Veri kümeleri, ALOS PALSAR RTC girişimi resmi web sitesinde (https://search.asf.alaska.edu/#/) ücretsiz olarak sunulmaktadır (Alaska Uydu Tesisi, 2022). Çalışmada eğim, drenaj yoğunluğu, bakı, kabartma ve topografik ıslaklık indeksi (TWI) gibi çeşitli topografik koşul faktörleri kullanılmıştır (ESRI, 2012; Grabs ve ark., 2009).

Normalleştirilmiş fark bitki örtüsü indeksi (NDVI) hesaplanması için önceden işlenmiş Sentinel 2A VNIR (b8) ve kırmızı (b4) bantları kullanılmıştır. Bitki örtüsünün kuvvetli bir şekilde yansıttığı yakın-kızılötesi ve bitki örtüsü tarafından emilen kırmızı ışık, NDVI, bitki örtüsü ile kaplı alanların belirlenmesi için oldukça kullanışlıdır. Yüksek değerler yoğun gölgelik gösterirken, düşük veya negatif değerler, kentsel alanları ve su özelliklerini göstermektedir (Lillesand ve ark., 2015; Valle Júnior ve ark., 2019). Çok çözünürlüklü segmentasyon aşamasında, bitki örtüsü olan alanları

doğrudan dikkate almak için ek bir görüntü katmanı olarak NDVI değerleri dahil edilmiştir. Böylelikle; tarım, orman gibi yüksek NDVI değerlerine sahip alanlar homojen olarak maskelenmiştir. Dolayısıyla belirlemeye çalışılan coğrafi nesne olan oyuntuların daha doğru bir şekilde tanımlanması sağlanmıştır.

OpenStreetMap© (OSM), yerleşim alanları ve yol verileridir (Şekil 3.3.). Vektör katmanları şeklinde olan OSM, iş akışına dahil edilerek projeksiyon sistemi diğer koşul faktörleri ile uyumlu hale getirilmiştir. Görsel kontroller, OSM verilerinin uzamsal eşleşmesini ve güvenilirliğini doğrulamıştır. Bu erken aşama sayesinde; yerleşim ve büyük su alanları ile birlikte yollar maskelenmiştir.



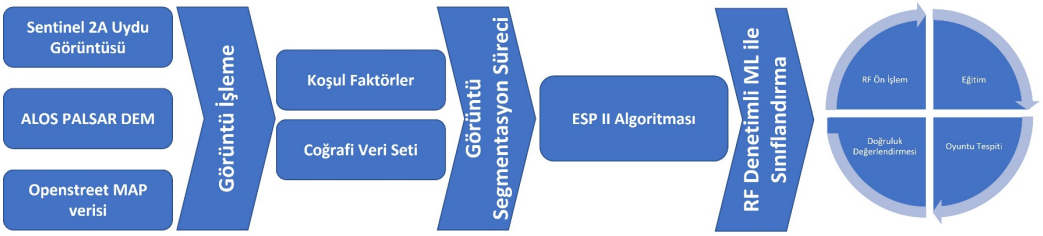
(a) (b)

(c)

Şekil 3.3. Çalışma alanındaki oyuntu erozyonunu belirlemek için kullanılan girdi parametreleri (OpenStreet Map© (a), Yükseklik (b), Sentinel 2A MSI optik uydu görüntüsü (c))

Oyuntu erozyonundan etkilenen alanların tespiti için sunulan yaklaşımın ilk aşaması eCognition Developer (Trimble Geospatial) yazılımı kullanılarak optik uydu görüntülerine nesne tabanlı görüntü analizi uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Bu

aşamada, yerleşim alanlarını maskelemek için OpenStreetMap (OSM)'den vektör verilerinin yanı sıra NDVI ve topoğrafik raster verileri de çalışmaya dahil edilmiştir. Bu yaklaşımla, oyuntu erozyonundan etkilenen alanların belirlenmesinde sınırlayıcı faktör olan optik görüntülerin 2 boyutta olması sınırı aşılmaya çalışılmıştır (Şekil 3.4.).



Şekil 3.4. Coğrafi nesne tabanlı görüntü analizi iş akış şeması

Çok çözünürlüklü segmentasyon analizi, obje tabanlı görüntü analizi yaklaşımındaki başarılı bölütleme algoritmaları arasında yer almaktadır. Bölütleme algoritmalarında; ölçek, şekil ve kompaktlık parametrelerinin optimize edilmesi gerekmektedir (Witharana ve Civco, 2014). Bu çalışmada, çok çözünürlüklü segmentasyon (MRS) yöntemi Drăguţ ve ark. (2014), tarafından önerilen ESP II algoritması ile yürütülmüştür. ESP II algoritması segmentasyon aşamasında, ölçek parametrelerinin optimal olarak belirlenmesine olanak tanımıştır. eCognition Developer yazılımı için geliştirilen bu araç, çok katmanlı ve bir dizi parametreden oluşan görüntüyü MRS yöntemi kullanarak üç ayrı seviyede segmentasyona tabi tutmuştur. Küçükten büyüğe (inceden kabaya) doğru yapılan bu ölçeklemede, her bir seviye için parametreler tanıtılmıştır. Sunulan çalışmada, kullanılan ölçek parametre değerleri bulgular kısmında verilmiştir. Ayrıca, görüntü segmentasyonunda ölçek değerlerinin doğruluğunu değerlendirmek için Tavakkoli ve ark. (2019)'nın önermiş olduğu spektral ve geometrik indeksler kullanılmıştır. Bu indeksler, Obje Saflık İndeksi (OPI), Obje Eşleşme İndeksi (OMI) ve Obje Uygunluk İndeksi (OFI)'dir (Denklem 3.1, 3.2 ve 3.3). Obje saflık indeksi, spektral özellikleri baz alarak nesne bütünlüğünü değerlendirmektedir. Sentinel 2'nin mavi, yeşil ve kırmızı görüntü bantları güçlü bir korelasyon göstermektedir. Bu nedende yansıma değerlerinin standart sapmaları oldukça yakın değerlere sahiptir. Ancak, piksellerin yansıma değerlerinin ortalamaları farklıdır. Örneğin, homojen özellik gösteren su kütleleri gibi

nesnelerin farklı bantlar için standart sapma değerleri benzerdir (Tavakkoli ve ark., 2019).

$$OPI = \frac{\frac{(SDB+SDG+SDR)}{3}}{Max\ SD} \quad (3.1)$$

SDB, SDG ve SDR değerleri, Sentinel 2 uydu görüntüsüne ait multispektral bantları (mavi, yeşil ve kırmızı) yansıma değerlerinin standart sapmaları. Max SD ise üç spektral bandın maksimum standart sapmaları ortalamalarıdır. En uygun ölçek parametre (Scale Parameter, SP) değerine göre yapılmış MRS'de, OPI değeri 1'e yakındır. Bu durum segmentasyon sonucu üretilen objelerin kendi içlerinde spektral varyasyonunun düşük olduğunu göstermesinin yanı sıra objeler arası varyansın yüksek ve heterojen olduğu anlamına gelmektedir.

Obje Eşleşme İndeksi (OMI), MRS sonucu elde edilen nesneleri referans değerlere göre mekânsal olarak değerlendirmektedir (Denklem 3.2).

$$OMI = \frac{Alan\ (R \cap S)}{Alan\ R} \times \frac{Alan(S)}{Alan(R)} \quad (3.2)$$

Denklemde, Alan R: referans alınan nesne (çalışmamızda oyuntu erozyonu görülen alanlar referans obje olarak belirlenmiştir), Alan S: MRS sonucu oluşan nesneleri temsil etmektedir. OMI değerinin 1'e yakın olması referans ve segmentasyon sonucu oluşan objelerin uyumlu olduğunu göstermektedir. OMI değeri 1'den az olan MRS seviyesi, aşırı segmentasyon yapıldığını göstermektedir. 1'den büyük olduğu durumlarda eksik segmentasyon yapıldığı sonucuna ulaşılabilir.

OFI değeri, diğer ölçeklere bağlı olarak denklem 3'de gösterildiği gibi hesaplanmıştır. OFI sonuçlarının 1'e yakın olması, 1'den küçük veya büyük olmasına göre değerlendirilmektedir. Bu değerler sırasıyla, optimum segmentasyon parametresi, aşırı segmentasyon ve eksik segmentasyon yapıldığına işaret etmektedir.

$$OFI = \sqrt{\left(\frac{OPI^2+OMI^2}{2}\right)} \quad (3.3)$$

Optimal ölçeklendirme parametresine sahip segmentasyon seviyesinde oluşan vektör formatında veri rassal ağaçlar (Random Forest, RF), makine öğrenme

algoritmasıyla kontrollü sınıflandırmaya tabi tutulmuştur. Bu aşamada açık kaynak kodlu QGIS programı ve Orfeo Toolbox eklentisi kullanılmıştır. Fransa'da CNES (Centre National D'études Spatiales) tarafından geliştirilen OTB (OTB Team, 2018): uzaktan algılama görüntülerinin işlenmesi için geliştirilmiş olan açık kaynak kodlu bir projedir (Cresson ve ark., 2018). OTB, görüntü analizi için geliştirilmiş kitaplıklar içeren araç takımıdır ve diğer açık kaynaklı yazılım paketlerinin yanı sıra komut satırına serbestçe erişebilir olunması önemli bir avantajıdır (Grizonnet ve ark., 2017). Sunulan çalışmada kullanılan OTB versiyonu, 7.2.0; QGIS 3.16.3 versiyonu üzerine kurulmuştur. OTB'de obje tabanlı denetimli sınıflandırma için RF denetimli makine öğrenme algoritması kullanılmıştır.

RF algoritması, Adele Cutler'in çalışmasıyla geliştirilmiş makine öğrenme modelidir (Cutler ve ark., 2007). Gün geçtikçe artmakta olan büyük hacimli uzaktan algılama verilerini geleneksel tekniklerle işlenmesi yavaş ve nispeten düşük doğruluk sonuçları vermektedir. Bu yüzden, modelin eğitim sürecinde çok sayıda derin karar ağaçlarından yararlanan; hiper parametrelerin ayarlanmasına ve kalibrasyonuna imkan tanıyan, büyük ve karmaşık veri kümelerinin işlenmesine ve yüksek doğrulukla sınıflandırma performansına olanak tanıyan RF denetimli makine öğrenme algoritması tercih edilmiştir (Magidi ve ark., 2021).

RF gibi denetimli sınıflandırma algoritmaları, eğitim ve doğrulama süreçleri için bir dizi gözlem verisine ihtiyaç duymaktadır. Eğitim için gerekli veriler Liu ve ark. (2018)'ın önerdiği şekilde; arazide gözlemlenen oyuntuların konumları ve yüksek çözünürlüklü Google Earth görüntülerinin Sentinel 2A görüntüsünde karşılık geldiği konumlardan elde edilmiştir. Bu verilerin %70'i eğitim ve kalan %30'u sonuçların doğrulanması için kullanılmıştır.

Modelin başarısını belirlemek amacıyla; hassaslık (precision of class), geri çağırma (recall of class), F1 skoru ve kappa indeksi parametreleri hesaplanmıştır (Heung ve ark., 2014; Joshi, 2016; McInerney ve Kempeneers, 2015). Bu aşamadan önce gerçek pozitif (true positive, TP), gerçek negatif (true negative, TN), yanlış pozitif (false positive, FP) ve yanlış negatif (false negative, FN) değerleri OTB'den elde edilen veri kümesi ile belirlenmiştir. TP değeri, tahmini sınıflama kümesi ile gerçek sınıflama kümesinin kesişimidir. Yani, çalışma alanında oyuntu erozyonu

görülen ve modelin de oyuntu olarak doğru tahmin ettiği çokgenlerdir. TN değeri ise hem gerçekte oyuntu erozyonu olmayan hem de modelin oyuntu erozyonu sınıfına dahil etmediği çokgenlerdir. FP, gerçekte alanda oyuntu erozyonu görülmemesine rağmen modelin yanlış tahminde bulunup oyuntu erozyonu sınıfına dahil ettiği parametredir. FN değeri, gerçekte çalışma sahasında oyuntu erozyonu görülmesine rağmen modelin yanlış tahminde bulunduğu çokgenlerdir (Gupta ve ark., 2012). RF ile denetimli sınıflama modelinde başarı: TP, TN, FP ve FN değerleri ile hesaplanan hassaslık, geri çağırma, F1 skoru ve kappa indeksi hata metrikleri ile değerlendirilmiştir. Hassaslık, doğru tahmin edilen pozitif gözlemlerin toplam tahmin edilen pozitif gözlemlere oranıdır (Denklem 3.4).

$$Precision = \frac{Tp}{Tp+FP} \quad (3.4)$$

Geri çağırma, doğru tahmin edilen pozitif gözlemlerin gerçek sınıftaki tüm gözlemlere oranını göstermektedir (Zgłobicki ve ark., 2015) (Denklem 3.5).

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} \quad (3.5)$$

F1 skoru, hassaslık ve geri çağırma değerlerinin ağırlıklı ortalamasıdır (Denklem 3.6). Bu puanlamada hem yanlış pozitifler hem de yanlış negatifler değerlendirilmektedir. F1 skoru, özellikle sınıflama dağılımının eşit olmadığı durumlarda diğer doğruluk parametrelerine göre daha kullanışlı olabilmektedir. Çünkü çoğu doğruluk parametresi yanlış pozitifler ve yanlış negatifler benzer sayılarda olduğunda en iyi sonucu vermektedir. Dolayısıyla, yanlış pozitifler ve yanlış negatiflerin oldukça farklı değerlerde olduğu durumlarda precision ve recall değerleri önem kazanmaktadır (Zgłobicki ve ark., 2015).

$$F1\ Score = \frac{2\times(Recall\times Precision)}{(Recall+Precision)} \quad (3.6)$$

3.2.2. Toprak örneklemesi ve laboratuvar analizleri

Toprak sınıfı, jeoloji, bitki örtüsü ve topoğrafya dikkate alınarak 2021 yılında çalışma alanından 132 toprak örneği (0-30 cm) toplanmıştır. Çalışma alanı, 4 X 4 km^2' lik gridlere bölünmüş, mekânsal dağılım model başarısını artırmaya yönelik olarak,

belirlenen bazı grid alanlarının merkezleri başlangıç noktası kabul edilerek 11 adet transekt belirlenmiştir. Her bir örneklem noktasının arazideki konumu enlem ve boylamı küresel konumlandırma sistemi (GPS) yardımıyla belirlenmiştir. Noktalardan alınan her bir toprak numunesi, oda sıcaklığında kurutulmuş ve laboratuvar analizlerine hazır hale getirilmiştir. 2 mm'lik elekten geçirilen toprak numunelerinde: Tekstür analizi (Gee ve Bauder, 1986) tarafından önerilen Bouyoucos hidrometre yöntemi ile yapılmıştır; tarla kapasitesi 1 bar basınç altında, solma noktası 15 bar basınç altında basınçlı seramik tabla kullanılarak belirlenmiştir (Chapman ve Praftt, 1982); Toprak kireç içeriği, Scheibler Kalsimetre metoduyla belirlenmiştir (Allison ve Moodie, 1965); Elektriksel iletkenlik (dS m^{-1}), toprağın saturasyon çamurunda elde edilen süzükten EC metre kullanılarak belirlenmiştir; Toprak pH'sı, 1(toprak)/2.5 (saf su) karışımında 24 saat sonra pH metre ile ölçülmüştür (USDA-NRCS, 1996). Katyon değişim kapasitesi (me/100g); Sodyum asetat (CH_3COONa) ve Amonyum asetat (CH_3COONH_4) çözeltileri ile iyon değiştirme esasına dayanan yöntem ile belirlenmiştir (Summer ve Miller, 1996). Toprak organik madde içeriğini dış ısı uygulayarak ıslak oksidasyon prosedürüne göre belirlemek amacıyla toprak örnekleri 100 µm'luk elekten geçirilmiştir. Toprak örneğindeki humuslaşmış organik maddenin, $K_2Cr_2O_7$ ve H_2SO4 ile yükseltgenmesinden sonra ortamda tepkimeye girmemiş olan kromatın ($Cr_2O_7^{-2}$) standart $FeSO_4.7H_2O$ çözeltisiyle titre edilmesi suretiyle bulunan indirgenmemiş kromat ($Cr_2O_7^{-2}$) miktarının organik karbonun belli bölümüne eşit olduğu varsayılmakta ve kullanılan uygun bir faktör aracılığıyla belirlenen organik karbon miktarı, Van Bemmelen faktörü ile çarpılması sonucu Wackley-Black ıslak yakma yöntemine göre organik madde miktarı hesaplanmıştır (Kacar, 1995; Nelson ve Sommers, 1996).

3.2.3. Toprak organik karbon içeriğinin mekânsal dağılım modeli metodolojisi

Araştırmanın bu bölümünde toprak organik karbonu mekânsal dağılım modeline ait ortak değişkenler ve modelleme metodolojisi yer almaktadır.

3.2.3.1. Yükselti

ALOS-DEM (Şekil 3.2.) kullanılarak çalışma alanının yükselti haritası çıkarılmıştır. İlçe, batıdan doğuya doğru gidildikçe yükseltisi 1200 ile 1500 m arasında

değişen eğimli bir plato özelliği göstermektedir. Sahanın en alçak noktası güneydoğuda doğuda 400 m ile Göksu Çayının Fırat nehrine kavuştuğu vadi tabanı, en yüksek kesimini ise kuzey batıdaki Akdağ (1510 m) tepesidir (Ortaç, 2020).

3.2.3.2. İklim

İklim değişkeni olan yıllık ortalama yağış, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Meteorolojik Veri Bilgi Sunum Sistemi (Mevbis)'den indirilmiştir (Anonim, 2022b). Konumsal olarak çalışma alanı içerisinde ve yakın çevresinde bulunan 26 meteorolojik istasyonunun son 20 yıllık yağış verileri IDW yöntemiyle haritalanmıştır. Ayrıca, bu istasyonlardan elde edilen veriler zamansal olarak değerlendirildiğinde: yağışların büyük bir kısmının kış mevsiminde düştüğü için Akdeniz yağış rejimine uygun bir dağılış gösterdiği anlaşılmaktadır. Yağış miktarının en fazla olduğu dönem Ekim ayında başlamakta ve Aralık ayına kadar artarak devam etmektedir. Çalışma alanında yağışlar en az Temmuz ve Ağustos aylarında düşmekte, yağışın en fazla düştüğü aylar ise Aralık, Şubat ve Mart aylarıdır. Bu durum, ilkbahar ve kış mevsiminde yağışların yeterli olduğunu yaz mevsiminde ise yağış miktarının düşük olmasına bağlı yetersizlik olduğunu göstermektedir. Özellikle yaz mevsimindeki yağış yetersizliği kuraklığa yol açarak tarımda sulamaya duyulan ihtiyacı arttırmaktadır.

3.2.3.3. Spektral ve topoğrafik indeksler

TOK mekânsal tahmin modellerinde spektral indeksleri ortak değişken olarak kullanmak; spektral yansıma hatalarını azaltmak için etkin bir yöntemdir (Xie ve ark., 2022). Bu araştırmada, TOK'un duyarlı olduğu çeşitli radyometrik bitki örtüsü indeksleri, nem indeksi ve topoğrafik indeks seçilmiştir. Seçilen vejetasyon indeksleri formülizasyonu referansları: normalleştirilmiş fark vejetasyon indeks (NDVI) (Ma ve ark., 2022; Rouse ve ark., 1974), gelişmiş bitki indeksi (Enhanced Vegetation Index, EVI) (Huete et al., 2002) ve bileşik topoğrafik indeks (Compound Topographic Index, CTI) (Moore ve ark., 1993).

Spektral indekslerin ortak değişken olarak kullanılması, etkin ve güvenilir bir yöntemdir (Bao ve ark., 2017). Önceki çalışmalar, fark indeksi ve normalleştirilmiş fark indekslerinin toprak organik maddesi ve karbonunu tahmin etmeye elverişli

olduğunu kanıtlamıştır (Jin ve ark., 2016; Meng ve ark., 2020). NDVI ve EVI, toprak organik maddesi ve organik karbonunu mekânsal olarak tahmin etmeye olanak sağlayan ve vejetasyon bilgisini karakterize eden bitki indeksleridir. Bu yaklaşım aynı zamanda spektrum hatalarını azaltabilir ve böylelikle TOK içerik tahmininin doğruluğunu iyileştirebilir (Ayala Izurieta ve ark., 2021; Liu ve ark., 2017).

Bileşik topoğrafik indeks (CTI), hidrolik sistemlerin özelliklerini modellemek için kullanılmaktadır. Bu yüzden toprak nemi ile güçlü bir şekilde ilişkilidir. Böylece arazi örtüsü ve tarımsal potansiyel hakkında dolaylı bilgi sağlamaktadır. CTI, sabit durum ıslaklık indeksidir, akış yönüne ortigonal birim genişliği başına eğimin bir fonksiyonudur ve yamaç katenaları için tasarlanmıştır. Dolayısıyla, düz peyzajda birikim sayıları çok büyüktür ve varyasyon göstermemektedir (Moore ve ark., 1991). Moore ve ark. (1993), toprak silt içeriği, organik madde içeriği ve fosfor içeriği ile anlamlı düzeyde orta düzey ilişkiye sahip olduğunu bildirmiştir.

Bu araştırmada TOK mekânsal dağılım modelinde; girdi parametreleri olarak kullanılan indekslerin formülleri Çizelge 3.1'de verilmiştir. Formüllerde yer alan 'b' harfleri Sentinel S2A bantlarını ve rakamlar bant numaralarını temsil etmektedir. CTI, Alos Palsar sayısal yükseklik modeli kullanılarak hesaplanmıştır. Denklemde α, akış yönüne dik olan birim genişlik başına havza alanını ve β ise eğimi temsil etmektedir.

Çizelge 3.1. Toprak organik karbon mekânsal dağılım modelinde ortak değişken olarak kullanılan indeksler

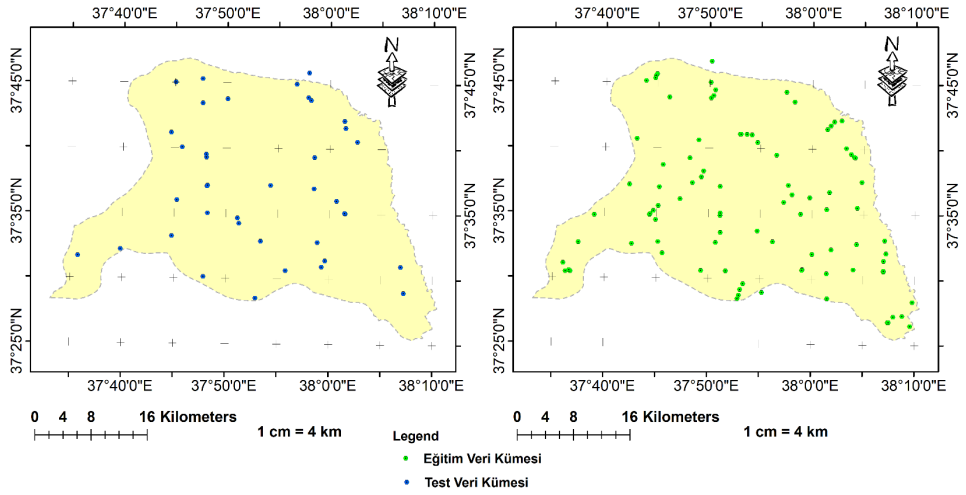
İndeks	Formül	Referans
NDVI	$(b_8 - b_4)/(b_8 + b_4)$	(Rouse ve ark., 1974)
EVI	$\frac{2.5 * (b_8 - b_4)}{(b_8 + 6 * b_4 - 7.5 * b_2 + 1)}$	(Huete ve ark., 2002)
CTI	$\frac{Ln\alpha}{Ln\beta}$	(Grabs ve ark., 2009)

TOK mekânsal dağılım modelinde bazı toprak özellikleri ortak değişken olarak literatüre uygun olarak kullanılmıştır (Kaya ve ark., 2022; Keskin, ve ark., 2019). Bazı toprak özelliklerinin yanı sıra toprak oluşumunda rol alan diğer çevresel değişkenleri kullanarak tahmini mekânsal dağılım yöntemi olarak seçilen çok katman algılayıcı yapay sinir ağında, bir gizli katman ve en az sayıda gizli düğüm sayısı kullanılması,

tahmin başarısını arttırma olanağı sağlamıştır. Böylelikle, elde edilmesi amaçlanan yapay sinir ağı denkleminin anlaşılır ve kısa olması sağlanmıştır. TOK içeriğini tahmin etmek için, modelde girdi verisi olarak kullanılacak toprak özellikleri (kil, kum, pH ve kireç) ve çevresel değişkenler (yükseklik, yıllık ortalama yağış ve sıcaklık) ve indeks (NDVI, EVI ve CTI) haritaları ile ArcGIS bünyesinde bir CBS veri tabanı oluşturulmuştur. Farklı kaynaklardan gelen tüm katmanlar, aynı projeksiyon sisteminde organize edilmiştir.

3.2.3.4. TOK içeriğinin çok katman algılayıcılı yapay sinir ağları ile tahmin metodolojisi

Mekânsal modellemenin ilk aşamasında veri seti eğitim (%70) ve doğrulama (%30) olarak ikiye bölünmüştür. Eğitim veri seti çok katmanlı yapay sinir ağını eğitmek için kullanılmış iken; test veri seti ile doğruluk değerlendirmesi yapılmıştır. Bu işlem ArcGIS 10.8'de Geostatistical Analyst'in "create subset" işlevi kullanılarak yapılmıştır (Şekil 3.5.).



Şekil 3.5. TOK içeriği mekânsal dağılım modeli eğitim ve test noktalarının coğrafi konumları

Çok katmanlı algılayıcı yapay sinir ağı (MLP), ileri beslemeli yapay sinir ağının popüler bir çeşididir (Falahatkar ve ark., 2016). MLP, geri yayılım yapay sinir ağlarının performansını iyileştirmek için tanıtılmıştır ve uzaktan algılama verileri ile toprak özellikleri tahmin problemlerinde yaygın olarak kullanılan bir yapay sinir ağı

türüdür (Gupta ve ark., 2016). MLP, gizli katmanların ve bunların içindeki nöronların sayısının tanımlanmasına izin verdiği için oldukça esnek bir yapıya sahiptir (Xu ve ark., 2019). Genel olarak, girdi ve çıktı katmanları arasındaki katmanlar gizli katmanlardır. Son katman çıktı sonuçlarından oluşan çıktı katmanıdır. Giriş ve çıkış katmanı bir tahmin yapmak için sinyali (ortak değişkenleri) alırken, ağırlık ve bias değerleri gizli katmanlarda depolanmaya devam etmektedir (Gruszczyński, 2019). MLP'nin genel yapısı tanımlandıktan sonra eğitilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada Levenberg-Marquardt backpropagation (LM) eğitim algoritması kullanılmıştır. LM, tahmin ve gözlem farkını en aza indirmeyi amaçlayan ortalama kare hatası optimizasyonuna göre ağırlık ve bias değerlerini güncelleyen bir ağ eğitim fonksiyonudur. LM, geri yayılımlı eğitim bir algoritmasıdır ve diğer algoritmalardan daha fazla bellek gerektirmesine rağmen, ilk olarak tavsiye edilen algoritmadır (Liew ve ark., 2022; Samui ve Sitharam, 2011; Zhao ve ark., 2009).

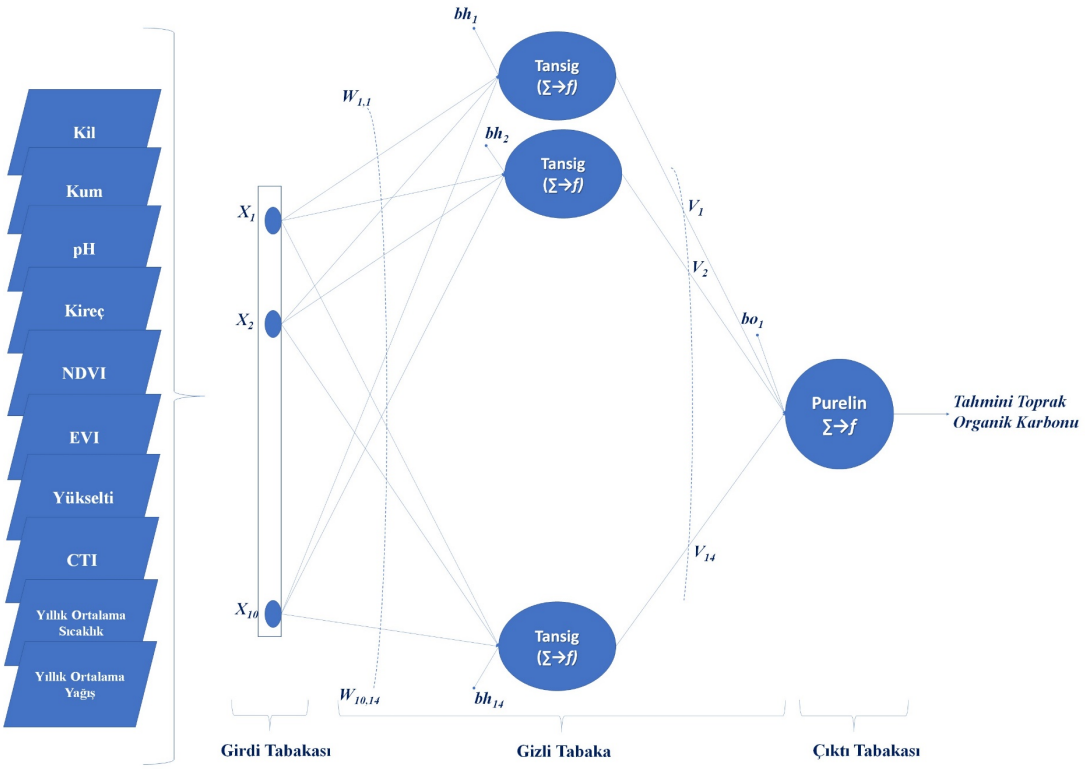
Toprak organik karbon içeriğini tahmin etmek için kullanılan nihai MLP modelinin mimarisi Şekil 3.6'da gösterilmektedir. MLP, ortak değişkenleri, her biri tanjant sigmoid transfer fonksiyonu (Denklem 3.7) 'tansig' olan bir gizli katmana optimal ağırlıkları ile bağlanmaktadır. Çıktı değerleri, 'purelin' doğrusal transfer fonksiyonu ile tahmini toprak organik karbon içeriği değerleridir.

Şekilde 3.6'da görülen yapay sinir ağının 10 girdisi ve 3 adet gizli tabaka birimi bulunmaktadır. Burada girdiler ($X_1, X_2, \ldots..X_{10}$) ve girdiler ile gizli tabaka arasındaki bağlantıların ağırlıkları W matrisi ile gösterilmiştir. W matrisinin elemanları $wi,j;$ i=1,2,…,10; j=1,2,….,10 olup bu ağırlık $i.$ girdi birimi ile $j.$ gizli tabaka birimi arasındaki ağırlıktır. b_{h1}, b_{h2} ve b_{h3} ise sırasıyla 1.,2. ve 3. gizli tabaka nöronu için yan değerlerdir. V vektörü gizli tabaka birimleri ile çıktı tabakası arasındaki ağırlıkları göstermektedir. Bias değeri (b_{01}), çıktı tabaksı için yan değeri olmaktadır (Egrioglu ve ark., 2020; Vogl ve ark., 1988).

$$tansig(x) = \frac{2}{1+\exp(-2x)} - 1 \qquad (3.7)$$

Burada x; 'tansig' transfer fonksiyonudur ve x'e karşılık gelen girişin temsil ettiği yerde tanımlanmaktadır. Ağ sisteminde gizli nöron sayısı gibi parametreler deneme yanılma süreci sonucunda belirlenmiştir. Ayrıca modelin öğrenme sürecinde

kullanılan veriler farklı birimlerde olduğundan dolayı, eğitim ağının performansını iyileştirmek amacıyla eşit şekilde ele alınmıştır. Bu yüzden, veriler tek boyuta indirgenmesi amacıyla 0-1 aralığında normalleştirilmiştir (Küçüktopcu ve Cemek, 2021; Vogl ve ark., 1988). MLP sinir ağı mimarisi, Matlab R2021a yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur. Ardından ArcGIS 10.8 yazılımında "raster calculator" aracı kullanılarak MLP'den elde edilen eşitlik, coğrafi bilgi sistemi ortamına taşınıp harita oluşturma işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.6. Sunulan çalışmada kullanılan MLP modelinin yapısı. 'tansig' tanjant sigmoid fonksiyonu; 'purelin' doğrusal transfer fonksiyonu temsil etmektedir

3.2.3.5. Çok katmanlı algılayıcı ve ordinary kriging hibrit model süreci

Bu araştırmada, MLP ve OK tekniklerini tek bir mekânsal dağılım modelinde birleştirmek için çok aşamalı bir algoritma benimsenmiştir. İlk aşama, MLP yapay zekâ algoritması kullanarak doğrusal olmayan tahmin modeli ile tahmini TOK içeriğini belirlemeyi amaçlamaktadır. Ardından, MLP artıklarının OK ile değerlendirilmesi ve nihai modelin elde edilme aşamaları aşağıdaki paragraflarda detaylı olarak açıklanmaktadır.

MLP artıklarının Ordinary krigingi prosedüründe ilk olarak MLP tahmini yapılmıştır. Bir noktanın artık hatası aşağıda verilen denklem 3.8'e göre hesaplanmıştır:

$$r(x_i) = Z(x_i) - \hat{Z}_{MLP}(x_i) \quad (3.8)$$

Burada $r(x_i)$: x_i noktasındaki kalıntıdır, $Z(x_i)$: xi noktasındaki gerçek değerdir ve $\hat{Z}_{MLP}(x_i)$ MLP tarafından tahmin edilen değerdir. Yeni elde edilen $r(x_i)$ değişkeni, $Z(x_i)$ ile $\hat{Z}_{MLP}(x_i)$ farkıyla elde edildiği için; karmaşık çevresel değişkenlerin TOK üzerindeki etkisini taşımamaktadır. Ayrıca, $\hat{Z}_{MLP}(x_i)$ değerleri MLP'nin etkisiyle uzamsal trendi ortadan kalkmış verilerdir. Bu çalışmada kullanılan veriler mekânsal bir eğilim gösterdiğinden bu tarz eğilim kaldırma prosedüründen sonra kalan artıklara başka bir jeoistatistiksel model (kriging) uygulanmasıyla yüksek uzamsal eğilime sahip başarılı tahminler, literatürde yer alan bir çok çalışma sonucunda elde edilmiştir (Dai ve ark., 2014; Demyanov ve ark., 1998; Seo ve ark., 2015; Song ve ark., 2017).

x_1, x_2, ……,x_N noktalarında $r(x_1)$, $r(x_2)$…….,$r(x_N)$ artıkları ordinary kriging ile tahmin edilmiştir. Ordinary kriging, pratikte çok kullanılan bir kriging türü olup hata varyansının en aza indirildiği bir uzamsal tahmin yöntemidir (Yamamoto, 2005). Isaak ve Shrivastava (1989) tarafından bildirilen OK denklemi (Denklem 3.9), aşağıda verilmiştir;

$$\check{r}_{OK}(x_0) = \sum_{i=1}^{n} \lambda r(x_i) \quad (3.9)$$

Burada $\check{r}_{OK}$ ordinary kriginle x_i noktasındaki tahmini MLP artık değeridir. Ordinary kriging optimal koşullarda $\sum\lambda_i$ 1'e eşittir.

Verilerin mekânsal dağılımı ve trendi genellikle; h gecikme mesafesi (lag distance) ile ayrılan, veriler arasındaki ortalama farkını ölçen, deneysel semivariogramlar kullanılarak belirlenir. Semivariogram veri çiftlerinin arasındaki ortalama kare farkının yarısı olarak aşağıda denklem 3.10'a göre hesaplanmaktadır (Goovaerts, 1997).

$$\check{\Upsilon}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [r(x_i) - r(x_i + h)]^2 \quad (3.10)$$

Burada N(h), bir h gecikme mesafesi ile ayrılan örnekleme noktası çiftlerinin sayısıdır. Bu model ayrıca MLP artıklarının krigining enterpolasyonunda kullanılmıştır (Goovaerts, 1997). Ordinary kriging kullanarak çalışma alanında MLP artıkları tahmini ArcGIS 10.8 yazılımı ile gerçekleştirilmiştir.

MLP ve Ordinary Kriging hibrit modeli ile tahmin edilen nihai TOK içeriği $\hat{Z}(x_i)$: MLP tahminleri $\hat{Z}_{MLP}(x_i)$ ve artıkların ordinary kriging tahminleri $\check{r}_{OK}(x_i)$ toplamı ile denklem 3.11'e göre elde edilmiştir (Dai ve ark., 2014).

$$\hat{Z}(x_i) = \hat{Z}_{ANN}(x_i) + \check{r}_{OK}(x_i) \quad (3.11)$$

Yukarıda sunulan MLP-OK hibrit yaklaşımını doğrulamak adına diğer enterpolasyon yöntemleriyle (EBK ve IDW) tahmini haritaları oluşturulmuş ve ardından tahmin doğrulukları karşılaştırılmıştır.

3.2.3.6. MLP-OK hibrit enterpolasyon yöntemi doğruluk değerlendirilmesi

Farklı mekânsal enterpolasyon yöntemlerinin performansını değerlendirmek için Isaaks ve Srivastava (1988) tarafından önerilen üç doğrulama indeksi: Ortalama Hata (ME) (Denklem 3.12), Mutlak Hata Ortalaması (MAE) (Denklem 3.13) ve Kök Ortalama Kare Hata (RMSE) (Denklem 3.14) değerleri aşağıda verilen denklemlere göre hesaplanmıştır.

$$ME = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}[Z(x_i) - \hat{Z}(x_i)] \quad (3.12)$$

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|Z(x_i) - \hat{Z}(x_i)\right| \quad (3.13)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}[(Z(x_i) - \hat{Z}(x_i)]^2} \quad (3.14)$$

Denklemlerde verilen $\hat{Z}(x_i)$ tahmini TOK içeriğidir, $Z(x_i)$ ölçülen TOK içeriğidir ve n ise test veri kümesi eleman sayısıdır.

Yukarıda verilen ölçütlerin yanı sıra Ortalama Mutlak Yüzde Hatası (MAPE) Denklem 3.15'e göre Goodwin ve Lawton (1999)'in önerdiği şekilde hesaplanmıştır;

$$MAPE = \frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}\left|\frac{M_i - E_i}{M_i}\right| X100 \quad (3.15)$$

MAPE denkleminde *n* test veri seti eleman sayısı, M_i ve E_i sırasıyla ölçülen TOK içeriği ve tahmin edilen TOK içeriğidir.

Ölçümü yapılmış gerçek değerlere sahip örnek noktaları için diğer enterpolasyon yöntemlerine göre MLP-OK hibrit yaklaşımının değerlendirilmesi için göreceli gelişim indeksi (relative improvement, RI) hesaplanmıştır (Denklem 3.16) (Mishra ve ark., 2010).

$$RI = \frac{RMSE_{int} - RMSE_{MLP-OK}}{RMSE_{int}} X100\% \quad (3.16)$$

Burada $RMSE_{MLP\text{-}OK}$ ve $RMSE_{int}$ sırasıyla MLP ağı ile ordinary kriging hibrit modeline ait olan, belirli bir enterpolasyon yönteminin kök ortalama karekök hatalarıdır.

Taylor diyagramları; tahmin sonuçlarının gözlem değerler ile ne kadar eşleştiğini grafiksel olarak etkin bir şekilde değerlendirmektedir. Gözlemlenen değerlerler ile model tahmin sonuçları arasında benzerlik şu şekilde değerlendirilmektedir; korelasyonları, merkezi kök ortalama karekök hataları (CRMSE) ve varyasyonlarının genliğidir. Bu diyagramlar, özellikle kompleks modellerin çoklu yönlerini değerlendirmede veya birçok farklı modelin göreli becerilerini ölçmede oldukça kullanışlıdır (Taylor, 2001). MLP ve diğer mekânsal enterpolasyon modelleri, tahmin performanslarının Taylor diyagramı iki boyutlu uzayında her noktanın aynı anda üç farklı istatistiği (CRMSE, korelasyon ve standart sapma) temsil edebilmesi Denklem 3.17'ye göre sağlanmıştır (Taylor, 2005).

$$R = \frac{\frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}(f_n - \underline{f})(r_n - \underline{r})}{\sigma_r \sigma_r} \quad (3.17)$$

$$E'^2 = \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}[(f_n - \underline{f}) - (r_n - \underline{r})]^2 \quad (3.18)$$

$$\sigma_f^2 = \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}(f_n - \underline{f})^2 \quad (3.19)$$

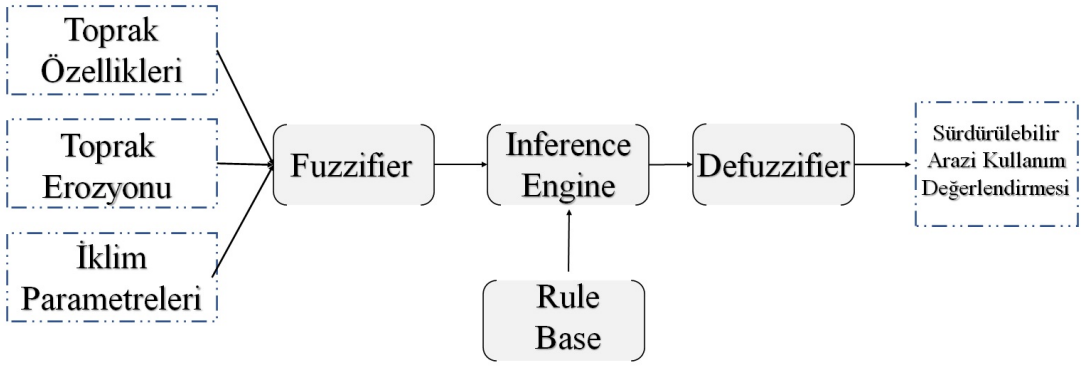
$$\sigma_r^2 = \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}(r_n - \underline{r})^2 \quad (3.20)$$

$$E'^2 = \sigma_f^2 + \sigma_r^2 - 2\sigma_f \sigma_r R \quad (3.21)$$

Yukarıda verilen denklemlerde; test edilen modelin grafikteki alanı f; referans noktası r; Pearson korelasyon katsayısı R, merkezi kök ortalama karekök hataları E', test alanının standart sapması σ_f ve referans alanının standart sapması σ_r'dir. $\underset{\sim}{f}$ ve $\underset{\sim}{r}$ alanların genel ortalamalarını temsil etmektedir. Nihai olarak, eşitlik 3.21'de R, test ve referans arasındaki korelasyon katsayılarıdır, E' alanlar arasındaki merkezi kök ortalama karekök hataları farkıdır. $\sigma_f{}^2$ ve σ_r^2 sırasıyla test ve referans alanlarının varyansıdır (Taylor, 2005).

3.2.4. Sürdürülebilir tarımsal arazi kullanım uygunluk değerlendirme sistemi metodolojisi

Zadeh ve ark. (1975), tarafından geliştirilen bulanık mantık, insan bilgi ve deneyimini modellemek için kullanılmaktadır. Bir bulanık çıkarım sistemi: kural tabanı, bulanıklaştırma birimi (fuzzier), çıkarım motoru (inference engine) ve durulaştırıcı (defuzzier) olmak üzere dört ana bölüme sahiptir (Şekil 3.7.). Bulanık küme bir kural tabanlı sistem olarak sistem dinamiği davranışlarını ifade etmektedir. Çıkarım motoru, bulanık kurallardan çıkarımlar yapılmasına olanak tanımaktadır (Keshavarzi ve ark., 2010). Durulaştırma birimi, faktörlerin çıktısı ile bulanık veriler eşleştirmektedir. Bulanık üyelik aracı, belirli bir kümenin üyesi olma olasılığına bağlı olarak girdi verilerini 0 ile 1 bir ölçeğine dönüştürmektedir. Sunulan çalışmada, sürdürülebilir arazi kullanım değerlendirmesi için bulanık sistemlerin temel özellikleri adapte edilmiştir. Bu bağlamda; uzman bilgi ve deneyimi, üçgensel ve yamuk üyelik fonksiyonları, kural tabanı gibi temel bulanık mantık bileşenleri Mamdani bulanık çıkarım sistemi ile Matlab R2021a'da tasarlanmıştır (MathWorks, 2022).



Şekil 3.7. Sunulan çalışmada kullanılan bulanık mantık modelinin ana yapısı

Bulanıklaştırma aşamasında her bir girdinin üyelik derecesi belirlenmektedir. Giriş değerleri işlenmekte, dilsel değişkenlere dönüştürülmekte ve değişkenler için eşik değerler belirlenmektedir. Uygun üyelik fonksiyonları, her bir değişken veya girdi için belirlenen eşik değerlerine göre seçilmektedir. Bu katmanın çıktıları, dilsel değişkenlerin her biri için 0 ile 1 arasında değerler verilen girdilerin, bulanık üyelik derecesidir (Joss ve ark., 2008). Uygun üyelik fonksiyonu, sürdürülebilir arazi kullanımı için ortak değişkenlerin kritik eşik değerlerine göre belirlenmektedir (Aarthi ve Sivakumar, 2022). Dolayısıyla üyelik fonksiyonunun doğru seçimi, model başarısını etkilemektedir. Örneğin, arazi eğim değerini artırarak araziye uygunluk derecesinin azalması gerekmektedir, uygun üyelik fonksiyon seçimi ve doğru mimari kurulması bu yöntemle kontrol edilebilmektedir (Chakraborty ve Goswami, 2022).

Bulanık mantık modelleme sürecinde ikinci adım, kuralların tanımlanmasıdır. Eğer (IF) bölümü koşulu ifadelerine ve o zaman (THEN) bölümü sonuç ifadelerine dayanmaktadır (Bovkir ve Aydinoglu, 2018). Sunulan çalışmada, erozyon ya da tuzluluk gibi sürdürülebilir arazi değerlendirmesi için kritik ortak değişkenlerin modeldeki önemi kural tabanı tasarlanırken dikkate alınmıştır.

Son olarak durulaştırma ile dilsel değişkenlerin üyelik dereceleri sayısal değerlere dönüştürülmektedir. Böylelikle, kesin bir çıktı üretmek için tüm kuralların çıktıları birleştirilmiştir. Başka bir deyişle, bulanık çıktı tekrar kesin değere dönüştürülmektedir (Mada ve ark., 2022). Sunulan çalışmada kullanılan, alan veya ağırlık merkezi olarak da adlandırılan Centroid durulaştırma yöntemi Denklem 3.22'de verilmiştir (MathWorks, 2022).

$$z = \frac{\int z_i \mu_{zi}(z_i) dz}{\int \mu_{zi}(z_i) dz} \quad (3.22)$$

Burada z alanın merkezi, μ_{zi} ise z_i'deki bulanık üyelik değeridir.

3.2.4.1. İklim katmanı

Sıcaklık ve yağış, çalışma alanında arazi uygunluğunu etkileyebilecek iki ana iklim parametresidir. Çalışma alanı ve çevresinde 11 iklim istasyonunun verilerine göre Nisan-Ekim ayları arasındaki ortalama sıcaklık 12.5°C ile 15.6°C arasında

değişmektedir. Bu aralık seçilen arazi kullanım türleri için uygun sıcaklık dahilindedir (Anonim, 1996). Bu çalışmada yağış, Büyüme Dönemi Uzunluğunun (LGP) belirleyici bir parametresi olmuştur. Bu terim, nem mevcudiyeti ve sıcaklık sınırlaması olmaksızın tarımsal üretimin mümkün olduğu yılın dönemini ifade etmektedir (Pauw ve ark., 1996). Çalışmada, LGP'yi tanımlamak için toprak profilinde depolanan toprak nemi miktarı FAO model yaklaşımı ile değerlendirilmiştir (Higgins ve Kassam, 1981). FAO (1978), kurak ve yarı kurak alanlarda kuru tarım sistemi su gereksinimlerini karşılamak için potansiyel evapotranspirasyon (ETP) seviyesinin 0.5 katının yeterli olduğunu belirterek LGP'yi tahmin etmek için Denklem 3.23'ü önermiştir.

$$LGP = \sum_{m=1}^{12} n_m \quad (3.23)$$

$$n_m = \begin{cases} 1, if\ x_m > 0 \\ 0, otherwise \end{cases}$$

$$x_m = P_m - \frac{ETP_m}{2} \quad (3.23a)$$

Denklem 3.23a'da; m ayları, P_m aylık ortalama yağışı (mm) ve ETP_m aylık potansiyel evapotranspirasyonu (mm) temsil etmektedir. Denklem 3.23'de; n_m aylık ortalama yağış ile ETP'nin yarısı farkının 0'dan büyük olduğu ayları belirtmektedir. ETP ise Penman Montheith yöntemi kullanılarak, FAO'nun Arazi ve Su değerlendirme departmanı tarafından tarımsal ürünlerin su gereksinimleri hesaplanması için geliştirilen CROPWAT® bilgisayar programı ile hesaplanmıştır. Penman-Monteith denklemi (P-M), sıcaklık, bağıl hava nemi, güneş radyasyonu ve rüzgar hızı gibi verilere dayanmaktadır (FAO, 2008). Her bir meteoroloji istasyonu için hesaplanan ETP değerlerinin mekânsal dağılımı ArcMap 10.8'de Ordinary Kriging ile oluşturulmuştur.

3.2.4.2. Erozyon katmanı

Su erozyonu; önemli bir arazi bozunumu göstergesidir ve sürdürülebilir arazi kullanımını etkileyen başlıca faktörlerden birisidir. Bu yüzden çalışmada oyuntu erozyonu ve yıllık toprak kaybı entegre bir şekilde bulanık mantıkla değerlendirilmiştir. Çalışma alanında, Thorne ve Zevenbergen (1990)'nin işaret ettiği erozyona duyarlılık faktörlerini dikkate alınarak, oyuntu erozyonu başlangıcı ve

gelişimini kontrol eden topoğrafik ıslaklık indeksi (TWI), Eustace ve ark. (2009) ve Imwangana ve ark. (2015)'nın belirttiği eğim faktörleri için belirlenen eşik değerler sürekli bulanık sınıflandırma yaklaşımında ortak değişkenleri oluşturmuştur. Bu bağlamda, Kılıç ve ark. (2022) tarafından Besni'de coğrafi nesne tabanlı görüntü analizi ile belirlenmiş oyuntu erozyonundan etkilenmiş alanlara ait koşul faktörlerinden oyuntu erozyonu riskini ve envanterini etkileyen en belirleyici topoğrafik ıslaklık indeksi ve eğim koşul faktörleri seçilmiştir (Çizelge 3.2.).

Çizelge 3.2. Sürdürülebilir arazi uygunluk değerlendirmesi için oyuntu erozyonu uygunluk sınıfları (Kılıç ve ark., 2022)

Oyuntu Erozyonu Bulanık Katmanı	Son derece uygun (S1)	Orta derece uygun (S2)	Marjial olarak uygun (S3)	Şu anda uygun değil (N1)	Kalıcı olarak uygun değil (N2)
Eğim	<3	3-5	5-8	8-12	>12
TWI	<6	6-8	8-10	10-19	>19

Bunun yanı sıra coğrafi bilgi sistemlerinin enterpolasyon yeteneklerinden dolayı geniş bir alan için yıllık toprak kaybını tahmin etme, görüntüleme ve analiz etme olanağı sunmakta olan RUSLE modeli ile yıllık toprak kaybı (Denklem 3.24) belirlenmiştir (Ghosal ve Das Bhattacharya, 2020).

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \quad (3.24)$$

Burada; A yıllık ortalama toprak kaybı (t/ha/yıl), R yağış erozivite faktörü (MJ mm/ha/saat/yıl) (Kilic ve Gunal, 2021), K toprak erodobilitesi (t ha h/ MJ mm/ha/saat/yıl) (Williams, 1995), LS eğim uzunluğu ve diklik faktörü (unitless) (Moore ve Wilson, 1992), C arazi örtüsü faktörü (0 ile 1 arasında) (Knijff ve ark., 2000) ve P koruma uygulama faktörüdür (0 ile 1 arasında) (Wischmeier ve Smith, 1978).

3.2.4.3. Arazi kullanım türleri

Bu çalışmada, Besni'de en yaygın kuru tarım sistemi başlıca arazi kullanım türleri olan buğday ve çok yıllık bahçe bitkileri (bağ, badem, antepfıstığı) seçilmiştir.

Buğday (*Triticum aestivum*) kışlık olarak üretimi yapılması nedeniyle aynı vejetasyon döneminde hasattan sonra ikinci bir ürünün yetiştirilmesine olanak tanır. Düşük sıcaklıklarda gelişmesine devam edebilen bir bitkidir. İyi drenajlı, orta ve ağır tekstürlü toprakların hepsinde yetişebilmektedir. Orta, tekstürde derin topraklarda optimum gelişme ve verim düzeyine ulaşır (Çizelge 3.3.) (Sys ve ark., 1993).

Çizelge 3.3. Buğday sürdürülebilir arazi uygunluk değerlendirme kriterleri ve uygunluk sınıfları (FAO, 1983; Gündoğan, 1993; Perpiña Castillo ve ark., 2021; Robert ve Stone, 2015; Sys ve ark., 1993)

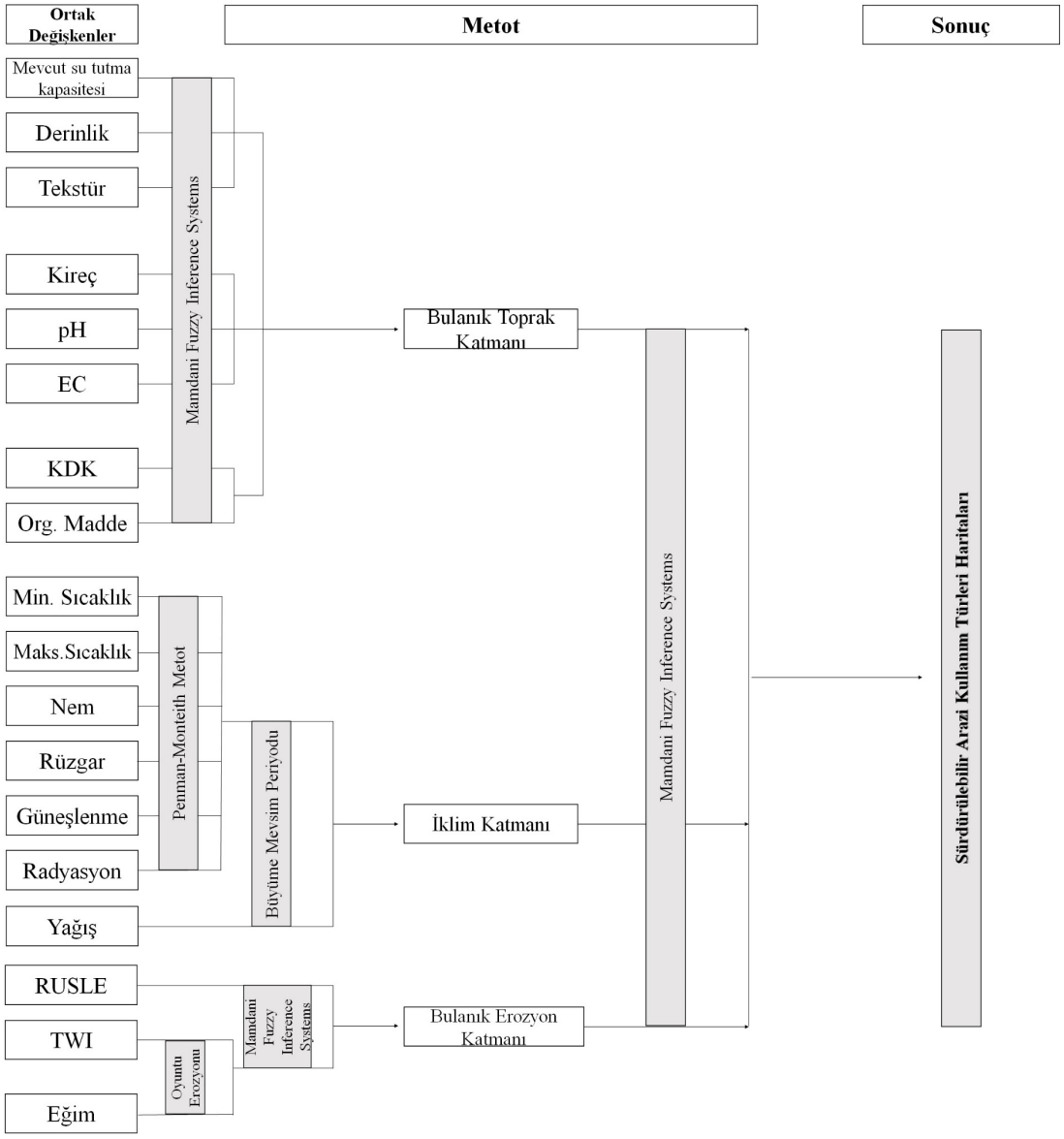
Arazi Karakteristiği	Son derece uygun (S1)	Orta derece uygun (S2)	Marjinal olarak uygun (S3)	Uygun değil (N)
Toprak derinliği (cm)	>120	>80-120	>50-80	<50
Tekstür sınıfı (classes)	SL, SL CL L, CL, L,	S CL, S CL L	LS, SL	S
Mevcut su tutma kapasitesi (mm)	>175	>100-150	>75-100	<75
Toprak Tuzluluğu (EC) dS/m	0-6	>6-7.4	>7.4-9.5	>9.5
Toprak reaksiyonu (pH)	6.5 -8	>5.5-6.5	>5-5.5	<5
Katyon değişim kapasitesi (CEC) meq/100 g^{-1}	>24	<16-24	<12-16	<12
Organik Madde (%)	>1.5	<1.5-1	<0.5-1	<0.5
$CaCO_3$ (%)	>15	>15-20	>20-30	>60
Yıllık toprak kaybı (ton^{-1} ha^{-1} yr^{-1})	<6.7	>6.7-11.2	>11.2-22.4	>22.4
Büyüme mevsimi periyod uzunluğu (LGP) (ay)	4-6	<4-3	<3-2	<2

Bu çalışmada, ticari amaçlı çerezlik antep fıstığı, badem ve sofralık veya kurutmalık üzüm yetiştirilmesini amaçlayan çok yıllık arazi kullanım türleri, bu AKT'lerin arazi karakteristik ihtiyaçları ortak bir yaklaşımla değerlendirilerek ele alınmıştır. Örneğin, antepfıstığı sıfırın altında 20-25°C kadar soğuklardan zarar görmez ve soğuk kış ayları ve sıcak geçen yaz ayları antepfıstığı için idealdir (Woodroff, 1982). Bağlar ise kışın -15°C'dan daha soğuk havalarda zarar görür (Agaoglu ve Celik, 1986). Bunun yanı sıra, antepfıstığı ağır killi topraklardan hoşlanmazken; bağlarda ağır killi topraklarda kökler havasızlıktan zarar görmektedir (Hosseini ve ark., 2021; Oraman, 1970). Sürdürülebilir yetiştiricilik için gerekli arazi karakteristikleri büyük oranda benzer olan çok yıllık arazi kullanım türleri, kritik değerleri dikkate alınarak ortak kriterlere bağlı olarak üyelik fonksiyonları ve kural tabanları belirlenmiştir (Çizelge 3.4.).

Çizelge 3.4. Çok yıllık bahçe bitkileri için arazi özellikleri için arazi uygunluk değerlendirmesi (uyarlanan kaynaklar: (Bellini ve ark., 2009; Bucelli ve Costantini, 2009; FAO, 1983; Gündoğan, 1993; Franchini ve ark., 2009; Prgomet ve ark., 2020; Robert ve Stone, 2015; Sys ve ark., 1993)

Arazi Karakteristiği	Son derece uygun (S1)	Orta derece uygun (S2)	Marjinal olarak uygun (S3)	Uygun değil (N)
Toprak derinliği (cm)	>90	>90-60	>60-30	<30
Tekstür sınıfı (classes)	L, SiL, CL, SiCL,SCL,	C, SiC,	C,SiC,SC(k)	SL, C+60 S, LS
Mevcut su tutma kapasitesi (mm)	>150	>110-150	>75-110	<75
Toprak Tuzluluğu (EC) dS/m	0-2	>2-4	>4-8	>12
Toprak reaksiyonu (pH)	6.5-7.5	7.5-8.4	5.4-6.5	<5.4, >8.5
Katyon değişim kapasitesi (CEC) meq/100 g^{-1}	>16	>16-8	<8-5	<5
Organik Madde (%) (SOM)	>1.5	<1.5-0.8	<0.8-0.4	<0.4
$CaCO_3$ (%)	10- 20	0-10; 20-40	>40-60	>60
Yıllık toprak kaybı (ton^{-1} ha^{-1} yr^{-1})	<6.7	>6.7-11.2	>11.2-22.4	>22.4
Büyüme mevsimi periyod uzunluğu (LGP) (ay)	4-6	<4-3	<3-2	<2

Sonuç olarak, sürdürülebilir arazi uygunluk analizi yukarıda verilen toprak, iklim ve erozyon ile ilgili kriterlerin uygun bir formatta yorumlanmasını içermektedir. Arazi uygunluk değerlendirme süreci, Şekil 3.8.'de özetlendiği gibi her bir kategori için tematik harita katmanları üretmek, mekânsal arazi karakteristiklerini belirlemek ve bunları arazi kullanım türü gereksinimlerine bağlı olarak değerlendirmektir.



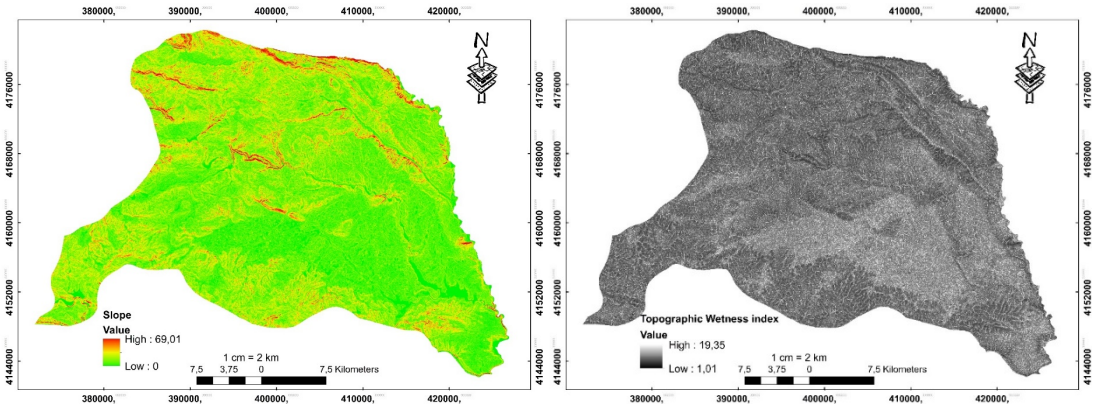
Şekil 3.8. Sürdürülebilir bir tarımsal arazisi uygunluk değerlendirme sisteminin akış şeması

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARIŞMA

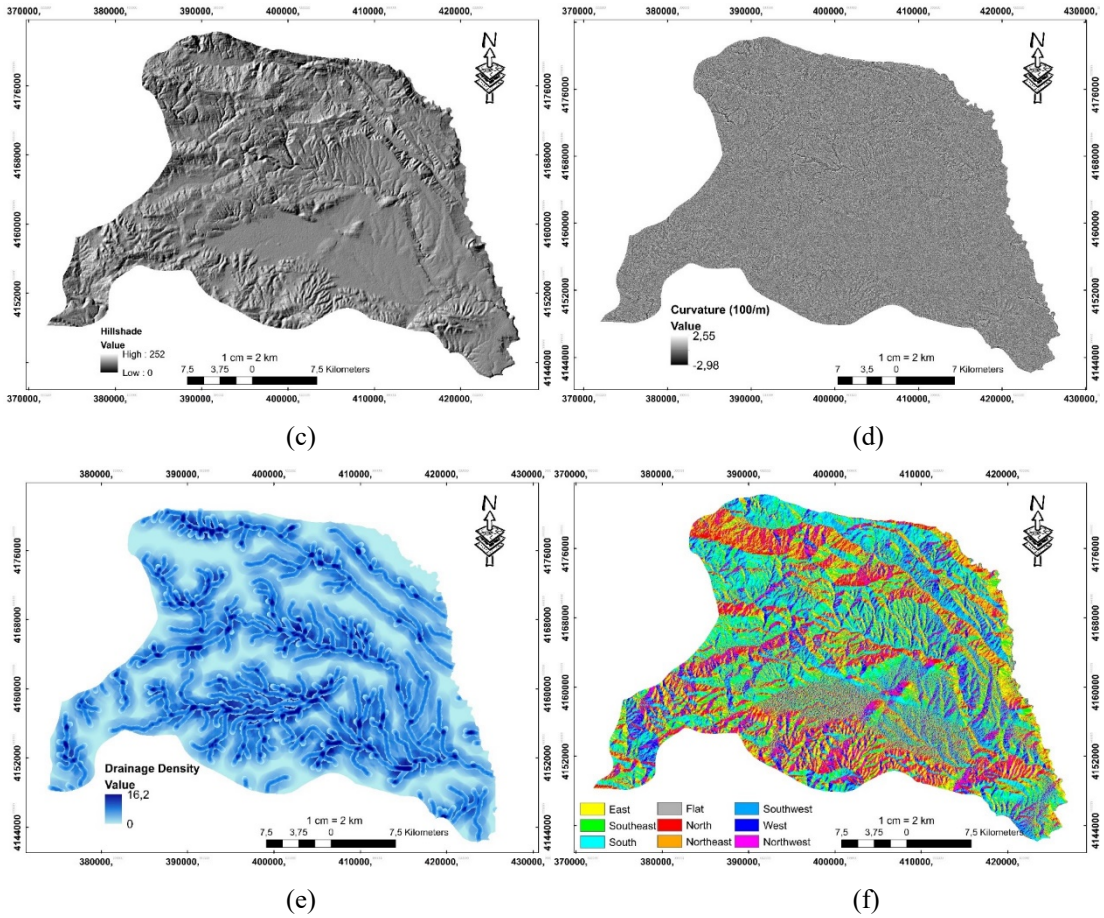
4.1. Oyuntu Erozyonundan Etkilenen Alanların Belirlenmesinde Coğrafi Nesne Tabanlı Görüntü Analizi ve Rassal Ağaçlar Denetimli Makine Öğrenmesi Sınıflandırma Modeli

4.1.1. Koşul faktörleri ve haritaları

Coğrafi nesne tabanlı görüntü analizinde kullanılmak üzere sayısal yükseklik modelinden elde edilmiş olan koşul faktör haritaları Şekil 4.1'de verilmiştir. Çalışma alanının kuzey kesimlerinde eğim derecesi yer yer % 69.01 olarak bulunmuştur. Öte yandan, orta kesimlerde yer alan Keysun Ovası, eğim derecesinin en az olduğu bölgedir (Şekil 4.1a). Araştırma alanında TWI sonuç değerleri en az ve en fazla sırasıyla 1.01 ile 19.35 arasında değerlerini almıştır (Şekil 4.1c). Sayısal yükseklik modelinden elde edilen kabartma haritası ve plan eğrilik haritaları Şekil 4.1c ve Şekil 4.1d haritalarında görülmektedir, bu faktörlerin hesaplanan minimum değerleri sırasıyla 0 ve -2.98 iken maksimum değerler sırasıyla 252 ve 2.55'dir. Drenaj yoğunluğu haritası Şekil 4.1e'de yer almaktadır, bu faktör en az 0 ve en yüksek 16.2 değerini almıştır.



(a) (b)

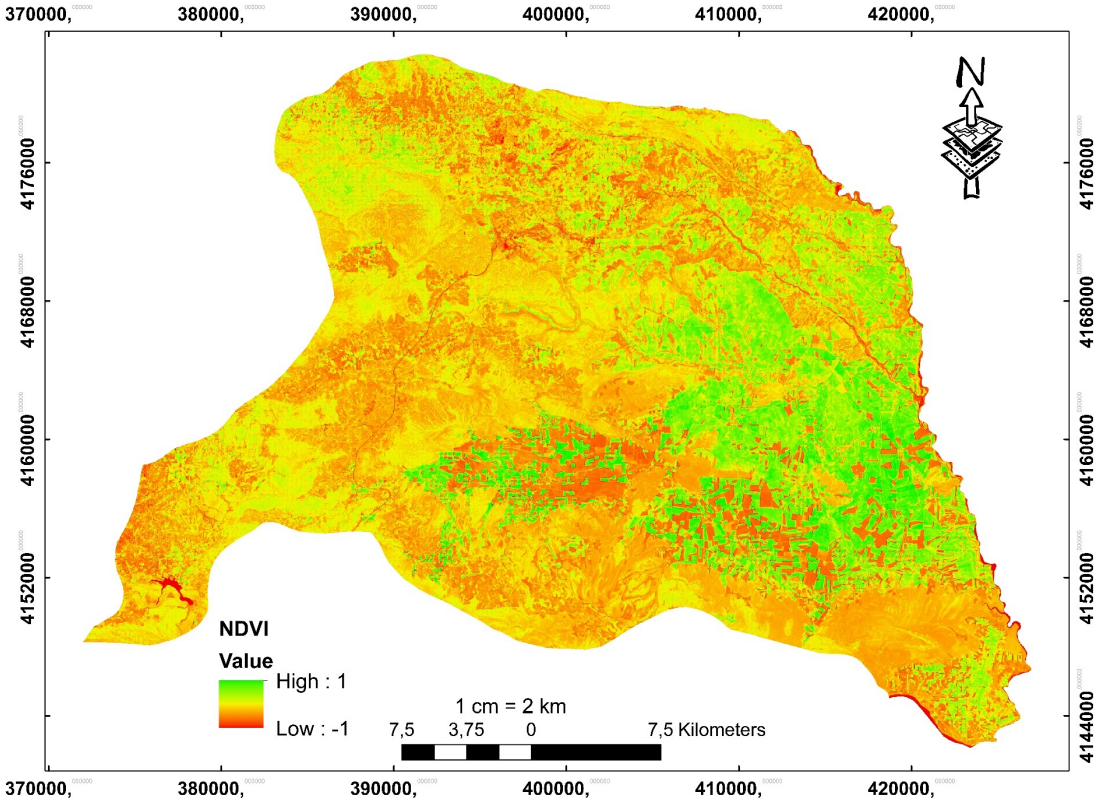


(c) (d)

(e) (f)

Şekil 4.1. Coğrafi nesne tabanlı görüntü analizi için sayısal yükseklik modelinden elde edilen koşul faktörleri

Sentinel 2A MSI optik uydu görüntüsünün yakın kızıl ötesi ve kırmızı bantları ile hesaplanan NDVI haritası sonucu Şekil 4.2.'de görülmektedir. Araştırma alanında, NDVI değeri en az -1, en fazla 1 değerini almıştır. Çalışma alanının kuzeyinde yer yer doğal düşük yoğunluklu çam ormanlarının NDVI değerleri çıplak arazilere göre yüksek değerler almıştır. Öte yandan, orta kesimlerde doğal bitki örtüsü ve ekili alanların yeşil aksamı yüksek NDVI değerlerinin baskın olmasına neden olmuştur. Su alanları, yollar, yerleşim yerleri en az NDVI değerine sahip iken arazi genelinde baskın olarak bitki örtüsü yoğunluğuna bağlı olarak NDVI değerleri 0'a yakınsamıştır (Şekil 4.2.).



Şekil 4.2. Coğrafi nesne tabanlı görüntü analizi koşul faktörlerinden NDVI haritası

4.1.2. Çok çözünürlüklü görüntü segmentasyonu

Yarı otomatik nesne tabanlı görüntü bölütleme işlemi yaklaşımı ile çok çözünürlüklü segmentasyon işlemi Sentinel 2A optik uydu görüntüleri ve diğer koşul faktörleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Oyuntu nesneleri üretmek için ESP II algoritmasında, üç ölçek seviyesinde çok çözünürlüklü segmentasyon (MRS) yürütülmüştür. Segmentasyon işlemi sırasında şekil indeksi, kompaktlık parametresi değerleri ve bant ağırlıkları Çizelge 4.1.'de verilmiştir.

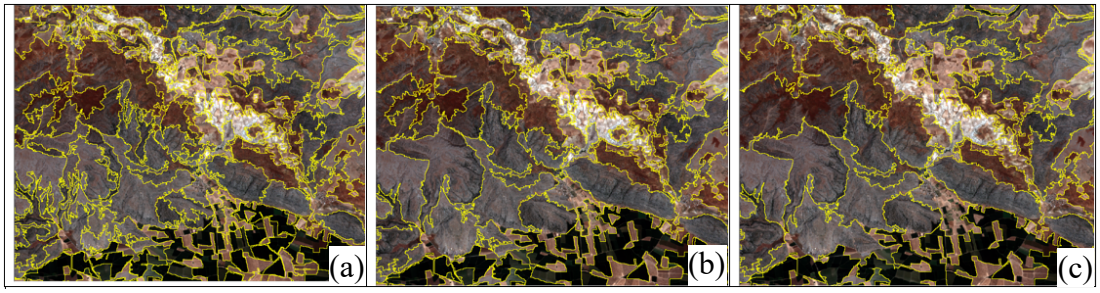
Çizelge 4.1. Çok ölçekli segmentasyon parametreleri

Ölçek	Şekil Parametresi	Kompaktlık Parametresi	Katman Ağırlıkları[2]					OPI	OMI	OFI
			Mavi	Yeşil	Kırmızı	NIR	NDVI			
10[1]	**0.5**	**0.5**						**0.94**	**0.95**	**0.94**
75	0.5	0.5	1	1	1	2	2	0.89	1.20	1.05
200	0.5	0.5						0.70	1.40	1.10

[1]Optimal ölçek parametreleri koyu renkle yazılmıştır.
[2]Diğer koşul faktörleri katman ağırlıkları birbirlerine eşit ve 1 olarak belirlenmiştir.

Şekil, kompaktlık ve katman ağırlığı seçiminde en iyi değerleri belirlemek amacıyla belirlenmiş standart bir yöntem henüz literatürde mevcut değildir; uzman bilgisi ve GEOBIA'da benzer objeler için yapılmış önceki çalışmalardan faydalanılarak seçim yapmak mümkündür (Aguilar ve ark., 2013; Labib ve Harris, 2018). Oyuntu erozyonunda keskin bir desen ve geometrik varlık olmadığı için, hem şekle hem de kompaktlığa eşit ağırlıklar verilmiştir (0.5). Benzer çalışmalar dikkate alınarak, bantların su ve bitki örtüsüne duyarlılığı nedeniyle NIR ve NDVI görüntü katmanlarının ağırlıkları 2 olarak belirlenmiştir (Kaplan ve Avdan, 2017; Lisita ve ark., 2013). OPI ve OMI endeksleri kullanılarak 10, 75 ve 200 ölçekleri için bölütleme sonuçları değerlendirilmiştir (Çizelge 4.1. ve Şekil 4.3.).

Rahmati ve ark. (2017), segmentasyon ölçekleri ve nesnelerin boyutlarının uyumlu olması gerekliliğini belirmiştir ve küçük ölçeklerin aşarı segmentasyona neden olduğunu bildirmiştir. Belirlenmesi amaçlanan nesnenin oyuntu erozyonu olması ve koşul faktörlerinin mekânsal çözünürlükleri istenilen seviyede olmamasına rağmen Çizelge 4.1. ve Şekil 4.3.'e göre güvenilir sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuç ESP II algoritmasının avantajıdır. Çünkü ESP II algorimasında döngüsel bölütleme yapılmıştır, yani ilk gerçekleşen segmentasyonun ardından koşul parametrelerine bağlı olarak parametreler optimize edilerek segmentasyon tekrarlanmıştır (d'Oleire-Oltmanns ve ark., 2014).



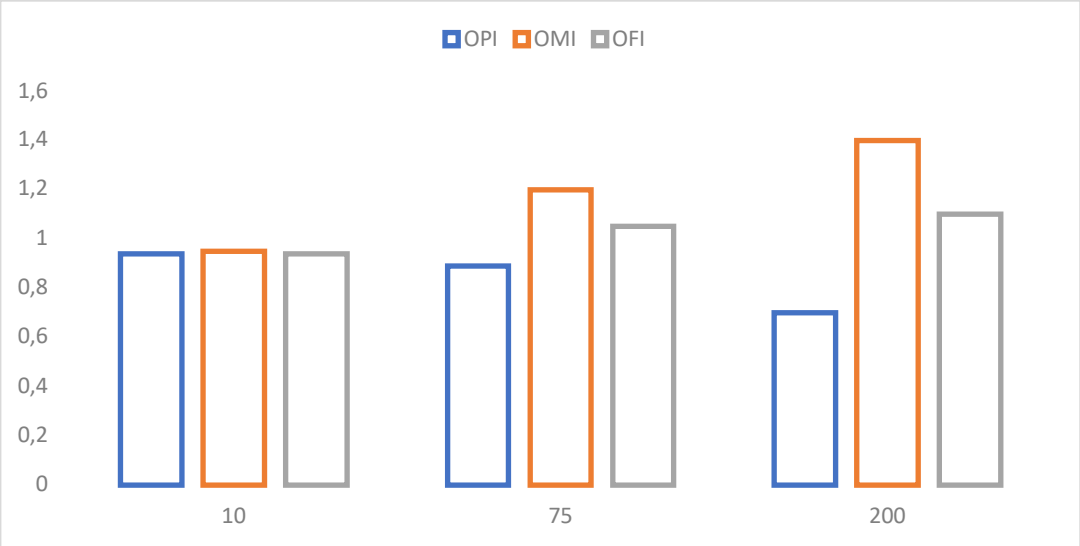
Şekil 4.3. Farklı seviyelerde bölütleme sonuçları: (a) 10 ölçek seviyesinde görüntü bölütlenmesi, (b) 75 ölçek seviyesinde görüntü bölütlenmesi, (c) 200 ölçek seviyesinde görüntü bölütlenmesi

Coğrafi obje tabanlı görüntü analizi, piksel tabanlı sınıflandırma yönteminden farklı olarak sadece piksellerin spektral değerlerini dikkate almaz, çok katmanlı faktörlerin sürece dahil edilmesinden dolayı, geometrik ve dokusal özellikler de değerlendirilmektedir. Nesne tabanlı yöntemlerde, bir görüntü iki boyutludur ve her

nesneden çok çeşitli geometrik, mekânsal ve dokusal özellikler çıkarılabilmektedir. Segmentasyon aşamasında, oyuntu erozyonu bir nesne olarak tanımlanmıştır. Böylelikle, nesnenin spektral özellikleri bakımından homojenliği, koşul faktörlerinin istatistiksel özelliklerine bağlı olarak nesne saflık indeksi (OPI) belirlenmiştir. Nesne bütünlüğünü temsil eden OPI değerinin 1'en fazla yakınsadığı ölçek 10 (0.94)' dur. Bu değer ise koşul faktörleri piksel yansıma değerlerinin standart sapmalarından elde edildiği için nesnelerin spektral olarak homojen ve optimum olarak bölütlenmiş olduğuna işaret etmektedir. Bu durum, hedef nesnenin (oyuntuların) segmentasyonda spektral olarak homojen bir şekilde ayırt edilebildiğini göstermiştir. Segmentasyon ölçeği 75 ve 200'e yükseldiğinde OPI sonuçları 0.89 ve 0.70 olmuştur (Çizelge 4.1.). Bu ölçekler, oyuntu erozyonundan etkilenen alanların ve diğer nesnelerin spektral açıdan yeterince ayırt edilemediği seviyeleri işaret etmektedir. Bu durum optimal seviyenin belirlenmesinin önemini açıklamıştır. Utsumi ve ark. (2020), obje tabanlı sınıflandırma yaklaşımıyla Brezilya'nın Cerrado bölgesinde oyuntu erozyonundan etkilenmiş alanları belirlemeyi amaçlamıştır. RapidEye görüntülerinin 1., 2., 3., 4. ve 5. bant ağırlıklarını sırasıyla 0, 1, 1, 0.8 ve 1 belirlemek suretiyle kompaktlık değerini 0.7 ve optimal ölçeği 15 olarak elde etmişlerdir. Araştırmamızda Sentinel 2A'nın benzer dalga boylarına sahip bantlar kullanılarak kompaktlık 0.5 ve optimal ölçek 10 sonucu elde edilmiştir. Her iki çalışma birbiri ile uyumlu sonuç vermektedir. Tavakkoli ve ark. (2019), Himalayalar'da heyelanları belirlemek amacıyla coğrafi obje tabanlı görüntü analizini PlantScope görüntüsünün mavi, yeşil, kırmızı ve NIR bantlarıyla yürütmüşlerdir. Ancak 248. ölçek seviyesinde en iyi OPI değerine ulaşmışlardır. Tavakkoli ve ark. (2019)'un bu sonuçları; hedef obje farklılığının optimal parametrelere etkisinin iyi bir örneğini teşkil etmektedir. Çünkü araştırmamızda ele aldığımız oyuntu erozyonu karakteristikleri heyelanlardan oldukça farklıdır.

Obje eşleşme indeksi (OMI); referans ve segmentasyon sonucu elde edilen nesnelerin uyumunu göstermektedir. Bu bağlamda, bölütleme sonuçlarını değerlendirmek için, hem arazi çalışmalarında hem de Google Earth görüntülerinde oyuntu erozyonundan etkilendiği bilinen noktalar referans nesne olarak seçilmiştir. OMI değerinin 1'den büyük olması eksik segmentasyon yapıldığına ve 1'den küçük olması aşırı segmentasyona işaret ettiği için 1'e en yakın değer olan 10 seviyesi (0.95)

uygun olarak seçilmiştir. Bu sonuç, Granholm ve ark. (2015)'un belirtmiş oldukları referans poligonlara uyacak optimal ölçek parametresini manuel ve görsel olarak seçme zorluğunun üstesinden geldiğimizi göstermektedir. Yani ESP II algoritması, giriş verilerine ve başlangıç parametrelerine dayalı olarak yarı otomatik bölütlemeyi başarı ile sonuçlandırmıştır. Nitekim, Baltsavias ve ark. (2008), uydu görüntülerinden coğrafi nesnelerin otomatik olarak elde edilme başarısını, kullanılan yazılıma, görüntü çözünürlüğüne ve spektral kalitesine dayandırmıştır. Bu bağlamda, oyuntu erozyonu oluşumu ve gelişimi üzerinde etkili olan çeşitli koşul faktörleri yardımcı değişkenler olarak kullanmış olmamız, segmentasyon sonuçlarının referans poligonlarla eşleşme başarısını artırmıştır. Bunların yanı sıra, 10 ölçeğinde OFI, OPI ve OMI değerlerinin birbirlerine yakınsaması görülmüştür. Bu endekslerin genellikle birbirlerine en yakın olduğu noktada uygun ölçek seçimi yapılmaktadır (Çizelge 4.1. ve Şekil 4.4.) (Tavakkoli ve ark., 2019).



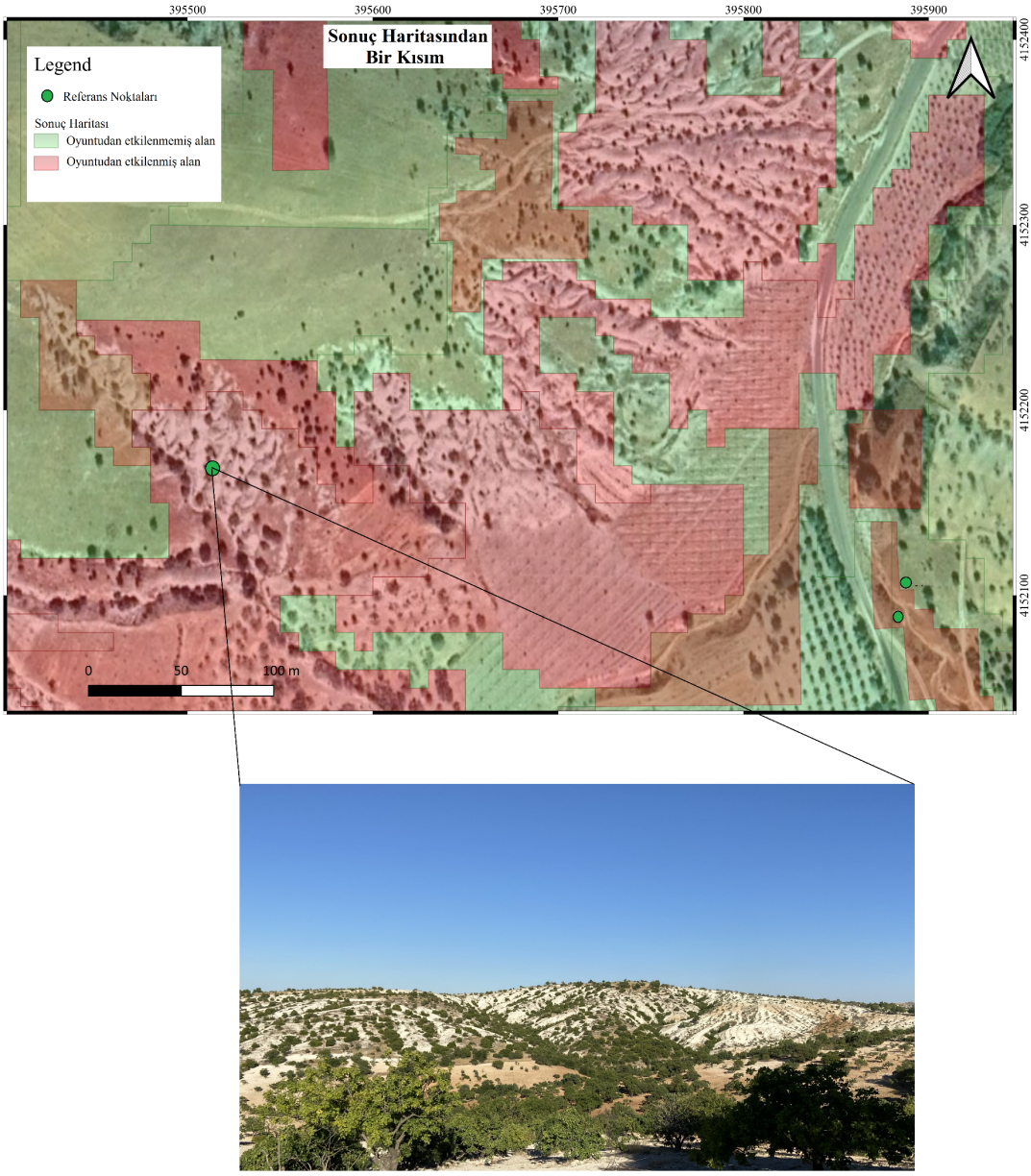
Şekil 4.4. Farklı segmentasyon ölçeklerinde OPI, OMI ve OFI endekslerinin değişimi. 10 ölçeğinde, tüm sütunlar birbirlerine çok yakın olduğu için görüntü segmentasyonunda en iyi ölçek değeri seçilmiştir

4.1.2.1. Rassal ağaçlar denetimli makine öğrenmesi sınıflandırma sonuçları ve doğruluk değerlendirmesi

Çok çözünürlüklü segmentasyon sonucu elde ettiğimiz sonuçlar RF denetimli makine öğrenmesi modeli ile sınıflandırmaya tabi tutulmuştur. Arazi çalışması ve

Google Earth'dan elde ettiğimiz oyuntu envanter poligonları dikkate alınarak yaptığımız eğitim ve doğrulama sonuçlarının bir örneğinin mekânsal kapsamlı haritası Şekil 4.5.'de verilmiştir.

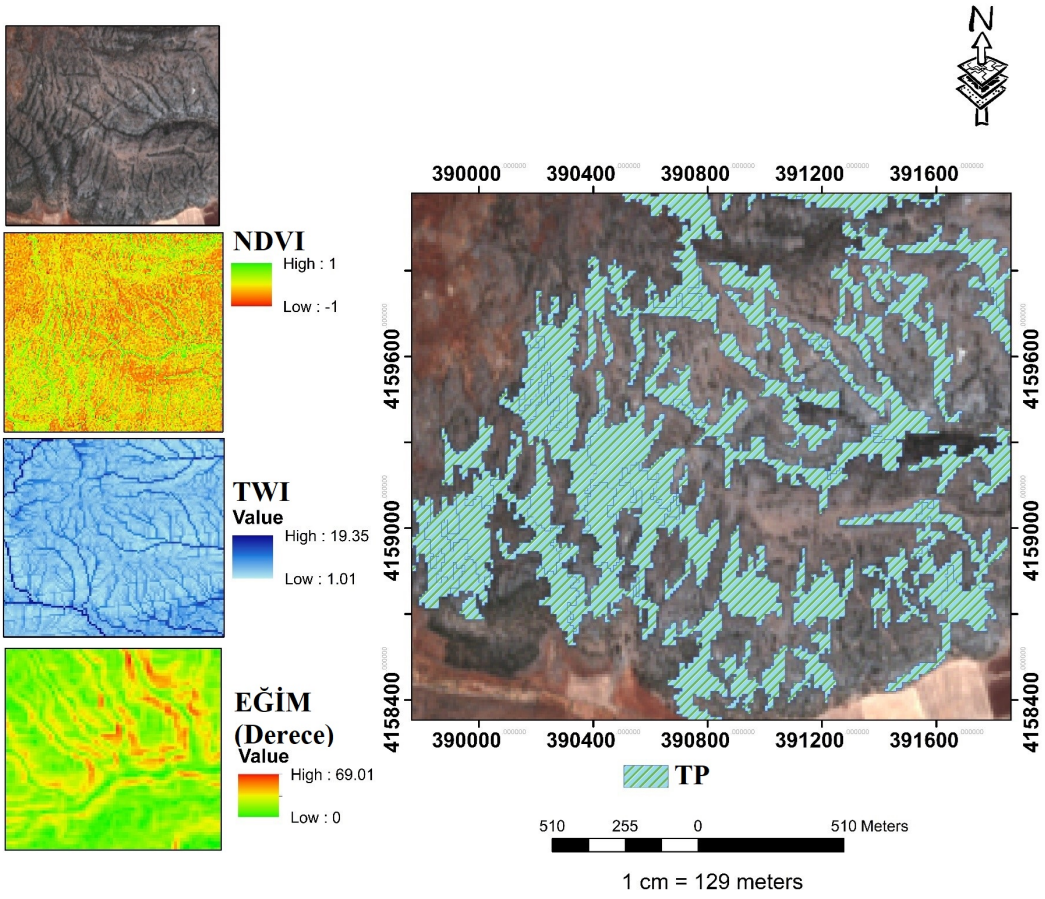
Sonuçlarımız, Sentinel 2A görüntüsünün sağladığı spektral bilginin yanı sıra ek olarak kullanmış olduğumuz yardımcı bilgiler sayesinde; daha hassas mekânsal çözünürlüğe sahip görüntüler kullanmış olan RF denetimli sınıflandırma algoritması yaklaşımını benimsemiş Phinzi ve ark. (2020)'a uyumlu olarak oyuntudan etkilenmiş alanları sınıflandırmaya etkili bir şekilde yardımcı olmuştur.



Şekil 4.5. Rassal ağaçlar denetimli makine öğrenme model sonuç haritasından bir kesit ve eğitim veri kümesinin alanda nokta olarak işaretlenmiş konumları

Yakın-kızılötesi (NIR) bandı ve NDVI kullanılması, oyuntuların bitki örtüsü farkından ve çevredeki diğer arazi örtüsü sınıfından ayırt edilebileceğini kanıtlamıştır (Şekil 4.6.). Çalışmamızda ilgi çeken başka bir nokta eğim faktörünün etkisiyle oyuntuların tabanına taşınan toprakların ve yağışın oluşturduğu toprak neminin neden olduğu bitki örtüsünün oyuntu sırtlarından çok daha fazla olmasıdır. Dolayısıyla bu noktalarda NDVI ve TWI değerlerinin yüksek olması RF eğitim aşamasında dikkatimizi çekmiştir. Eğitim veri setinde bu özellikleri taşıyan oyuntular yer aldığı

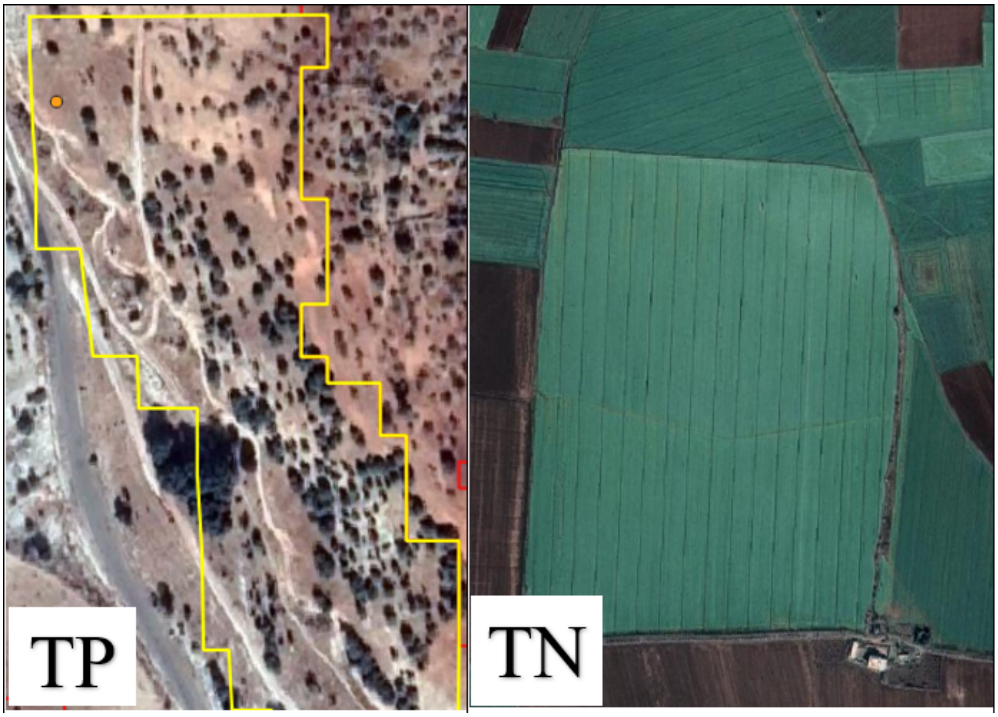
için sınıflandırma tahmin başarısı üzerinde olumlu bir etki görülmüştür. Bu durum, çalışma sahamızda V şekilli profile sahip derin kesikli üç boyutlu erozyon formunda oyuntuların da görülmesinden kaynaklıdır (Poesen ve ark., 2003). Bu sonuç Giménez ve ark. (2009)'ında işaret ettiği "bitki örtüsü bir oyuğun hem içinde hem de çevresinde büyüyebilir ve oyuntular spektral olarak kestikleri yüzeylerden farklı olmayabilir" olgusuna karşı bir çözüm olmuştur. Ayrıca, güneş açısına bağlı olarak oyuntu duvarlarının gölgesi ile yüzey arasında spektral kontrast oluşturabilmektedir. Bu noktada çalışmamızda koşul faktörü olarak kullandığımız eğim ve TWI'nin faydalı olduğu sonucuna varılabilir. Bu yüzden sunulan çalışmada eğitim aşamasında oyuntu tespiti için eğim minimum olarak 8° derece belirlenmiştir. Shruthi ve ark. (2011), Fas'da eğimi 3°'den az olan alanların oyuntu başlangıcı için yetersiz olduğunu varsaymıştır. Buna karşılık, Eustace ve ark. (2009), GEOBIA'yı kullanarak Avusturalya'nın doğu kıyılarında oyuntu tespiti için minimum 15° eğim eşiğini belirlemiştir. Bu eşik değeri, her bölgenin jeomorfolojisinin yanı sıra iklim ve insan faaliyetleri gibi çeşitli faktörlerden etkilenmektedir. Nitekim Imwangana ve ark. (2015), Kongo Kinsasa'da büyük oyuntuların en dik eğim derecelerinde oluştuğunu belirtmesine rağmen; doğrudan veya dolaylı insan faaliyetlerinin oyuntu oluşumunu tetiklediği sonucuna varmıştır. Thorne ve Zevenbergen (1990), TWI'nın oyuntu erozyonu için önemli bir duyarlılık faktörü olduğunu belirtmiş ve oyuntu erozyonu başlangıcı ve gelişimini kontrol etmekte etkili olduğunu bildirmiştir. Eğitim ve test veri setinin yanı sıra sınıflandırma sonuçlarına bakıldığında: her bir poligonda TWI değerleri; 10.8 ile 19.2 arasında değerler aldığı görülmüştür. Conoscenti ve Rotigliano, (2020)'ın orta-batı Sicilya'da bitişik iki tarım havzasında akış gücü indeksi ve topoğrafik ıslaklık indeksi gibi ortak değişkenlerle MARS (çok değişkenli uyarlamalı regresyon eğrileri) ile oyuntu erozyonu tahmini için işaret ettikleri topoğrafik ıslaklık indeksi minimum kritik sınır değerleri (9.4) ile uyumlu sonuç vermiştir. Ayrıca, TWI eşik değerleri Daggupati ve ark. (2013)'ın Kansas bölgesinde (12.0-18.2) için belirledikleri değerlere oldukça benzer olmasına karşın genel manada, oyuntu başlangıcı ve gelişiminde etkili olan TWI eşik değerlerinin Thorne ve Zevenbergen (1990)'ın işaret ettiği faktörlerin yanı sıra hesaplamada kullanılan sayısal yükseklik modeline bağlı olduğu düşünülmektedir.

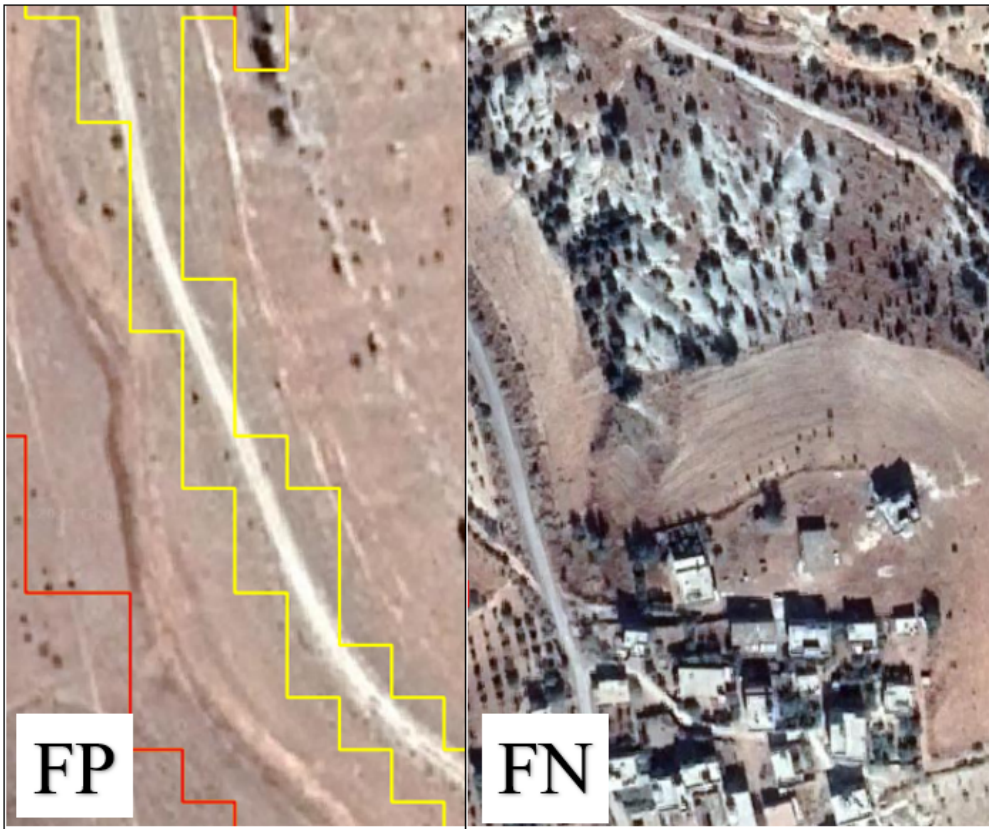


Şekil 4.6. Çalışma alanın bir kesitinde Sentinel 2 Mavi, Kırmızı, Yeşil, NDVI, TWI ve eğim koşul faktörleri ve aynı coğrafi konumda RF sınıflandırma sonuçları

Bazı pilot lokasyonlarda RF denetimli sınıflandırma algoritması ile elde edilen sınıflandırma sonuçları ve doğruluk değerlendirmesi için kullanmış olduğumuz gerçek pozitif (TP), gerçek negatif (TN), hatalı pozitif (FP) ve hatalı negatif (FN) Şekil 4.7.'de görülmektedir. FP ve FN sonuçlarımız değerlendirildiğinde; ilk olarak, daha uzun şekilli (dentirik oyuntuları) yakalamak için uzunluk/genişlik oranı dikkate alınarak kompaktlığın 0.5 olarak belirlenmesiyle büyük ve daha düzenli nesnelerin dışlanması TP oranını artırmıştır (Wu ve ark., 2018). Kompaktlık indeksi üzerine oyuntu formlarının yanı sıra koşul faktörlerinin mekânsal çözünürlüğü de etkili olmuştur. Francipane ve ark. (2020), 1 m çözünürlüğe sahip LIDAR sayısal yükseklik modeli ile elde ettikleri koşul faktörlerini kullanarak oyuntuları 0.2 ile 0.9 arasında kompaktlık faktörü ile belirlemişlerdir ve jeomorfolojinin yanı sıra mekânsal çözünürlüğün bu değerlerde etkili olduğunu belirtmişlerdir. Shahabi ve ark. (2019), Sentinel 2A ve ALOS sayısal yükseklik modeli ile elde ettikleri koşul faktörleri üzerinde GEOBIA

yaklaşımını kullanmışlar kompaktlık indeksini 0.5 olarak belirlemişlerdir. Shahabi ve ark. (2019) ile çalışma alanımızın jeomorfolojisi de oldukça benzer olduğundan dolayı TP ve TN sonuçlarımız benzerlik göstermiştir. Makaya ve ark. (2019)'e göre oyuntu birçok yerde çıplak toprağa göre daha düşük NIR elektro manyetik radyasyonuna sahiptir. Bu durum da TP ve TN oranlarımızda artış sağlamıştır. Yoğun bitki örtüsünü, çukur bölgelerden ayırmak için klorofil absorbsiyonu yoğun olan kırmızı bandın koşul faktörlerimizin arasında olması yanlış pozitif sayısının azalmasında etkili olduğunu düşünülmektedir (Clevers ve Gitelson, 2013). Şekil 4.7.'de görüldüğü üzere; open street map'in yetersiz vektör bilgisi bazı yolları maskesiz bırakmıştır. Bu durum oyuntular ile benzer spektral özelliğe sahip yolların varlığının yanı sıra sayısal yükseklik modelinde eksik piksellerin etkisi ile yanlış pozitif sonuçlarının çıkmasında etkili olmuştur.





Şekil 4.7. Çalışma alanının bir bölümünde Google Earth uydu görüntüsü üzerinden RF modeli tarafından tahmin edilen TP, TN, FP ve FN örnekleri

RF kontrollü makine öğrenme modeli sınıflandırma başarısının belirlenmesinde TP, TN, FP ve FN değerlerine dayalı olarak hassaslık, geri çağırma, F1 skoru ve Kappa indeks hesaplanmıştır. Hassaslık, geri çağırma, F1 Skoru ve Kappa indeksi sırasıyla 0.90, 0.95, 0.92 ve 0.88'dir. Shahabi ve ark. (2019), coğrafi nesne tabanlı sınıflandırma sonuçları: hassaslık 0.81, geri çağırma 0.90 ve F1 Skoru 0.85 olarak sonuçlanmıştır. Shahabi ve ark. (2019), çalışma alanımıza oldukça benzer alanda ve RF model kullandıkları sonuçlarına bakıldığında, bu tez çalışmasıyla uyumlu sonuç elde ettikleri görülmektedir. Shruthi ve ark. (2014), multispektral ASTER ile birlikte stereo-pair görüntüleri kullanmışlardır. ESP I algoritması ile optimum ölçek elde ettikleri ve sınıflandırma modeli olarak RF yaklaşımını benimsemişlerdir. Bu çalışmanın doğruluk değerlendirmesini 81% olarak bildirmişlerdir. Sonuç olarak, RF denetimli makine öğrenmesi doğruluk değerlendirmesi sonuçlarımız literatür ile uyumludur. Ayrıca, çok çözünürlüklü segmentasyon aşamasından itibaren ölçek parametrelerinin OPI, OFI ve OMI değerleri dikkate alınarak optimum olarak belirlenmesi; TP, TN, FP

ve FN parametrelinin başarısını artırmıştır ve hata metriklerine dayalı doğruluk değerlendirmesi literatür ile uyumlu olarak sonuç vermiştir.

Çizelge 4.2. RF denetimli makine öğrenmesi hata metrikleri

Hassaslık (Precision)	Geri Çağırma (Recall)	F1-Skoru	Kappa indeks
0.90	0.95	0.92	0.88

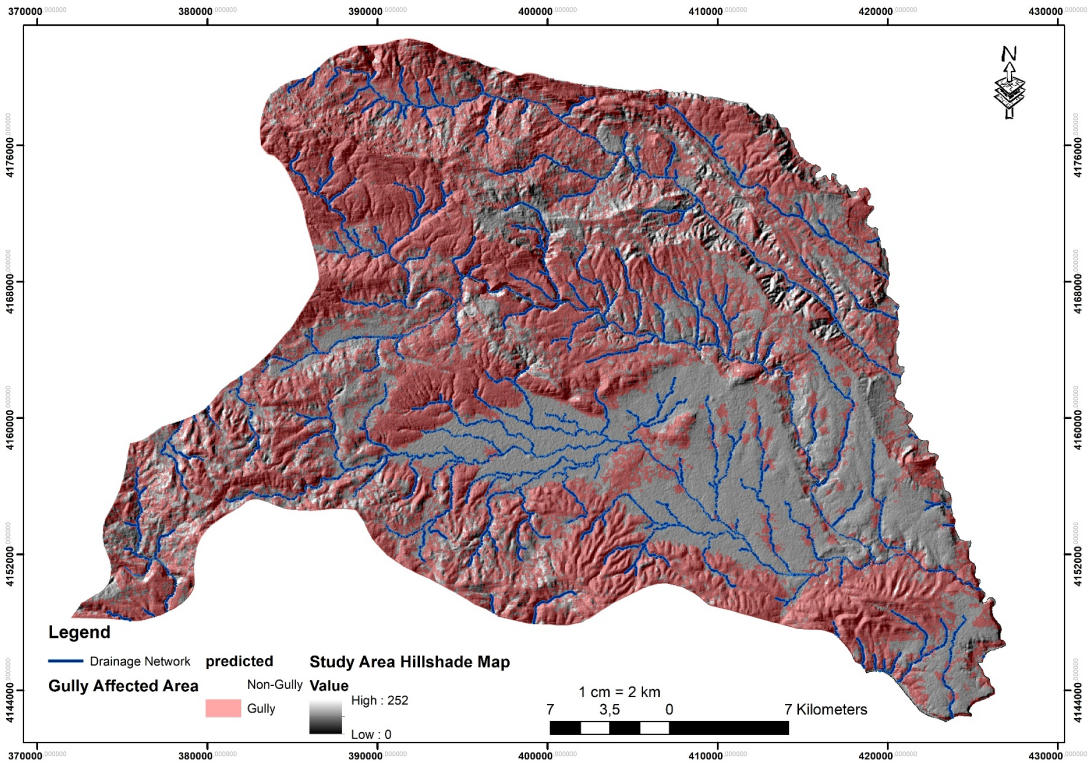
Drenaj yoğunluğu ve arazi eğimi yüzeysel akış üzerinde oldukça etkilidir. Yüzeysel akış ise oyuntu erozyonu başlangıcı ve gelişiminde kilit rol oynamaktadır (Shruthi ve ark., 2015). Drenaj yoğunluğunun fazla olduğu ve arazi yüzeyinin engebeli olduğu koşullarda, oyuntu erozyonu yoğunluğu artmaktadır (Zabihi ve ark., 2018). Oyuntu erozyonu yoğunluk artışını; Li ve ark. (2021)'ı yıllar içinde tarımsal faaliyetlerin artmasıyla beraber drenaj yoğunluğunun da olumsuz etkisiyle ilişkilendirmiştir. Bu olgunun altında yatan neden Mulligan (2004)'a göre eğimin etkisiyle beraber suyun kinetik enerjisinin artması, akış yönünde türbülans oluşturup dalgalar halinde aşındırıcı etki göstermesidir. Yukarıda değinilen etkenler çalışma alanında yaygın olarak görülmektedir (Şekil 4.8). Öte yandan, konvansiyonel tarımsal uygulamalar yoğun olarak tarla bitkilerinin yetiştirildiği alüvyal topraklarda yapılmaktadır. Bu arazilerde oyuntu yoğunluğu oldukça düşüktür. Oyuntu erozyonu yoğunluğu, eğimi yüksek engebeli topoğrafyalarda, bozulmuş doğal bitki örtüsünün hakim olduğu meyve bahçelerinde ve bozuk orman meşçerelerinde daha yüksektir. Ek olarak, eğimli arazilerde oyuntu erozyonuna oldukça hassas marnlı kalkerli ana kayanın varlığı oyuntu erozyonu yoğunluğunu artırmaktadır (Felfoul ve ark., 2003). Grimm ve ark. (2001), oyuntu erozyonuna hassas ana materyallerin, uzun ve kurak bir yaz mevsiminin ardından sonbaharda şiddetli yağışların hakim olduğu Akdeniz ikliminin görüldüğü bölgelerin dik yamaçlarında oyuntu erozyon yoğunluğunu artırdığını bildirmişlerdir.

Yüzeysel akış oluşumu ve etkisi üzerinde arazi yüzü şekli ve toprak tekstürü etkileşimi kilit role sahiptir. İnfiltrasyon kapasitesi düşük ve eğimli alanlarda, az yağışta bile yüzeysel akış görülmektedir (Tisdall ve Oades, 1982). Bitki örtüsü, atmosfer ve toprak arasında koruyucu bir tabaka görevi görür. Yapraklar ve gövdeler

gibi yer üstü bileşenleri, düşen yağmur damlalarının, akan suyun bir kısmını yavaşlatır, böylece infiltrasyona imkân verecek şekilde toprağa yönlendirirken; kök sistemini oluşturan yer altı bileşenleri toprağın mekanik mukavemetini sağlar (Morgan, 2009). Koruyucu bir bitki örtüsü veya bitki artıkları olmayan, çıplak toprak, toprak parçacıklarını yerinden çıkaran yağmur damlalarının doğrudan etkisine ve aşındırıcı kuvvetlerine maruz kalır (Ditzler ve Tugel, 2002). Bu etki araştırma alanında yaygın olarak görülmektedir. Bunun başlıca sebepleri, doğal vejetasyonun bozkır ve çalı formasyonlarından meydana gelmesi, orman alanlarının bozuk çam korularından oluşması ve düşük yoğunluklu fundalıkların yamaç arazilerde bulunmasıdır. Bir diğer etki, uzun yıllardır süregelen intensif tarım ve traktörle toprak işleme sonucu toprağın sıkışmasıdır. Sıkışma izlerinde infiltrasyonun düşmesi eğim faktörü ile birleştiğinde hidrolik aşınma maksimum seviyeye çıkmaktadır (Aksakal, 2004). Bu etki ile beraber, Besni gibi kil içeriği yüksek ve organik madde içeriği düşük olan yerlerde yüzey akışının oluşması için gereken yağış miktarı oldukça düşmektedir (Cerdà ve Doerr, 2007).

Araştırma alanında en yaygın çok yıllık arazi kullanım türü (üzüm bağları, fıstık bahçeleri gibi) yüksek eğimli alanlara tahsis edilmiş iken; az eğimli alanlarda tarla bitkileri (buğday ve arpa) yetiştiriciliği yapılmaktadır. Bölgede ormanlık ve makilik alanların başta fıstık olmak üzere çok yıllık bahçe bitkileri arazi kullanım türüne dönüşümü devam etmektedir. Bu gibi yerlerde oyuntu erozyonu yoğunluğu yüksektir. Bunun başlıca nedenleri arasında dik eğim ve eğime dik toprak işleme gelmektedir. Öte yandan, doğal bitki örtüsünün bozulması, alanımızda hakim olan yarı kurak iklim koşullarından dolayı oyuntu erozyonu oluşumunu destekleyen bir diğer etkendir (Valentin ve ark., 2005).

Çalışma alanında; tarım alanları veya diğer arazi kullanım türlerine komşu olan oyuntular, bölünmeye, toprak kaybına neden olduğu için sadece geçimini tarımsal üretimden sağlayanları değil aynı zamanda bölge nüfusunu da etkilemektedir. Bu tez çalışması, bölgesel ölçekte bir oyuntu envanteri sunarak, toprak ekosistem hizmetlerinin daha fazla kaybolmasını önleyecek politikalar ve planlar yapılmasına katkı sağlaması açısından oldukça değerlidir.



Şekil 4.8. Oyuntu erozyonundan etkilenen alanlar ve oyuntu erozyonu yoğunluğu haritası

Bu bölümde tez çalışmasının ilk hedefi olan çalışma alanında arazi bozulma göstergelerinden oyuntu erozyonundan etkilenmiş alanların belirlenmesi gerçekleşmiştir. Bu bölümün sonuçları, araştırma alanında oyuntu erozyonunun büyük bir problem olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum, arazi kullanım türlerinin sürdürülebilirliğini büyük ölçüde tehdit etmektedir. Dolayısıyla, coğrafi nesne tabanlı görüntü analizi çıktıları, sürdürülebilir arazi kullanım modelimiz için önemli bir arazi karakteristiği olma özelliği taşımaktadır.

4.2. Toprak Organik Karbonu Mekânsal Dağılımının Çok Katmanlı Algılayıcı Yapay Sinir Ağı (MLP) İle Modellenmesi

4.2.1. Modelde kullanılan girdi verilerinin tanımlayıcı istatistikleri

Araştırmanın bu bölümünde, TOK mekânsal dağılım modelinde kullanılan ortak değişkenlere ilişkin tanımlayıcı istatistikler üzerinde durulmaktadır. Toprak organik karbon (TOK) içeriğine ait çarpıklık değeri eğitim ve test veri setinde sırasıyla 1.10 ve 1.01 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.3.). Her iki saha için bu değerler ortalamalardan

küçük olduğu için pozitif çarpık dağılıma sahiptir. Bu çarpıklık, TOK içerik değeri oldukça yüksek olan örnekleme noktalarından kaynaklanmaktadır. Bu gözlem değerleri veri setinin ayrılmaz bir parçası olduğu için modele dahil edilmiştir. TOK değerleri eğitim ve test veri seti için sırasıyla %0.66 ile %2.68 ve %0.50 ile %3.42 arasında değişmektedir. Yüksek TOK içeriğine sahip noktalar her iki veri setinde yıllık ortalama yağışın en yüksek olduğu alanlardır. Feng ve ark. (2002) ortalama yağış ve sıcaklık, yükseklik ve evapotranspirasyonun TOK içeriği üzerinde etkilerini araştırmışlardır ve TOK içeriğinin yüksek olduğu alanlarda yağışın ortalamanın üzerinde olduğunu bildirmişlerdir. Ek olarak, TOK içeriği yüksek noktalarda sürekli doğal bitki örtüsü (meşe) bulunmaktadır. Öte yandan, TOK içeriği düşük olan örneklem noktalarda uzun yıllardan beri buğday tarımı yapılmaktadır. Türkiye'nin Akdeniz bölgesinde uzun dönemli geleneksel toprak işleme sistemleri altında organik karbon kayıpları rapor edilmiştir (Çelik ve ark., 2021; Li ve ark., 2007). Benzer şekilde Bruun ve ark. (2015), 20 yıllık yoğun tarımdan sonra smektit tipi kil mineralinin hakim olduğu Vertisoller'deki toplam TOK içeriğinin, toprak işlemesiz doğal bitki örtüsü arazi kullanım türüne kıyasla %40 azaldığını bildirmiştir. Geyikli (2014), Besni ilçesinin de içinde yer aldığı Gaziantep Adıyaman Platosundaki karstik doğal bitki örtüsüne sahip alanların TOK içeriğinin tarım alanlarına göre %44 daha yüksek olduğunu belirtmektedir.

Çizelge 4.3. TOK mekânsal dağılım modelinde kullanılan parametrelere ait ortak değişkenler

Test veri seti (n=40)											
	TOK (%)	Kil (%)	Kum (%)	pH	Kireç (%)	t°C[1]	P.[2] (mm)	CTI	Yük.[3] (m)	NDVI	EVI
Ortalama	1.44	46.82	23.80	7.81	20.17	17.54	52.02	7.91	732.73	0.44	0.31
Ortanca	1.34	47.73	23.01	7.81	16.71	17.36	52.73	6.93	727.00	0.40	0.28
Standart Sapma	0.56	9.64	9.88	0.17	15.89	1.40	3.04	2.77	171.58	0.18	0.14
Çarpıklık	1.10	0.15	0.89	-0.32	0.72	4.00	-0.23	1.36	0.11	0.30	0.56
Basıklık	2.40	-1.05	0.58	0.06	-0.46	21.38	0.22	1.19	-1.10	-0.87	-0.68
Minimum	0.50	30.59	6.51	7.36	1.84	16.20	46.16	4.82	469.00	0.11	0.09
Maksimum	3.42	66.01	50.85	8.10	59.80	25.06	58.54	15.45	1078.00	0.79	0.61
Varyasyon Katsayısı	39.08	20.59	41.52	2.12	78.75	7.96	5.84	35.01	23.42	41.45	44.35

Eğitim veri seti (n=92)											
	TOK (%)	Kil (%)	Kum (%)	pH	Kireç (%)	t°C	P. (mm)	CTI	Yuk. (m)	NDVI	EVI
Ortalama	1.36	45.34	26.68	7.74	19.37	17.54	52.11	7.83	703.02	0.50	0.35

Çizelge 4.3. (Devam)

Ortanca	1.32	44.67	24.73	7.72	12.11	17.70	52.41	6.75	707.50	0.48	0.31
Standart Sapma	0.42	9.22	11.24	0.19	16.36	0.64	2.36	2.91	129.91	0.16	0.14
Çarpıklık	1.01	0.16	0.38	-0.10	0.66	-0.38	-0.14	1.65	-0.03	0.29	0.63
Basıklık	1.57	-0.87	-0.13	-0.30	-0.95	-0.96	1.15	2.03	-1.05	-0.90	-0.47
Minimum	0.66	27.43	4.72	7.29	2.45	16.20	46.16	4.78	438.00	0.21	0.13
Maksimum	2.86	65.15	55.50	8.13	58.72	18.54	58.54	17.86	937.00	0.82	0.67
Varyasyon Katsayısı	31.10	20.33	42.10	2.50	84.49	3.66	4.52	37.20	18.48	32.53	38.96

[1]Yıllık ortalama sıcaklık; [2]Yıllık ortalama yağış; [3]Deniz seviyesinden yükselti

4.2.2. Çok katmanlı algılayıcı yapay sinir ağı (MLP) mimarisi

Doğrusal modeller, sayısal toprak haritalama çalışmalarında az sayıda standart toprak özellikleri ve çevresel faktörlerle kullanılarak toprak ve çevre değişkenleri arasında ilişkiyi açıklayabiliyorken; üç yada daha fazla faktörle toprak özelliği ve çevresel değişkenler ilişkisi ancak doğrusal olmayan; yapay zekâ modelleri açıklayabilmektedir. Bu olgunun asıl nedeni, toprak ve çevre ilişkisinin doğrusal ve durağan olmamasıdır (Kirkwood ve ark., 2022; Padarian ve ark., 2019; Szatmári ve ark., 2016; Veres ve ark., 2015). Birçok toprak faktörünün yanı sıra çok sayıda çevresel değişken kullanarak tahmin doğruluğunu artırmak amacıyla Şekil 3.6'daki mimariye sahip MLP ağı oluşturulmuş, gözlem verilerinin %70'i ile ağ eğitilmiş ve %30'u ile ağın başarısı test edilmiştir. Geliştirilen MLP ağı formülü Denklem 4.1'de verilmiştir.

$$Tahmini\ TOK\ \text{İçeriği} = \sum_{k=1}^{K}(([\frac{2}{1+\exp\left(-2(\sum_{i=1}^{K}\sum_{j=1}^{L}(\omega_i(i,j)\mathrm{X}\ input_i(j))+v_j(i))\right)} - 1])\mathrm{X}\ b_h(j)) + b_{O_1} \quad (4.1)$$

Yukarıda MLP ile geliştirilen model denkleminde; ω girdiler ile gizli tabaka arasındaki bağlantıların ağırlıklarını, *input* model girdi verilerini, *v* gizli tabaka birimi ile çıktı tabakası arasındaki ağırlıkları, b_h gizli tabaka nöronları için yan değeri (Çizelge 4.4) ve b_{OI} çıktı tabakası için yan değeri (1,895916993) temsil etmektedir. Geliştirilen MLP modeli, benzer özelliklere sahip farklı alanlarda sadece girdi verilerini bilerek TOK içeriğini tahmin etmek için pratik olacaktır.

Çizelge 4.4. Girdi katmanı ile gizli katman ve gizli katman ile çıktı katmanı arasındaki ağırlık ve bias değerleri.

		IW											Gizli Katman
	Nöron Sayısı	Kil	Kum	pH	Kireç	Sıcaklık	Yağış	CTI	Yükseklik	NDVI	EVI	Bias	tabaka ağırlıkları
Gizli tabaka girdileri	1	0.241	0.018	19.404	0.631	-5.517	-2.154	2.774	0.063	10.218	15.217	-5.272	-0.571
	2	-0.525	-0.080	-3.420	0.316	1.403	-0.312	0.394	0.034	6.428	-13.034	-1.490	-0.870
	3	0.320	0.495	14.413	0.000	0.407	-1.902	0.074	-0.036	2.338	9.466	-21.002	1.113
	4	1.764	1.785	-1.559	-0.417	-3.141	3.580	2.265	-0.301	-5.116	0.310	21.625	-0.688
	5	-0.805	-1.579	-0.054	-0.362	0.189	0.792	0.900	0.092	1.927	1.708	3.019	0.790
	6	-0.014	0.020	0.846	-0.011	-0.535	-0.033	-0.036	0.000	3.990	-0.286	6.619	-0.181
	7	0.283	0.190	1.095	0.070	0.905	0.051	-0.373	0.004	-13.875	9.429	-47.684	-0.810
	8	0.227	-0.298	-2.627	0.188	0.713	-0.342	0.694	-0.001	-2.363	-1.460	10.606	0.933
	9	1.997	-0.404	0.771	1.000	-2.505	1.807	1.091	-0.283	0.888	-3.802	-10.257	0.882
	10	0.025	-0.053	-0.530	0.060	0.316	-0.197	0.072	0.022	8.687	-2.382	-14.403	1.171
	11	-0.024	0.087	-1.613	-0.104	-0.520	0.206	-0.333	-0.007	-12.940	12.850	24.875	1.573
	12	-0.404	-1.143	-6.161	-0.671	2.706	2.087	-2.373	-0.139	-2.558	20.348	23.717	-0.635
	13	0.625	-0.169	1.259	-0.811	1.431	0.057	0.505	-0.067	-3.563	-2.057	-2.916	-1.212
	14	-1.626	0.282	-0.157	0.808	-0.920	0.687	1.350	-0.019	-2.595	-1.484	-5.859	1.167

4.2.3. Toprak organik karbon içeriği mekânsal tahmini

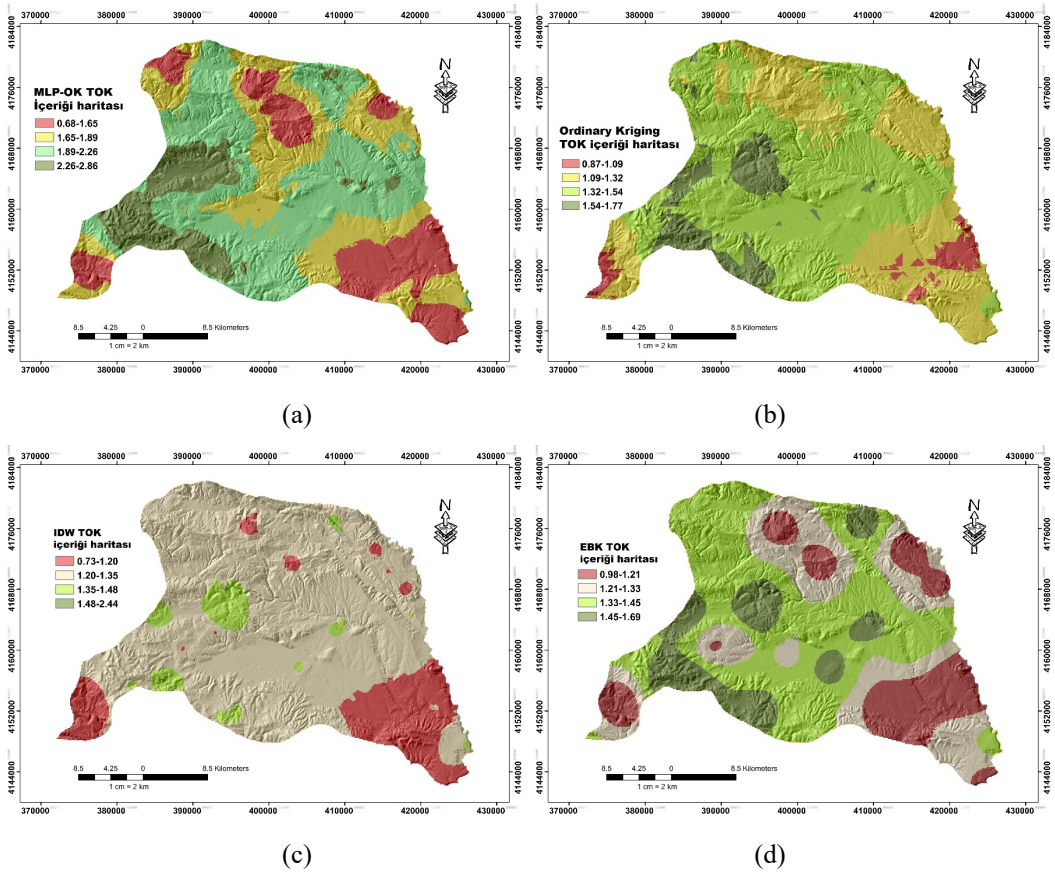
Çalışma alanı için MLP ağı başlangıçta kurulduktan sonra; nihai TOK içeriği, ağın tahmin değerleri ve ordinary kriging ile tahmin edilen artık değerlerin toplamı olarak belirlenmiştir (Sergeev ve ark., 2019). Eğitim noktaları için artık değerleri Denklem 3.11'e göre belirlenmiştir. Kolmogorov-Smirnov (K-S) testi sonucunda, eğitim veri setinin normal dağılıma uygun olduğu sonucuna varılmıştır ($p>0,05$). Ancak, MLP artıkları normal dağılıma uygun olmadığından kare dönüşümü yapılmıştır (Kalaycı, 2018). Artıklar, ordinary kriging enterpolasyonu için semivariogram hesaplamada kullanılmıştır. Semivariogram parametreleri ağırlıkları en küçük kareler yöntemi ile tahmin edilmiştir (Webster ve Oliver, 2007). En uygun modelin parametreleri Çizelge 4.5.'de gösterilmiştir. Nugget/Sill oranı, TOK içeriğinin farklı uzamsal bağımlılığı Cambardella ve ark. (1994)'e göre: nugget/sill oranı ≤ %25 ise, TOK uzamsal olarak güçlü bir şekilde bağımlı olduğu; %25-%75 arasında ise, TOK orta düzeyde uzamsal bağımlı ve > %75 ise, TOK uzamsal olarak zayıf derecede bağımlı olduğu kabul edilmektedir. Bu çalışmada, nugget/sill oranı, eğitim noktalarında artık değerleri neredeyse kuvvetli şekilde uzamsal bağımlılık göstermektedir (Çizelge 4.5.). Ölçülen gerçek TOK değerlerinde uzamsal bağımlılık orta düzeydeyken, TOK artıklarında uzamsal bağımlılık artmıştır. Bu durum artık değerlerin mekânsal özelliğini koruduğunu göstermektedir. TOK üzerinde etkili olan çok kompleks çevresel faktörlerin etkisi MLP ile giderildiğinde ve sadece uzamsal etki söz konusu olduğunda sunduğumuz metodolojinin başarısının literatüre uygun olduğu görülmektedir (Dai ve ark., 2014; Song ve ark., 2017).

Bunun yanı sıra, Abuduwaili ve ark. (2012) Manas havzasında yaptıkları çalışmada; toprak organik maddesi için exponantial model kullanarak uzamsal bağımlılığı, 0-30 cm toprak derinliği için %68 bulmuşlardır. McGrath ve Zhang (2003), TOK konsantrasyonunun uzamsal bağımlılığını %55 bulmuşlardır. Bu çalışmaların işaret ettiği üzere, özellikle toprağın kimyasal ve biyolojik özellikleri oldukça dinamik yapıda olduklarından kuvvetli ve orta uzamsal bağımlılık kabul edilebilir olmaktadır.

Çizelge 4.5. Eğitim alanlarında toprak organik karbon (TOK) içeriği ve artık ordinary kriging interpolasyonu için semivariogram model parametreleri

Variogram	Model	Range (km)	Nugget	Sill	Nugget/Sill (%)	Ortalama karekök hata
TOK	Gaussian	3.338	0.085	0.290	29.13	0.465
TOK artıkları	Üssel	1.999	0.261	0.986	26.40	0.360

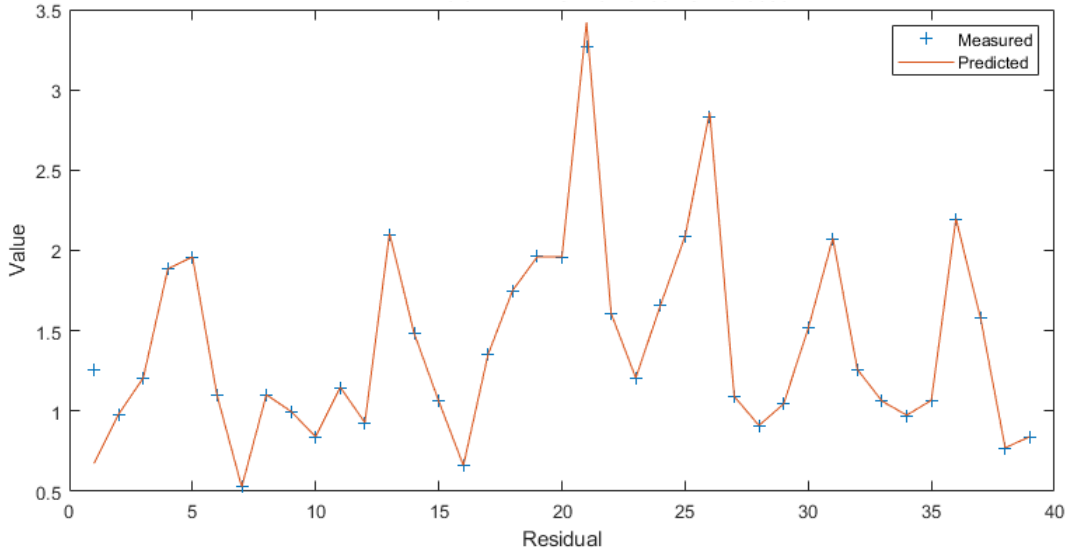
Bu çalışmada kullanılan enterpolasyon yöntemleriyle üretilen tahmini TOK içeriği haritalarında Şekil 4.9.'da görülmektedir. TOK içeriğinin çalışma alanında uzamsal varyasyona sahip olduğu görülmüştür. Özellikle, MLP-ordinary kriging tarafından üretilen TOK içeriği haritası, yardımcı değişkenlerden önemli ölçüde etkilenmiştir (Şekil 4.9a). Çalışma alanındaki TOK değişkenliğinin yüksek olmasının nedenleri; toprak işleme teknikleri, bitkisel üretim deseni, gübreleme ve sulama gibi tarımsal uygulamaların yanı sıra yağış miktarındaki varyasyondur (Budak ve Gunal, 2018). Özellikle çalışma alanının ortasında, V şeklinde TOK içeriğinin yüksek olduğu kuşakta ordinary kriging (Şekil 4.6b.), IDW (Şekil 4.9c) ve EBK (Şekil 4.9d) yöntemlerine göre MLP-OK (Şekil 4.9a) daha fazla hassas tahminlerde bulunmuştur ve daha fazla ayrıntı ortaya çıkarmıştır. MLP-OK haritasına; TOK içeriği bakımından alt değeri en yakın olan IDW yöntemi iken, üst değer bakımından en yakın olan EBK yöntemiyle yapılan haritadır. Ancak, bu yöntemlerle üretilen haritalarda sadece mesafeye bağlı değişim göz önüne alınmıştır. Oysa ki, MLP-OK yönteminde 10 farklı ortak değişken modele dahil edildiği için minimum ve maksimum değer aralıkları gözlem değerlerine oldukça yakındır. Tüm modellerde düşük çıkan Güney-Doğu kesiminde, arazi çalışmalarından da teyit edildiği üzere, uzun süredir yoğun toprak işleme yapılmaktadır. Dolayısıyla bu bölgede mineralizasyon hızı artmaktadır ve toprak organik karbonunun hızlı azalmış olması bulgulara da yansımaktadır (Entry ve ark., 2004; West ve Post, 2002).



Şekil 4.9. Farklı enterpolasyon yöntemleri kullanılarak elde edilen TOK içerik haritaları

4.2.4. Enterpolasyon yöntemlerinin doğruluğunun değerlendirilmesi

Çok katmanlı algılayıcılı sinir ağı ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) değeri %1.45 bulunmuştur. Aktivasyon fonksiyonu seçimi, gizli tabaka ve gizli düğüm sayısı gibi model mimari parametrelerinin optimum olarak belirlenmesinde test veri seti kullanılmıştır. Kalibrasyon aşamasında literatürden elde edilen bilgiler ve deneme yanılma yöntemiyle hata kareler ortalaması (MSE) (0.363) ve hata kareler ortalamasının karekökü (RMSE) (0.181) değerleri en uygun olduğunda modelin nihai yapısına karar verilmiştir ve Şekil 4.10.'da ölçülen ve MLP'nin tahmin ettiği değerlerin grafiği verilmiştir (Cheshmberah ve ark., 2020; Küçüktopcu ve Cemek, 2020; Zhao ve ark., 2010).



Şekil 4.10. Test veri seti gözlem ve tahmin değerleri

Çok katmanlı algılayıcılı sinir ağı ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) değeri 1.45% bulunmuştur. MAPE, model başarısını değerlendirmek için etkin bir parametre olarak birçok çalışmada kullanılmıştır (Al-Hamadi ve Soliman, 2004; Huang ve Shih, 2003). Ortalama mutlak hata (MAE), hatanın göreceli boyutunu her zaman açık şekilde göstermeyebilir. Bu yüzden, bazen büyük bir hatayı küçük bir hatadan ayırt etmek zordur. Bu problemle başa çıkmak için ortalama mutlak hatayı yüzde cinsinden bulabiliriz (Watson, 2012). MAPE değeri %10'dan küçük ise model yüksek doğruluğa sahip (çok iyi tahmin edici), değer %10 ile %20 aralığında ise orta derecede doğruluğa sahip (iyi tahmin edici), %20 ile %50 aralığında ise düşük derecede doğruluğa sahip ancak kabul edilebilir, %50'nin üzerinde ise tahmin değeri yok (kötü tahmin edici) olarak sıralanabilir (Lewis, 1982).

TOK mekânsal tahmin modellerinin öngörü doğruluğunun ölçümünde kullanılan istatistiksel hata ölçütleri Çizelge 4.6'da verilmiştir. Tahminlerin ortalama yanlılığını ifade eden ortalama hata (ME); tüm yöntemler için ortalama olarak öngörü değerlerinin gözlem değerlerden ne kadar saptığını göstermektedir. Ordinary kriginde görülen (-0.054) eksik tahmin MLP-Ordinary kriginde (-0.035) olarak azalmıştır. Tahmin ve gerçek değer arasındaki farkın mutlak değerini ifade eden MAE, modelin gerçek değerden ortalama ne kadar büyük bir hata ile tahminde bulunduğunu ifade etmektedir. MLP-OK modeli, ölçülen TOK içeriği ortalamasından 0.138 ile en düşük

miktarda fark bulmuştur. Ortalama ve varyanstaki yanlılığın ortak bir ölçüsü olarak hata kareler ortalamasının karekökü (RMSE) (Chicco ve ark., 2021), tüm yöntemlerde MAE değerlerinden büyüktür. Bu durum uzamsal değişkenlikte hataların etkisi olduğu anlamına gelmektedir (Goodchild ve ark., 1999; Liu ve ark., 2015). Diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında çok daha düşük RMSE (0.175) ile MLP-Ordinary Kriging'in daha az hata ürettiği görülmektedir. Bouasria ve ark. (2022), çoklu doğrusal regresyon ve çok katman algılayıcı yapay sinir ağları modelleri ile TOK içeriğini mekânsal olarak tahmin etmeye çalışmışlardır. Çoklu doğrusal regresyon modelinde RMSE değerini 0.22 olarak bildirmişlerdir. Ancak MLP'nin esnek yapısından faydalanarak nöron sayısını optimal olarak belirleyerek MLP (7-4-1), MLP (7-6-1) modellerinde sırasıyla 0.20 ve 0.18 değerlerini bildirmişlerdir. Bu araştırmada elde edilen MLP-RMSE değerinin 0.181 olduğu göz önüne alındığında, sonuçların literatür ile uyumlu olduğu görülmektedir.

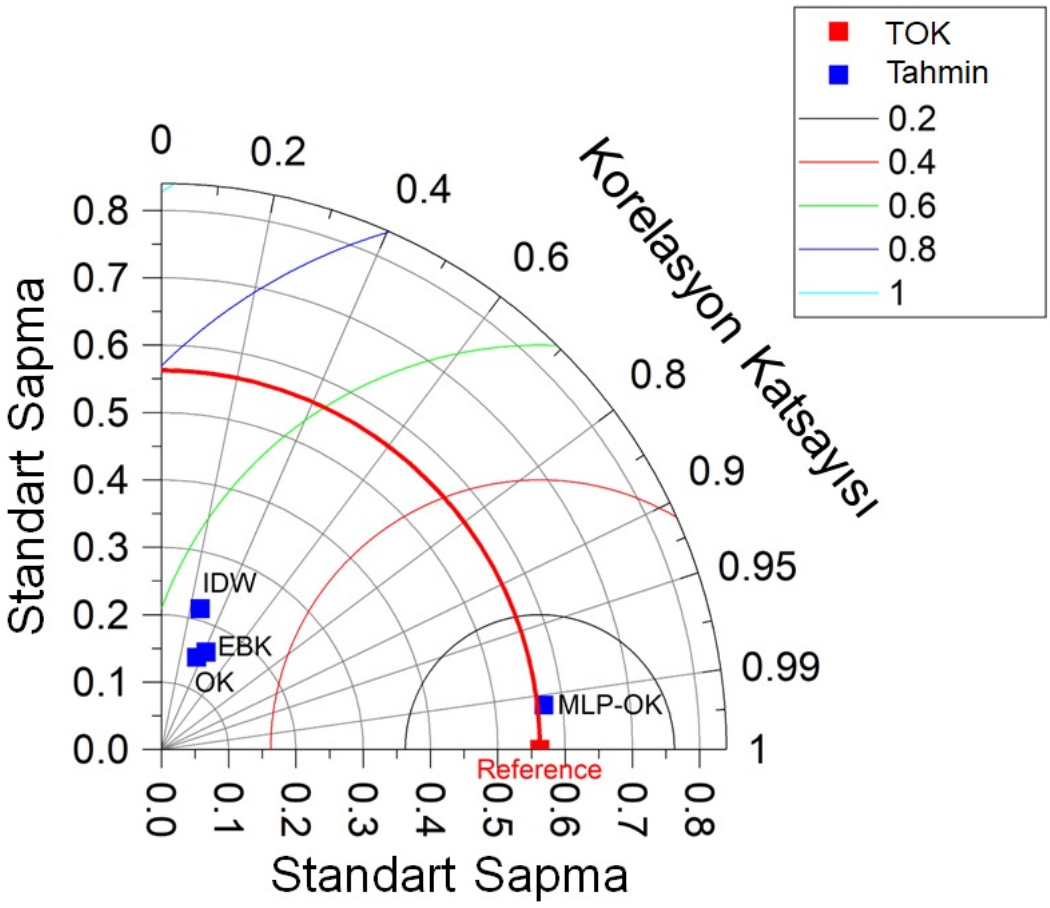
RMSE'deki oransal iyileşmenin göstergesi olan göreceli gelişim (RI), %58 ile %70 arasında değişmektedir. MLP enterpolasyonunun doğruluğu (RMSE 0.181), hibrit modelin etkisi ile bir miktarda iyileşmiştir (%3.3). Dai ve ark. (2014), TOK mekânsal dağılım modelinde ortak değişkenler olarak yükseklik, yıllık ortalama sıcaklık, yıllık ortalama yağış ve NDVI seçmişlerdir. Yapay sinir ağı modeli ve kriging entegrasyonu ile yapay sinir ağı modeline göre %26.94, evrensel kriging'e göre %33.33 ve IDW'e göre %37.10 RMSE-RI bildirmişlerdir. Bu tez çalışmasına benzer olarak bir hibrit modelleme yaklaşımı Liu ve ark. (2021), farklı jeoistatistik yöntemleri ile TOK mekânsal dağılım modeli gerçekleştirmişlerdir. Ordinary kriging'e göre regresyon kriging, geographical detector-based stratified ve geographical detector-based stratified regresyon kriging modellerinin RMSE'lerinde sırasıyla %14.9, %13.7 ve %21.6 nispi gelişim görüldüğünü bildirmişlerdir. Bu tez çalışmasında; örnek sayısı, TOK veri setleri varyasyon katsayısı ve uzamsal bağımlılıkları göz önüne alındığında MLP ve OK entegrasyon sonuçlarının başarılı olduğu görülmektedir. Bunun altında yatan sebepler ortak değişken olarak bazı toprak özelliklerinin seçilmiş olmasıdır. Fernandes ve ark. (2019), pH, Ca, Mg ve potansiyel asitlik toprak özelliklerini ortak değişken olarak kullanmışlardır. Çalışmalarında toprak özelliklerinden yararlanarak kurulan yapay sinir ağı mimarisinin TOK tahmin etmede yüksek doğruluk sunduğunu bildirmişlerdir. Literatüre uyumlu olarak bazı toprak özelliklerini ortak değişken

olarak belirlenmiş olunması, Sentinel 2A optik uydu görüntüsü ve sayısal yükseklik modelinden üretilen CTI, yetersiz mekânsal çözünürlüğü telafi etmiştir. (Schmidhuber, 2015; Tahraoui ve ark., 2022).

Çizelge 4.6. Farklı mekânsal enterpolasyon modellerinin tahmin performansı istatistikleri

	ME	MAE	RMSE	RI (%)
MLP-Ordinary Kriging	-0.035	0.138	0.175	
Ordinary Kriging	-0.054	0.441	0.597	70.69
IDW	-0.107	0.423	0.423	58.63
EBK	-0.078	0.426	0.582	69.93

Taylor diyagramı, gözlemlenen (referans) değerlere karşı model öngörülerinin kalitesini 2 boyutlu uzayda göstermek için kullanışlı bir yöntemdir. Diyagram, üç farklı istatistiksel ölçüt ile model performanslarını değerlendirmektedir (Şekil 4.11.). Bunlar, Pearson korelasyon katsayısı (r), merkezlenmiş hata kareler ortalamasının karekökü (CRMSE) ve standart sapmanın kümülatif frekans diyagramıdır (Küçüktopcu ve Cemek, 2021; Malek, 2020). Test veri seti tahmin koşulları altında, modellere ait CRMSE değerleri MLP-OK için 0.2'ye kadar olan değerleri temsil eden siyah yarım çember içerisinde yer almaktadır. OK, IDW ve EBK modelleri ise 0.6'ya kadar olan değerleri temsil eden yeşil yarım çemberi içerisinde yer almaktadır. Pearson korelasyon katsayıları MLP-OK için 0.95 ile 0.99 sektörü arasındadır. Öte yandan, OK, IDW ve EBK modellerin 0.2 ile 0.4 sektörleri arasındadır. MLP-OK model öngörülerinin standart sapma değerleri referans değerlere oldukça benzerdir. Çünkü referans değer kırmızı çizgisi üzerinde yer almaktadır. OK, IDW ve EBK modellerinin standart sapmaları kırmızı çizginin solunda yer aldıkları için referans değerlerin standart sapma değerlerinden düşüktür. Bu sonuç, OK, IDW ve EBK öngörülerinin varyasyon katsayılarının düşük olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla, referans değerlerinin mekânsal varyasyonunu yeterince temsil etme kabiliyetleri mevcut değildir.



Şekil 4.11. Farklı TOK içeriğinin enterpolasyon modellerinin Taylor diyagramı ile doğruluk değerlendirilmesi

4.3. Sürdürülebilir Tarımsal Arazi Uygunluk Değerlendirme Sistemi

4.3.1. Tanımlayıcı istatistikler

Bu bölümde sürekli bulanık sınıflandırma ile sürdürülebilir tarımsal arazi kullanım türlerini değerlendirmek için kullanılmış olan bazı arazi karakteristiklerine ait tanımlayıcı istatistikler ele alınacaktır. Toprak özelliklerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler Çizelge 4.7.' de verilmiştir. Toprakların kil içeriği %27.4 ile %66.0 arasında değişmekte olup, ortalama %45.4' dür. Silt içeriği ortalama % 28.63' dür. Kum içeriği %4.7 ile %55.5 arasında değişmiştir. Ortalama %25.96 değerini almıştır. pH değerleri 7.29 ile 8.13 arasında değişmekte olup, ortalama pH değeri 7.76'dır. Mevcut su tutma kapasitesi en düşük 40.12 mm/m ile 394 mm/m arasında değişmektedir (Çizelge 4.7.). FAO (1978), tarımsal ürünlerin 75-125 mm aralığında depolanmış toprak nemini kullanabileceği bilgisine dayanarak, en az 100 mm

depolanmış toprak nemi önermiştir. Bu bağlamda, çalışma alanı kimi yerlerinde toprak nemi, büyüme mevsimi periyodu arazi kullanım türleri için kısıt oluşturmaktadır. Bir diğer belirleyici unsur topraktaki kireç içeriğidir. Örnek alınan toprakların kireç içeriği %1.84 ile %63.19 arasında değişmektedir. $CaCO_3$ doygunluğu yüksek topraklar, başta çinko ve demir gibi elementler olmak üzere mikro besin elementleri üzerine beslenme sorunlarına sahiptir. Bu topraklarda karbonat iyonlarının hidrolizi, toprak çözeltisinde OH^- oluşturur ve toprak pH'ını kontrol eder (Forth, 1990; Günal ve ark., 2015). Çalışma alanında yer alan toprakların tuzluluk ve alkalilik sorunu bulunmamaktadır. Katyon değişim kapasitesinin büyük çoğunluğunu Ca^{+}+Mg^{+2} oluşturmakta ve KDK değerleri üst toprakta 7.01 me/100 g ile 63.2 me/100 g arasında değişmektedir.

Çizelge 4.7. Sürdürülebilir arazi kullanım türü değerlendirmesi için kullanılan toprak özellikleri

Arazi Karakteristikleri	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
Kil (%)	27.4	66	45.40	9.46
Silt (%)	9.3	52.3	28.63	7.01
Kum (%)	4.7	55.5	25.96	10.93
Organik Madde (%)	0.81	5.89	2.37	0.85
$CaCO_3$ (%)	1.84	59.8	20.13	14.66
pH	7.29	8.13	7.76	0.19
EC (dS m^{-1})	0.15	1.63	0.53	0.22
Katyon değişim kapasitesi (me/100 g)	7.12	63.19	43.92	10.08
Mevcut su tutma kapasitesi (mm/m)	40.12	394.33	154.08	67.02

4.3.2. Tematik toprak haritaları

Toprak özellikleri için semi-variogram analizi sonuçları Çizelge 4.8.'de verilmiştir. Silt, kum, organik madde ve $CaCO_3$ parametreleri anizotropik semi-variogram göstermiştir. Mekânsal bağımlılık, nugget/sill oranı ile tanımlanmıştır (Mirzaee ve ark., 2016; Zhu ve Lin, 2010). Toprak özellikleri orta derecede uzamsal bağımlılık göstermiştir (0.25-0.75) (Cambardella ve ark., 1994). Ayrıca, anizotropik oran (k), trendi bozulmuş veriler için birden büyük çıkmıştır. Bu oranda, gerçek aks uzunluğuna kıyasla oransal aks uzunluğu önemli bir rol oynamaktadır (Sen, 2016).

Webster, (1985) üst toprakta anisotropi oranlarını (k), kum ve silt için sırasıyla 1.590 ve 1.671 olarak belirlemiştir. Pilevar ve ark. (2020), üst toprakta k değerini pH, EC, CCE ve OC için sırasıyla 1.81, 2.12, 1.82 ve 1.90 olarak bildirmiştir. Literatüre uyumlu olarak; silt, kum, $CaCO_3$ ve organik madde k değerleri, sırasıyla 1.61, 1.59, 1.5 ve 1.84 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.8). Mirzaee ve ark. (2016)'ına göre organik madde anizotropi oranı (k) üzerine yükseklik ve arazi kullanımı etki göstermektedir. Çalışma alanında kuzeybatı-güneydoğu yönünde farklılık gösteren yükseklik ve arazi kullanımından dolayı organik madde k değeri 1.84 bulunmuştur.

Çizelge 4.8. Sürdürülebilir arazi kullanım türleri uygunluğunda kullanılan arazi karakteristiklerine ilişkin mekansansal dağılım modeli optimum parametreleri

Toprak Özelliği	Model	Range (km)		k	Direction (degree)	Nugget	Sill	Nugget/Sill	RMSE
		minor	major						
Kil	Stabil	1.101	3.893	-	-	20.37	51.13	0.39	5.89
Silt	Stabil	0.901	1.451	1.61	76.29	16.43	25.06	0.65	3.98
Kum	Gaussian	3.525	5.605	1.59	60.08	26	85.32	0.31	8.05
pH	Stabil	2.018	1.511	-	-	0.01	0.03	0.33	0.17
EC	Üssel	2.300	1.533	-	-	0.5	1.52	0.33	0.19
$CaCO_3$	Gaussian	3.452	5.190	1.50	138.16	48.59	68.77	0.71	5.43
Organik Madde	K-Bessel	3.891	7.153	1.84	113.02	0.03	0.09	0.33	0.79
Katyon Değişim Kapasitesi	Gaussian	2.159	1.522	-	-	18.65	112.5	0.16	9.68
Mevcut su tutma kapasitesi	Üssel	6.313	4.209	-	-	0.16	0.82	0.20	14.56

4.3.3. Arazi uygunluk değerlendirmesi

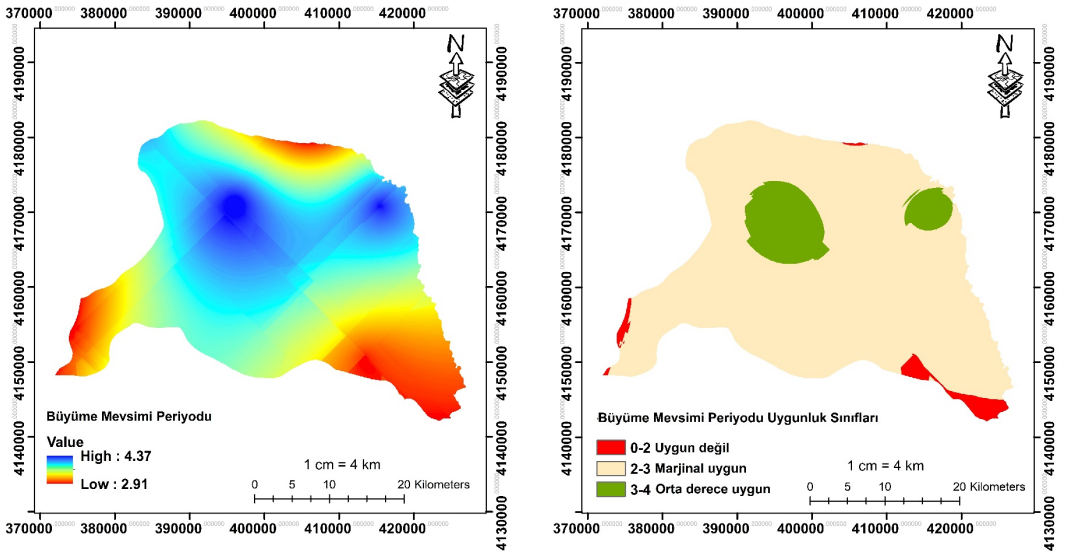
Büyüme mevsiminin uzunluğu, bitki verimliliğinin önemli bir göstergesidir. Daha uzun büyüme mevsimleri, bitki verimliliğini artırabilir ve yetişme ortamında yeni ekim fırsatlarına izin verebilir. Sunulan çalışmada, büyüme mevsimi periyodunda verimi ve dolayısıyla sürdürülebilir arazi kullanım türlerinde belirleyici olan iklimsel parametreler olarak yağış, sıcaklık ve evapotranspirasyon bir arada değerlendirilmiştir. Evapotranspirasyon, bir agroekosistemdeki ana su talebini gösterir (Schaldach ve ark., 2012). Bu nedenle, evapotranspirasyon sürdürülebilir arazi kullanımı mekânsal tahmini ve iklim değişikliğinin bitkisel üretime etkisini anlamada önemli bir rolü vardır. (Pervez ve Henebry, 2015; Thirupathi ve ark., 2015; Worqlul et al., 2019).

Sürdürülebilir arazi uygunluğuna göre sınıflandırılmış büyüme mevsimi periyodu uzunluğu, mekânsal dağılım oranları ve alansal büyüklükleri Çizelge 4.9.'da verilmiştir. Yarı kurak ve kurak iklimin hakim olduğu Besni'de son derece uygun arazi kullanım birimi yoktur. Orta derece uygun, Marjinal uygun ve Uygun olmayan sürdürülebilirlik sınıflarının oransal dağılımı sırasıyla %10.3, %87.46 ve %2.5'dir. Bunun başlıca nedeni, yağışların büyük bir kısmının kış mevsiminde düşmesidir. Bu tipik bir Akdeniz yağış rejimidir (López-Moreno ve ark., 2009). Özellikle yaz mevsimindeki yağış yetersizliği kuraklığa yol açarak tarımda sulamaya duyulan ihtiyacı arttırmaktadır. Materia ve ark. (2022)'e göre vejetasyon periyodunda sıcaklık yeterli olsa dahi aylık ortalama ETP, aylık ortalama yağıştan oldukça yüksektir. Bu durum, toprakta depolanan nem miktarının azalması ve kuru tarımda verim kaybı gerçekleşmesine neden olmaktadır.

Sonuç olarak, alanda büyüme mevsimi periyodunun (LGP) mekânsal dağılımı ve arazi uygunluğu Şekil 4.12.'de verilmiştir. Uzun dönem (20 yıl) büyüme periyodu uzunluğu ortalaması 87.3 gün ile 131.1 gün arasında değişmektedir. Şekil 4.12.'de çalışma alanı kuzey kesimlerinde en uzun LGP görülmektedir. Bunun sebepleri, alanın kuzeyindeki meteoroloji istasyonlarında aylık ortalama yağışın araştırma alanı ortalamasının üzerinde görülmesidir. Bunun tam tersi olarak, ortalama sıcaklık ve güneş radyasyonunun alan ortalamasından düşük olmasının etkisi de göz ardı edilemez. Nitekim, sıcaklık ve güneş radyasyonunun evapotranspirasyon tahmininde en önemli parametreler olduğunu Seif-Ennasr ve ark. (2020) bildirmişlerdir.

Çizelge 4.9. Büyüme mevsimi periyodunun uygunluk kategorilerine göre alanları ve oranları

İklimsel Uygunluk Katmanı	Büyüme Mevsimi Periyod Uzunluğu	
	Alan (ha)	Oran (%)
Son derece uygun	-	-
Orta derece uygun	12215.4	10.03
Marjinal olarak uygun	106483.5	87.46
Uygun değil	3046.4	2.50



Şekil 4.12. Araştırma alanı için büyüme mevsimi periyodunun mekânsal dağılımı ve uygunluk sınıfları

Arazi bozulma duyarlılığı olan sürdürülebilir tarım arazisi uygunluk değerlendirme sisteminin oldukça önemli bir arazi karakteristiği, erozyon katmanıdır (Şekil 4.13.). Bu katmanın önemi; toprak erozyonu çok yönlü bir şekilde değerlendirmeye tabi tutmasıdır. Toprak erozyonu toprak verimliliğini düşürür ve ayrıca bitki örtüsünün kaybolmasına neden olur (Tahat ve ark., 2020). Çok yönlü erozyon değerlendirmenin bir aşaması oyuntu erozyonudur. Çalışma alanında, oyuntu erozyonuna oluşumu ve gelişiminde etkili olan TWI eşik değerleri 10.8 ile 19.2 arasında değişmektedir. Conoscenti ve Rotigliano (2020) bitişik iki tarım havzasında oyuntuların dikey etki alanını belirlemek için işaret ettikleri minimum kritik TWI eşik değeri (9.4)'dür. Ayrıca, TWI eşik değerleri Daggupati ve Douglas-Mankin (2013)'ın Kansas (12.0-18.2) için belirledikleri değerlere oldukça benzerdir. Oyuntu erozyonu duyarlılığında etkili olan TWI'nın, eşik değerleri Thorne ve Zevenbergen (1990)'ın işaret ettiği faktörlerin (toprak ana materyali, toprak yönetimi gibi) yanı sıra kullanılan sayısal yükseklik modeline de bağlı olduğu düşünülmektedir. Oyuntu erozyonu duyarlığını belirlemede dikkate alınan bir diğer faktör arazi eğimidir. Bu değer, Besni'de oyuntu erozyonu oluşumu ve gelişmesinde minimum 8° olarak belirlenmiştir. Çalışma alanı jeomorfolojisinin ve toprak ana materyalinin yanı sıra iklim ve antropojenik etkenler gibi çeşitli faktörler dikkate alındığında bu eşik değerler

literatüre ile uyumludur (Shruthi ve ark., 2011; Eustace ve ark., 2009; Imwangana ve ark., 2015).

RUSLE erozyon modeli sonucu Şekil 4.13'de verilmiştir. Birçok çalışma havzadaki toprak erozyon oranının yağışa duyarlı olduğunu ortaya koymuştur. Bu bağlamda zamansal olarak yağışı değerlendirmek önemli bir husustur. Örneğin, aylık ortalama yağış, sediment oluşumu ve mevsimsel dağılımını ortaya koymaktadır. Ayrıca, toprak erozyonunun yıl içerisindeki seyrinin iyi bir göstergesidir (Dabral ve ark., 2008; Jain ve ark., 2001). Yağış yıl bazında değerlendirildiğinde; hesaplamada kolaylık ve mekânsal tutarlılık gibi önemli avantajlar sağlamaktadır (Shinde ve ark., 2010). Bu nedenle, R faktörü toplam yağışın, toplam yağışlı gün sayısına bölünmesiyle elde edilmiştir. Tahmini R faktörü değeri 553.95 ile 702.46 MJ ha^{-1} mm $saat^{-1}$ $yıl^{-1}$ arasında değişmektedir. Sonuçlardan anlaşılacağı üzere Besni'de yağışların düşük olduğu görülmektedir. Bunun yanı sıra; R faktörü, Kilic ve Gunal (2021)'in Türkiye genelinde yağış erozivitesinin mekânsal ve zamansal ilişkisini inceledikleri çalışma ile uyumlu olarak bulunmuştur.

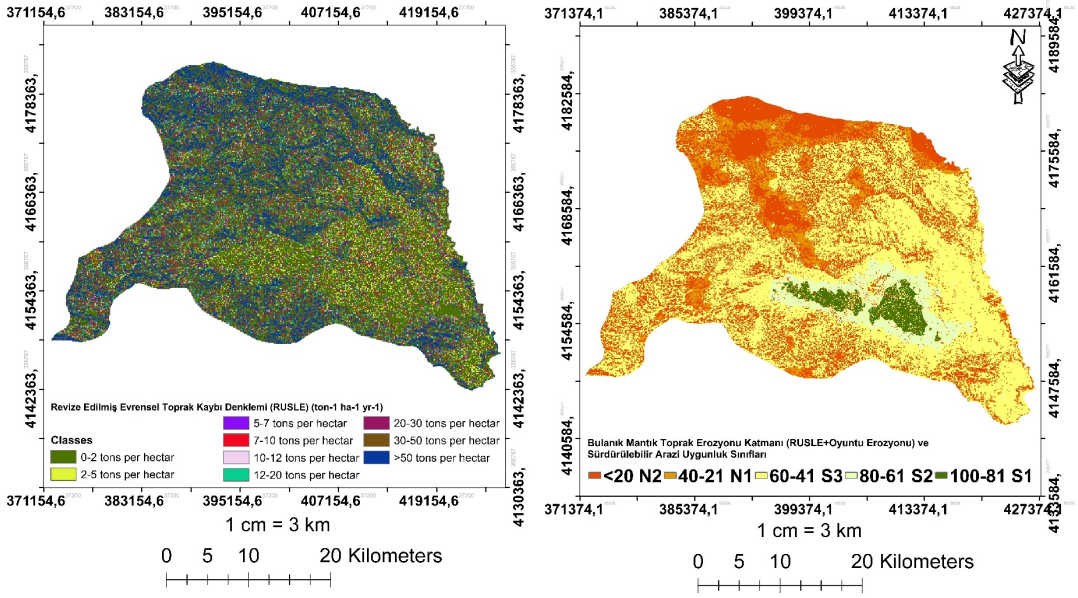
K faktörünün mekânsal özelliği ile toprak erodobilitesi, toprak özelliklerine bağlı olarak belirlenmiştir. K faktörü 0.1 ve 0.27 t ha^{-1} saat ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1}arasında değişmektedir. Düşük K faktörü, düşük permeabilite ve toprak neminden dolayı bulunmuştur (Martínez-Murillo ve ark., 2020).

Topoğrafik faktör (LS), eğim uzunluğu ve dikliğini temsil etmektedir. LS faktör, Besni için 0-1827 aralığında değişmektedir. Özellikle alanın kuzey kısımlarında eğimin yüksek olduğu yerlerde akış birikiminin artışıyla LS değeri yüksek çıkmıştır (Das ve ark., 2022). C faktörü 0 ile 1 arasında değişmektedir. Çalışma alanının orta kesiminde ekili alanlar ile kuzey kesimlerde yer yer görülen ve sık bitki örtüsüne sahip ormanlık alanlarda baskın olarak 0'a yakın iken; özellikle vadi tabanlarını çevreleyen bitki örtüsünden yoksun eğimli yamaçlarda C faktör değerlerinin baskın olarak 1'e yaklaştığı görülmüştür. Danacıoğlu ve Tağıl (2017), Bakırçay Havzası'nda yaptıkları çalışmada antropojenik etki ile tahrip edilmiş bitki örtüsünün olduğu yüksek kütleli eğimli yamaçlarda, C faktörünün baskın olarak 1'e yakınsadığını bildirmişlerdir.

Sonuç olarak, yıllık toprak kaybı ve erozyona göre nihai uygunluk haritası Şekil 4.13.'de görülmektedir. Sadece Besni'nin orta kesimlerinde yer alan Keysun ovası ve yakın çevresinde, hem yıllık toprak kaybı açısından hem de oyuntu erozyonu oluşumu ve gelişimi açısından en az risk taşıyan son derece uygun ve orta derecede uygun uygunluk birimleri görülmektedir. Erozyon açısından sürdürülebilirlik sorunu taşımayan son derece uygun ve orta derece uygun alanların oranı sırasıyla %3.15 ve %5.71'dir (Çizelge 4.10). Marjinal ve uygun olmayan kategorileri sırasıyla %51.5 ve %39.63 ile alanın neredeyse tümüne hakim durumdadır. Bunun başlıca sebebi, toprak kaybının yanı sıra oyuntu erozyonunun elverişsiz arazi örtüsü ve yanlış arazi kullanımı ile yakın bir ilişkisi olmasıdır (Chen ve ark., 2021; Ghosh ve Maiti, 2022). Bu sonuçlar, Besni'de yıllardan beri süregelen arazi kullanım türü alışkanlığının artık sürdürülemez bir noktaya evrildiğini göstermektedir.

Çizelge 4.10. Sürekli bulanık sınıflandırma sonucunda toprak erozyonu uygunluk sınıflarının alansal büyüklüğü ve oranları

Bulanık Mantık Toprak Erozyonu Katmanı	Yıllık toprak kaybı ve oyuntu erozyonu entegreasyonuna göre	
	Alan (ha)	Alan (%)
Son derece uygun	3834.2	3.15
Orta derece uygun	6951.4	5.71
Marjinal olarak uygun	62693.8	51.50
Uygun değil	48247.6	39.63



Şekil 4.13. Çalışma alanında RUSLE modeline göre yıllık toprak kaybı ve bulanık toprak katmanı

Mamdani bulanık çıkarım sisteminde, toprak özelliklerine bağlı uygunluk değerlendirilirken birbirleri ile ilişkili toprak özelliklerini aynı modelde değerlendirilmeye çalışılmıştır (Houshyar ve ark., 2017). Böylelikle hiyerarşik bir model mimarisi elde edilmesinin yanı sıra kural tabanında uzman görüşü ve sürdürülebilir arazi kullanımını etkileyecek toprak özellikleri için üyelik fonksiyonları ve kuralları arazi bozulması hassasiyetine göre tasarlanmıştır. Çizelge 4.11.'de görülen model 1: mevcut su tutma kapasitesi, tekstür ve derinlik; model 2 pH, $CaCO_3$ ve EC; model 3 toprak organik karbon ve katyon değişim kapasitesi arazi karakteristikleri ile oluşturulmuştur. Model 4'de her üç modelden elde edilen sürdürülebilirlik skorları değerlendirilip, nihai bulanık toprak katmanı elde edilmiştir. Her iki arazi kullanım türü en iyi sürdürülebilirlik ortalaması, bitki besin maddesinin toprakta tutulmasını temsil eden model 3'de elde edilmiştir. Öte yandan, model 1 her iki arazi kullanım türünde de en düşük sürdürülebilirlik skoruna sahiptir. Özellikle buğdayda model 1 parametreleri önemli bir kısıtlayıcı olmuştur. Bunun sebebi, model 1'in mevcut su tutma kapasitesini içermesidir. Bu olgunun altında yatan neden: buğdayın su ihtiyacının, özellikle sapa kalkma dönemi ile olgunlaşmanın başlangıcı arasında yoğunlaşmasıdır (Chisci ve Venuti, 2009). Bunun yanı sıra kalkerli topraklarda buğday üretimine uygun arazinin belirlenmesinde tekstürün en önemli parametre olduğu birçok araştırmacı tarafından bildirilmiştir (Kılıc ve ark., 2022;

Mandal ve ark., 2020). Çalışma alanında bitkisel üretimi sınırlandıran toprak faktörleri önem sırasına göre ağır killi tekstür, yetersiz toprak derinliği ve mevcut su kapasitesi yetersizliğidir. Ek olarak, başat kil mineralinin smektit olması, yanlış toprak işleme ve sulama durumunda ileride tuzluluk sorununun ortaya çıkmasına yol açabilecektir (Çelik ve ark., 2017).

Çizelge 4.11. Her iki arazi kullanım türüne ait bulanık toprak katmanı uygunluk skorları

Model	Buğday			Çok yıllık bahçe bitkileri		
	Min.	Mak.	Ort.	Min.	Mak.	Ort.
Model (1)	26.4	78.9	41.2	32.3	86.8	67.6
Model (2)	35.6	71.4	54.4	57.1	82.1	76.4
Model (3)	50	81.7	81.7	67.1	88.5	88.6
Model (4)	33.6	79.1	55.8	54.5	83.2	72.1

İncelenen alanda buğday ve çok yıllık bahçe bitkileri yetiştiriciliğinde toprak özellikleri oldukça önemli bir rol oynamaktadır. Toprak özellikleri sürekli bulanık sınıflandırma sonuçları, incelenen alanın %0.87, %72.23 ve %26.91'inin buğday tarımı için sırasıyla, orta derece uygun, marjinal uygun ve uygun olmadığını göstermiştir (Çizelge 4.12 .ve Şekil 4.14a.). Ayrıca bu bölgenin %38.15, %57.84 ve %4.02'si çok yıllık bahçe bitkileri için son derece uygun, orta derece uygun ve marjinal olarak uygunluk arazi birimlerine ait olarak bulunmuştur (Çizelge 4.12. ve Şekil 4.14b.). Arazi değerlendirmesine bulanık erozyon katmanı ve iklim katmanı dahil edildiğinde, her iki arazi kullanım türünde de sürdürülebilirlik kategorilerinin alansal ve oransal değiştiği görülmüştür (Çizelge 4.12.). Buğdayda şu an için uygun olmayan ve kalıcı olarak uygun olmayan birim kategorileri oranları sırasıyla %18.66 ve %28.57 olarak değişmiştir. Kalıcı olarak uygun olmayan birimlerde %28.57'lik artış dikkat çekmektedir (Şekil 4.14c.). Benzer durum çok yıllık bahçe bitkileri arazi kullanım türü uygunluğu için de görülmektedir. Örneğin, sadece toprak özellikleri dikkate alındığında şu an için uygun olmayan ve kalıcı olarak uygun olmayan kategorilerinde arazi yok iken, nihai uygunluk değerlendirmesinde şu an için uygun olmayan sınıf alanı % 42.68 oranında artmıştır (Çizelge 4.12. ve Şekil 4.14d.). Sonuçta, her iki arazi kullanım türü için nihai uygunluk sınıflandırmasında uygun olmayan kategori, alanın neredeyse yarısını kaplamaktadır. Dent ve Young (1993)'a

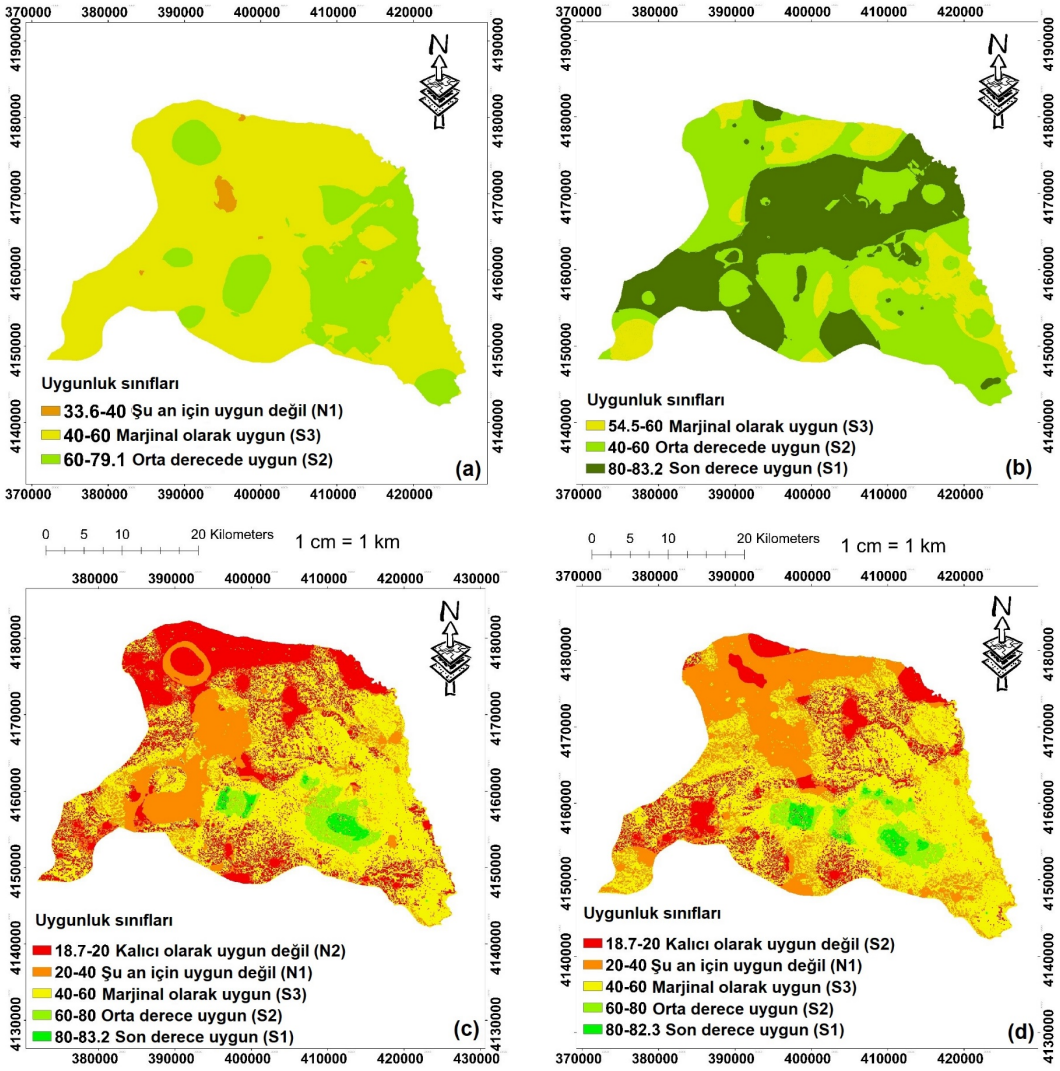
göre bu arazilerde kuru tarım yapıldığında, verim açısından dikkate alınan arazi kalitesine özgü girdilerin yokluğunda, optimal koşulların oldukça altında (<20) mahsul verim yüzdesi beklenir. Bu nedenle şu an için uygun olmayan arazilerin söz konusu kullanımı teknik olarak mümkündür. Fakat, Cronin ve ark. (2020)'e göre uygun olmayan arazi birimlerinde bitkisel üretim, farklı küresel iklim değişikliği senaryolarına göre ekonomik olarak sürdürülemez. Çünkü mevcut fiyatlarla, sınırlamaları aşmak için gereken girdilerin maliyeti, üretim maliyetini aşacaktır. Bunun yanı sıra, Tesfaye ve ark. (2015), biyofiziksel ve sosyo-ekonomik faktörlerin bir kombinasyonunu kullanarak koruma amaçlı tarımın benimsenmesi için potansiyel öneri alanlarını belirlemiş ve Malawi'de yaklaşık 5.5 milyon hektarın (toplam ekili alanın %92'si), 5.0 milyon ha (%84)'ının koruma tarımı uygulaması için biyofiziksel potansiyele sahip olduğunu bildirmiştir. Bununla birlikte, toprak koruma bilincinin henüz yerleşemediği ve geleneksel kültür uygulamalarının yapıldığı veya çiftlik hayvancılığı için mahsül artıklarının değerli olduğu bölgelerde, toprakta malçlama ve minimum toprak işleme yoluyla korumanın benimsenmesinde önemli zorluklar vardır. Bu da mahsul kalıntılarının toprağı korumak için kullanma olasılığını sınırlamaktadır (Valbuena ve ark., 2012). Şu an için uygun olmayan sınıfa dahil araziler, kuraklığa dayanıklı veya erozyona karşı yüksek koruma kabiliyetine sahip bitki örtüsü ile değerlendirilebilir. Ancak mevcut arazi kullanım türleri için halihazırda kabul edilebilir maliyetle düzeltilemeyecek sınırlamalara sahiptir. Bunun sebebi, arazinin mevcut durumda başarılı bir şekilde sürekli kullanımını engelleyecek oyuntu erozyon veya büyüme mevsimi periyodunda toprakta depolanan suyun yetersizliği gibi faktörlerin şiddetli derecede olmasıdır.

Buğday ve çok yıllık bahçe bitkileri marjinal uygunluk kategorisi toprakları oranı sırasıyla %47.66 ve %48.86'dır (Çizelge 4.12., Şekil 4.14c. ve Şekil 4.14d.). Çalışma alanında, marjinal araziler; sığ toprakları, zayıf toprak özelliklerini, elverişsiz topografik koşulları, oyuntu erozyonundan etkilenmiş yada riskinin çok yüksek olduğu ve yıllık toprak kaybının 11.2 ton^{-1} ha^{-1} yr^{-1}'ın üzerini temsil etmektedir. Bu nedenle marjinal araziler için toprak koruma ve rehabilitasyon eşit derecede önemlidir (Kirui, 2016). Hossain ve ark. (2020), marjinal arazilerin, değişen beslenme tercihleri ve popülasyonun artan gıda taleplerini karşılamak için tarımsal üretimin oluşturduğu baskı nedeniyle bozulma riskine dikkat çekmiştir. Toprak kalitesini artırmak ve

bozulmayı azaltmak için uygulanmakta olan kültürel tedbirlerin, marjinal olarak uygun şekilde tanımlanabilecek topraklar için yetersiz olduğu; marjinal olarak uygun tarım topraklarının, hızlı kentleşmeden dolayı diğer arazi kullanımları ile rekabetle karşı karşıya olduğu bir çok çalışmada vurgulanmıştır (Alexandratos ve Bruinsma, 2012; K.J., 1980; Nizeyimana ve ark., 2001).

Çizelge 4.12. Sürekli bulanık sınıflandırma sonuçlarının uygunluk kategorileri altında alansal ve oransal dağılımı

Uygunluk sınıfları	Buğday tarımı		Çok yıllık bahçe bitkileri	
	Alan (ha)	Alan (%)	Alan (ha)	Alan (%)
Bulanık toprak katmanı				
Son derece uygun	-	-	46433.3	38.15
Orta derece uygun	1059.6	0.87	70412.9	57.84
Marjinal olarak uygun	87919.4	72.23	4890.9	4.02
Şu an için uygun değil	32759.8	26.91	-	-
Kalıcı olarak uygun değil	-	-	-	-
Bulanık nihai uygunluk katmanı				
Son derece uygun	1661.0	1.36	3305.8	2.72
Orta derece uygun	4626.5	3.80	7231.9	5.94
Marjinal olarak uygun	58010.2	47.66	59476.4	48.86
Şu an için uygun değil	22642.0	18.60	51708.6	42.48
Kalıcı olarak uygun değil	34776.9	28.57	-	-



Şekil 4.14. (a) Buğday tarımı için bulanık toprak katmanı, (b) Çok yıllık bahçe bitkileri için bulanık toprak katmanı; (c) Buğday tarımı için nihai arazi kullanım türü uygunluk sonuç haritası, (d) Çok yıllık bahçe bitkileri için nihai arazi türü uygunluk sonuç haritası

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Besni, iklim değişikliği ve çölleşme gibi çeşitli faktörlerin neden olduğu arazi bozulma sürecine maruz kalmaktadır. Bu tez çalışması; arazi bozulmasının çoğunlukla, arazi yeteneklerine uygun olmayan tarımsal faaliyetler, kuraklık, ormansızlaşma ve uygun arazi yönetiminin eksikliğinin birleşik baskıları tarafından hızlandırıldığını ortaya koymaktadır. Bir arazi bozulma süreci olarak oyuntu erozyonu çevresel değişkenlerin peyzaj üzerindeki etkilerini yansıtan, uzun dönem boyunca var olan toprak erozyonunun jeomorfolojik kanıtlarından bir tanesidir. Bu olgu, Besni'de arazi bozulmasının hangi boyutlarda olduğunu ortaya koymak için önemlidir.

Bu bağlamda, oyuntu erozyonundan etkilenmiş alanların belirlenmesinin yanı sıra sürdürülebilir tarımsal arazi değerlendirme sistemi için koşul faktörleri değerlerinden yola çıkılarak bir risk değerlendirmesi amaçlanmıştır. Oyuntu erozyonu, jeomorfolojik bir olgu olduğu için coğrafi nesne tabanlı görüntü analizi, sayısal yükseklik modelinden elde edilen ve oyuntu oluşumu ve gelişimine etki eden bir çok faktörü segmentasyon aşamalarına dahil etmektedir. Modelin bu avantajı, 3 boyutlu olarak görüntü segmentasyonuna olanak tanımıştır. Öte yandan bu aşamada, OFI, OPI ve OMI indekslerinden faydalanılmıştır. Bu indeksler, yarı otomatik segmentasyon algoritması ölçek parametrelerinin en uygun şekilde belirlenmesini sağlamıştır. Böylelikle, en uygun ölçek seviyesi 10 olarak belirlenmiştir. Koşul parametrelerinin ağırlıkları ise Sentinel 2 NIR bandı ve NDVI için 2, diğerleri için 1 olarak belirlenmiştir.

Literatürde yer alan, oyuntu erozyonunu belirlemek için yapılan görüntü segmentasyonu çalışmalarında, optimal parametrelerin hangi değerleri alması gerektiği konusunda henüz bir standart yoktur. Bugüne kadar yapılan sınırlı sayıdaki çalışma hem deneme yanılma hem de literatürden faydalanarak optimal parametreleri belirlemiştir. Bu bağlamda, tez çalışması literatürdeki bu boşluğu doldurmaya katkı sağlamaktadır.

Görüntü segmentasyonu aşamasından sonra gerçekleştirilen sınıflandırma sürecinde rassal ağaçlar denetimli makine öğrenmesi modeli benimsenmiştir.

Böylelikle, hem çok sayıda ortak değişken içeren hem de veri sayısı oldukça fazla olan veri seti hızlı ve güvenilir şekilde modelleme sürecine dahil edilmiştir. Rassal ağaçlar denetimli sınıflandırma modelinin doğruluk değerlendirmesi sonuçlarını belirlemek için kullanılmış olan hata metrikleri precision (hassaslık), recall (geri çağırma), F1-skoru ve kappa indeksi sırasıyla, 0.90, 0.95, 0.92 ve 0.88 olarak bulunmuştur. Literatüre uyumlu olarak bu sonuçlar: büyük alanlarda açık kaynak veriler kullanılarak oyuntu erozyonu envanterinin yapılabileceğini göstermektedir. Bu aşamada, TP veri setine ait eğim ve TWI değerleri ile belirlenmiş olan oyuntu risk eşik değerlerinin sürdürülebilir tarımsal arazi değerlendirme sistemine entegre edilmesi önemli bir avantaj sağlamaktadır.

Gelecekte yapılacak olan coğrafi nesne tabanlı görüntü analizi çalışmalarına zamansal bir boyut eklenmelidir. Hem eski tarihli uzaktan algılama verilerinden geçmişteki arazi kullanım değişimi ve oyuntu erozyonu ilişkisinin belirlenmesi hem de insansız hava aracıyla yılın belirli dönemlerinde yüksek çözünürlüklü görüntülerle günümüzde oyuntu erozyonundan etkilenmiş sahaların takip edilmesi, arazi yönetimi ile ilgili paydaşlara önemli katkılar sunacaktır.

Mekânsal dağılımı hakkında güncel bilgiye sahip olunmayan Besni ilçesinin TOK içeriği sayısal toprak haritalama prensiplerine bağlı olarak modellenmiştir. Tahmin doğruluğunu değerlendirmek için diğer bazı enterpolasyon yöntemleri MLP-OK modeliyle karşılaştırılmıştır. Bölgesel ölçekte TOK içeriğinin mekânsal dağılımını tahmin etmek için MLP-OK hibrit modeli oldukça başarılı sonuç vermiştir. Sonuçlar, TOK tahmini için seçilmiş pedolojik ve çevresel faktörlere uygun olarak; 14 gizli düğüm sayısı, tansig aktivasyon fonksiyonu ve purelin transfer fonksiyonu ile optimal MLP mimarisi belirlenmiştir. MLP-OK tarafından üretilen TOK içeriği haritası; özellikle yoğun tarımsal faaliyet yürütülen, araştırma alanı orta-güney kesiminde yer alan Keysun Ovası'nda, OK, IDW ve EBK'ya göre daha fazla mekânsal detayı ortaya çıkarmıştır.

Taylor Diyagramı ile uzamsal tahmin doğruluğu karşılaştırıldığında; MLP-OK modelinde, daha düşük CRMSE ve daha yüksek Pearson korelasyon katsayısı elde edilmiştir. Öte yandan, test veri seti kullanılarak hesaplanan RMSE değeri, diğer yöntemlerin RMSE değerlerine göre %58 ile %70 arasında değişen nispi gelişme

göstermiştir. Bu sonuçlar, MLP artıklarının OK ile tahmin edilmesinin uzamsal tahmin doğruluğunu artırdığını ortaya koymuştur. Ayrıca, sadece uzaklığa bağlı değişimi dikkate alan enterpolasyon modellerine göre MLP ile üretilen TOK haritasında; toprak özellikleri, topoğrafya ve biyota gibi bir çok faktör göz önüne alındığı için tahmin edilen ile ölçülen değerlerin alt ve üst sınırların daha uyumlu olduğu görülmüştür. MLP-OK modelinin mekânsal varyasyondan taviz vermeden, uzamsal tahmin hatalarını azaltması: sayısal toprak haritalamada etkin bir yöntem olarak kullanılabileceğini; bölgesel, ulusal ve küresel ölçekte sayısal toprak haritalama çabalarına katkı sağlayabileceğini doğrulamaktadır. Bunun yanı sıra, MLP'nin başarılı tahmin sonuçları üretmesinde veri kalitesi ve model mimarisinin büyük önem arz ettiğini görülmüştür. Sonraki TOK mekânsal tahmin model çalışmalarında; bulut tabanlı modelleme yaklaşımlarıyla birlikte gelişmiş makine öğrenme algoritmaları kullanılarak büyük veri setlerinin kolaylıkla işlenmesine imkan tanıyan bir çerçeve önerilmektedir. Böylelikle, ortak değişkenler istenilen ölçüde arttırabilinecek ve bölgesel ölçekteki çalışmalar kısa zamanda sonuçlanabilecektir.

Besni'nin yarı kurak koşullarında kalkerli topraklarda, hali hazırda en çok tercih edilen buğday ve çok yıllık bahçe bitkileri arazi kullanım türleri için arazi bozulma hassasiyeti olan bir sürdürülebilir arazi uygunluğu sistemi; Mamdaii bulanık çıkarım sistemi ve coğrafi bilgi sistemleri entegrasyonuyla, toprak özellikleri, toprak erozyonu ve iklim verilerine dayalı olarak tasarlanmıştır. Sadece toprak özelliklerine göre uygunluk değerlendirmesi sonuçları: buğday için orta derecede uygun, marjinal olarak uygun ve şu an için uygun değil arazi uygunluk kategorilerinde, sırasıyla %0.87, %72.2 ve %26.9'dur. Yıllık toprak kaybı ve büyüme mevsimi periyodu ile beraber değerlendirildiğinde son derece uygun, orta derecede uygun, marjinal olarak uygun, şu an için uygun değil ve kalıcı olarak uygun değil kategorileri sırasıyla alanın %1.36, %3.8, %47.6, %18.6 ve %28.6'sını kaplamaktadır. Benzer bulgular çok yıllık bahçe bitkileri uygunluk değerlendirilmesi için de görülmüştür. Sadece toprak özellikleri için model sonuçlarına göre alanın %38.1'i son derece uygun ve şu an için uygun olmayan alanlar yok iken, diğer faktörler modele dahil edildiğinde şu an için uygun değil kategorisi %42.5 olmuştur. Bulgulara göre en dikkat çekici sonuçlar: (i) sadece toprak özellikleri dikkate alınarak yapılan arazi değerlendirmesi, arazi bozulmasını göz ardı etmektedir. Dolayısıyla, sadece toprak özelliklerine göre son derece uygun, orta derece

uygun ve marjinal uygun olarak sınıflanan alanlar, toprak erozyonunu dahil edildiğinde artık uygun olmayan kategorisine geçmektedir. Bu durumda, arazi uygunluk değerlendirme çalışmalarına, erozyon gibi hem toprak özelliklerinin ve topoğrafik koşulların entegre edildiği kriterlerin dahil edilmesi daha doğru ayrım yapmak açısından son derece gereklidir. Aksi halde arazide var olan bozulmanın daha da şiddetlenme riski ortaya çıkmaktadır. (ii) Son derece uygun, orta derece uygun ve marjinal uygun tarım arazilerinde devam eden bitkisel üretim ve düşük organik madde oranı göz önüne alındığında yüksek verim elde etmek için gübreye önemli yatırım gerekecektir. Dolayısıyla, verimliliğin iyileştirilmesine ihtiyaç vardır. Bu noktada; öncelikli olarak bu çalışmanın çıktısı olan ve sayısal ortamda bulunan sürdürülebilir kullanım haritalarına göre AKT tahsisleri yapılmalıdır. Ayrıca, mahsül artıklarını arazide tutulması, münavebeli tarım yapılması ve toprak kalitesini olumsuz etkileyen toprak işleme uygulamalarından kaçınılması gibi koruma-kullanma dengesini gözeten kültürel uygulamalara ihtiyaç vardır. (iii) Şu an için uygun olmayan kategorideki araziler, kuraklığa dayanıklı veya erozyona karşı yüksek koruma kabiliyetine sahip bitki örtüsü ile değerlendirilebilir ancak mevcut arazi kullanım türleri için halihazırda kabul edilebilir maliyetle düzeltilemeyecek sınırlamalara sahiptir. (v) Marjinal olarak uygun tarım arazileri, kentleşme gibi farklı arazi kullanım şekilleri ile rekabet halindedir. Koruma-kullanma dengesinin çok önemli olduğu marjinal araziler için politika yapıcılar ve paydaşların uzun dönemli sürdürülebilirlik planları yapması gerekmektedir. Sonuç olarak, sürdürülebilir tarımsal arazi uygunluğunu Besni'de en yaygın olan arazi kullanım türleri için ortaya konulmuştur. Böylelikle, toprak kalitesi düşüşünü durdurmak ve tarımsal arazi bozulumu sürecini tersine çevirmek için potansiyel çözümler sunulmuştur.

KAYNAKLAR

AARTHİ, R., SİVAKUMAR, D., 2022. Dynamic Tuning of Fuzzy Membership Function for an Application of Soil Nutrient Recommendation. pp. 107–117.

ABBASİ, N.A., ALİ, M.N.H.A., ABBASİ, B., SOOMRO, S.A., NANGRAJ, N.A.K., SAHTO, J.G.M., MORİO, S.A., 2019. Assessment of Agricultural Land Suitability using Fuzzy Set Method. Pakistan Journal of Agricultural Research 32.

ABBASPOUR-GİLANDEH, M., ABBASPOUR-GİLANDEH, Y., 2019. Modelling soil compaction of agricultural soils using fuzzy logic approach and adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) approaches. Modeling Earth Systems and Environment 5, 13–20.

ABUDUWAILI, J., TANG, Y., ABULIMITI, M., LIU, D., MA, L., 2012. Spatial distribution of soil moisture, salinity and organic matter in Manas River watershed, Xinjiang, China. Journal of Arid Land 4, 441–449.

ADHİKARİ, K., HARTEMİNK, A.E., 2016. Linking soils to ecosystem services — A global review. Geoderma 262, 101–111.

AGAOGLU, Y.S., CELİK, H., 1986. Development of viticulture potential, in: Southeastern Anatolia Project Agricultural Development Symposium. Ankara, pp. 211–230.

AGUİLAR, M.A., SALDAÑA, M.M., AGUİLAR, F.J., 2013. GeoEye-1 and WorldView-2 pan-sharpened imagery for object-based classification in urban environments. International Journal of Remote Sensing 34, 2583–2606.

AGYEMAN, P.C., AHADO, S.K., BORŮVKA, L., BİNEY, J.K.M., SARKODİE, V.Y.O., KEBONYE, N.M., KİNGSLEY, J., 2021. Trend analysis of global usage of digital soil mapping models in the prediction of potentially toxic elements in soil/sediments: a bibliometric review. Environmental Geochemistry and Health 43, 1715–1739.

AKSAKAL, E.L., 2004. Toprak Sıkışması ve Tarımsal Açıdan Önemi . Atatürk Üniv. Ziraat Fak Derg 35, 247–252.

AL-HAMADİ, H.M., SOLİMAN, S.A., 2004. Short-term electric load forecasting based on Kalman filtering algorithm with moving window weather and load model. Electric Power Systems Research 68, 47–59.

ALBALADEJO, J., DÍAZ-PEREİRA, E., DE VENTE, J., 2021. Eco-Holistic Soil Conservation to support Land Degradation Neutrality and the Sustainable Development Goals. CATENA 196, 104823.

ALEXANDRATOS, N., BRUİNSMA, J., 2012. WORLD AGRICULTURE TOWARDS 2030/2050 (No. ESA Working Paper No. 12-03).

ALİMOHAMMADLOU, M., KHOSHSEPEHR, Z., 2022. Investigating organizational sustainable development through an integrated method of interval-valued intuitionistic fuzzy AHP and WASPAS. Environment, Development and Sustainability 24, 2193–2224.

ALLİSON, L.E., MOODİE, C.D., 1965. Carbonate. Methods of Soil Analysis, Agronomy Monographs.

ALSAMAMRA, H., RUİZ-ARİAS, J.A., POZO-VÁZQUEZ, D., TOVAR-PESCADOR, J., 2009. A comparative study of ordinary and residual kriging

techniques for mapping global solar radiation over southern Spain. Agricultural and Forest Meteorology 149, 1343–1357.
ANDERSON, R.L., ROWNTREE, K.M., LE ROUX, J.J., 2021. An interrogation of research on the influence of rainfall on gully erosion. CATENA 206, 105482.
ANONİM, 2022a. Bitkisel Üretim İstatistikleri, Türkiye İstatistik Kurumu. Ankara.
ANONİM, 2022b. Meteorolojik Veri Bilgi Sunum ve Satış Sistemi. Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara.
ANONİM, 1996. Adıyaman-Besni, Keysun ve Kızılin Ovası Sulama Proje Sahası Detaylı Toprak Etüdleri. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Etüd ve Proje Dairesi Başkanlığı, Ankara, 206s.
ARNETH, A., BARBOSA, H., BENTON, T., CALVİN, K., CALVO, E., CONNORS, S., 2019. Climate change and land: summary for policymakers. An IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems, 43.
ARROUAYS, D., GRUNDY, M.G., HARTEMİNK, A.E., HEMPEL, J.W., HEUVELİNK, G.B.M., HONG, S.Y., LAGACHERİE, P., LELYK, G., MCBRATNEY, A.B., MCKENZİE, N.J., MENDONCA-SANTOS, M. D. L., MİNASNY, B., MONTANARELLA, L., ODEH, I.O.A., SANCHEZ, P.A., THOMPSON, J.A., ZHANG, G.-L., 2014. Chapter Three - GlobalSoilMap: Toward a Fine-Resolution Global Grid of Soil Properties, in: Sparks, D.L.B.T.-A. in A. (Ed.), . Academic Press, pp. 93–134.
ASSESSMENT, M.E., 2005. ECOSYSTEMS AND HUMAN WELL-BEING: WETLANDS AND WATER Synthesis. World Resources Institute, Washington.
AYALA IZURİETA, J.E., MÁRQUEZ, C.O., GARCÍA, V.J., JARA SANTİLLÁN, C.A., SİSTİ, J.M., PASQUALOTTO, N., VAN WİTTENBERGHE, S., DELEGİDO, J., 2021. Multi-predictor mapping of soil organic carbon in the alpine tundra: a case study for the central Ecuadorian páramo. Carbon Balance and Management 16, 32.
BAJA, S., CHAPMAN, D.M., DRAGOVICH, D., 2002. A Conceptual Model for Defining and Assessing Land Management Units Using a Fuzzy Modeling Approach in GIS Environment. Environmental Management 29, 647–661.
BALDOCK, J., NELSON, P., 2000. Soil organic matter. CRC press, FL.
BALTSAVİAS, E., GRUEN, A., EİSENBEİSS, H., ZHANG, L., WASER, L.T., 2008. High-quality image matching and automated generation of 3D tree models. International Journal of Remote Sensing 29, 1243–1259.
BAO, N., WU, L., YE, B., YANG, K., ZHOU, W., 2017. Assessing soil organic matter of reclaimed soil from a large surface coal mine using a field spectroradiometer in laboratory. Geoderma 288, 47–55.
BEEK, K.J., 1980. From soil survey interpretation to land evaluation, in: Land Reclamation and Water Management. pp. 29–42.
BEHRENS, T., SCHMİDT, K., VİSCARRA ROSSEL, R.A., GRİES, P., SCHOLTEN, T., MACMİLLAN, R.A., 2018. Spatial modelling with Euclidean distance fields and machine learning. European Journal of Soil Science 69, 757–
BELLİNİ, E., GİORDANİ, E., MORELLİ, D., 2009. Stone Fruits: Apricot, Cherry, Peach, Prune and Plum, in: Manual of Methods for Soil and Land Evaluation. pp. 450–469.
BENEK, S., 2013. Gap Bölgesi'nde Tarımsal Faaliyetlerin Tarihsel Gelişimi ve

Günümüzdeki Durumu. Marmara Coğrafya Dergisi 26, 195–215.
BİJANZADEH, E., MOKARRAM, M., 2013. The use of fuzzy- AHP methods to assess fertility classes for wheat and its relationship with soil salinity: east of Shiraz, Iran : A case study. Australian Journal of Crop Science 7, 1699–1706.
BİRANG, V.A.& A.M., 2009. Impact of Land-use Systems on some Physical and Chemical Soil Properties of an Oxisol in the Humid Forest Zone of Southern Cameroon. Tropicultura 27, 15–20.
BOONME, S., 2005. LAND SUITABILITY AND FERTILITY CAPABILITY EVALUATION FOR LAND REFORM AREA IN MAHA SARAKHAM, PROVINCE, THAILAND. Senate of Universiti Putra Malaysia.
BOT, A., BENİTES, J., 2005. The importance of soil organic matter: Key to drought-resistant soil and sustained food production, No. 80. ed. Food & Agriculture Org.
BOUASRİA, A., IBNO NAMR, K., RAHİMİ, A., ETTACHFİNİ, E.M., RERHOU, B., 2022. Evaluation of Landsat 8 image pansharpening in estimating soil organic matter using multiple linear regression and artificial neural networks. Geo-spatial Information Science 1–12.
BOUMA, J., 1989. Using Soil Survey Data for Quantitative Land Evaluation BT - Advances in Soil Science: Volume 9, in: Stewart, B.A. (Ed.), . Springer US, New York, NY, pp. 177–213.
BOVKİR, R., AYDİNOGLU, A.C., 2018. Providing land value information from geographic data infrastructure by using fuzzy logic analysis approach. Land Use Policy 78, 46–60.
BRUUN, T.B., Elberling, B., de Neergaard, A., Magid, J., 2015. Organic carbon dynamics in different soil types after conversion of forest to agriculture. Land Degradation and Development 26, 272–283.
BUCELLİ, P., COSTANTİNİ, E.A.., 2009. Wine Grape and Vine Zoning, in: Manual of Methods for Soil and Land Evaluation. pp. 368–415.
BUDAK, M., GUNAL, H., 2018. Carbon Storage Potentials of Soils under Different Land Uses In Upper Tigris Basin. Anatolian Journal of Forest Research 4, 61–74.
CAMBARDELLA, C.A., MOORMAN, T.B., NOVAK, J.M., PARKİN, T.B., KARLEN, D.L., TURCO, R.F., KONOPKA, A.E., 1994. Field-Scale Variability of Soil Properties in Central Iowa Soils. Soil Science Society of America Journal 58, 1501–1511.
ÇELİK, A., İNAN, M., BÜYÜK, G., KIRPIK, M., AKÇA, E., 2017. Changes in soil properties following shifting from rainfed to irrigated agriculture: The Adıyaman caseNo Title. Journal of soil science and plant nutrition 5, 80–86.
ÇELİK, İ., GÜNAL, H., ACİR, N., BARUT, Z.B., BUDAK, M., 2021. Soil quality assessment to compare tillage systems in Cukurova Plain, Turkey. Soil and Tillage Research 208, 104892.
CERDÀ, A., DOERR, S.H., 2007. Soil wettability, runoff and erodibility of major dry-Mediterranean land use types on calcareous soils. Hydrological Processes 21, 2325–2336.
CHAKRABORTY, A., GOSWAMİ, A., 2022. The Application of Statistics and Fuzzy Logic in Predicting Slope Stability. pp. 137–147.
CHAPMAN, H.D., PRAFTT, P.., 1982. Methods of analysis for soils. plants and water. (Chapman Publisher: Riverside. CA). Methods of Soil Analysis Part 1: Physical and Mineralogical Methods 2nd Edition. Agronomy Series No: 9. Am. Soc. of Agronomy and Soil Sci. Soc. of Am. Inc. Publisher, Madison. Wisconsin.

CHEN, J., Lİ, Z., XİAO, H., NİNG, K., TANG, C., 2021. Effects of land use and land cover on soil erosion control in southern China: Implications from a systematic quantitative review. Journal of Environmental Management 282, 111924.
CHESHMBERAH, F., FATHİZAD, H., PARAD, G.A., SHOJAEİFAR, S., 2020. Comparison of RBF and MLP neural network performance and regression analysis to estimate carbon sequestration. International Journal of Environmental Science and Technology 17, 3891–3900.
CHİCCO, D., WARRENS, M.J., JURMAN, G., 2021. The coefficient of determination R-squared is more informative than SMAPE, MAE, MAPE, MSE and RMSE in regression analysis evaluation. PeerJ Computer Science 7, e623.
CHİSCİ, G., VENUTİ, L., 2009. Bread Wheat (Triticum aestivum L.), in: Manual of Methods for Soil and Land Evaluation. pp. 163–169.
CLEVERS, J.G.P.W., GİTELSON, A.A., 2013. Remote estimation of crop and grass chlorophyll and nitrogen content using red-edge bands on Sentinel-2 and -3. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 23, 344–351.
CONGEDO, L., 2021. Semi-Automatic Classification Plugin: A Python tool for the download and processing of remote sensing images in QGIS. Journal of Open Source Software 6, 3172.
CONOSCENTİ, C., ROTİGLİANO, E., 2020. Predicting gully occurrence at watershed scale: Comparing topographic indices and multivariate statistical models. Geomorphology 359, 107123.
COPPUS, R., IMESON, A.C., 2002. Extreme events controlling erosion and sediment transport in a semi-arid sub-andean valley. Earth Surface Processes and Landforms 27, 1365–1375.
CRESSON, R., GRİZONNET, M., MİCHEL, J., 2018. Orfeo ToolBox Applications, in: QGIS and Generic Tools. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA, pp. 151–242.
CRONİN, J., ZABEL, F., DESSENS, O., ANANDARAJAH, G., 2020. Land suitability for energy crops under scenarios of climate change and land-use. GCB Bioenergy 12, 648–665.
CUTLER, D.R., EDWARDS, T.C., BEARD, K.H., CUTLER, A., HESS, K.T., GİBSON, J., LAWLER, J.J., 2007. RANDOM FORESTS FOR CLASSIFICATION IN ECOLOGY. Ecology 88, 2783–2792.
D'OLEİRE-OLTMANNS, S., EİSANK, C., DRAGUT, L., BLASCHKE, T., 2013. An Object-Based Workflow to Extract Landforms at Multiple Scales From Two Distinct Data Types. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters 10, 947–951.
D'OLEİRE-OLTMANNS, S., MARZOLFF, I., TİEDE, D., BLASCHKE, T., 2014. Detection of gully-affected areas by applying object-based image analysis (OBIA) in the region of Taroudannt, Morocco. Remote Sensing 6, 8287–8309.
DABRAL, P.P., BAİTHURİ, N., PANDEY, A., 2008. Soil Erosion Assessment in a Hilly Catchment of North Eastern India Using USLE, GIS and Remote Sensing. Water Resources Management 22, 1783–1798.
DAGGUPATİ, P., KYLE R. DOUGLAS-MANKİN, A.Y.S., 2013. Predicting Ephemeral Gully Location and Length Using Topographic Index Models. Transactions of the ASABE 1427–1440. https://doi.org/10.13031/trans.56.10087
DAİ, F., ZHOU, Q., LV, Z., WANG, X., LİU, G., 2014. Spatial prediction of soil organic matter content integrating artificial neural network and ordinary kriging

in Tibetan Plateau. Ecological Indicators 45, 184–194.
DANACIOĞLU, Ş., TAĞIL, Ş., 2017. Bakirçay Havzasi'Nda RusleModeli Kullanarak ErozyRiskiniDeğerlendirmesi. Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi 20, 1–18.
DAS, S., BORA, P.K., DAS, R., 2022. Estimation of slope length gradient (LS) factor for the sub-watershed areas of Juri River in Tripura. Modeling Earth Systems and Environment 8, 1171–1177.
DE PAUW, E., NACHTERGAELE, F.O., ANTOİNE, J., FİSHER, G., VELTHUİZEN, H., 1996. A provisional world climatic resource inventory based on the length-of-growing-period concept. National soil reference collections and databases (NASREC) 30–34.
DELGADO, A., GÓMEZ, J.A., 2016. The Soil. Physical, Chemical and Biological Properties, in: Principles of Agronomy for Sustainable Agriculture. Springer International Publishing, Cham, pp. 15–26.
DEMYANOV, V., KANEVSKY, M., CHERNOV, S., SAVELİEVA, E., TİMONİN, V., 1998. Neural network residual kriging application for climatic data. Journal of Geographic Information and Decision Analysis 2, 215–232.
DENİZ, İ., 2021. Besni ilçe merkezinin (Adıyaman) coğrafi etüdü. Harran Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Şanlıurfa, 126s.
DENT, D., YOUNG, A., 1993. Soil survey and land evaluation.
DENT, D., YOUNG, A., 1981. Soil Survey and Land Evaluation. George Allen & Unwin., London.
DHARUMARAJAN, S., HEGDE, R., JANANİ, N., SİNGH, S.K., 2019. The need for digital soil mapping in India. Geoderma Regional 16, e00204.
DHARUMARAJAN, S., KALAİSELVİ, B., SUPUTHRA, A., LALİTHA, M., VASUNDHARA, R., KUMAR, K.S.A., NAİR, K.M., HEGDE, R., SİNGH, S.K., LAGACHERİE, P., 2021. Digital soil mapping of soil organic carbon stocks in Western Ghats, South India. Geoderma Regional 25, e00387.
DİTZLER, C.A., TUGEL, A.J., 2002. Soil Quality Field Tools. Agronomy Journal 94, 33–38.
DOMİNATİ, E., PATTERSON, M., MACKAY, A., 2010. A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils. Ecological Economics 69, 1858–1868.
DON, A., SCHUMACHER, J., FREIBAUER, A., 2011. Impact of tropical land-use change on soil organic carbon stocks - a meta-analysis. Global Change Biology 17, 1658–1670.
DRĂGUŢ, L., CSİLLİK, O., EİSANK, C., TİEDE, D., 2014. Automated parameterisation for multi-scale image segmentation on multiple layers. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 88, 119–127.
DURAN, O., ŞEMŞİR, D., SEZGİN, İ., PERİNÇEK, D., 1988. Stratigraphy, sedimentology and oil potential of the Midyat and Silvan groups in Southeastern Anatolia. TPJD Bulletin 1, 99–126.
EBRAHİMZADEH, G., YAGHMAEİAN MAHABADİ, N., KHOSRAVİ AQDAM, K., ASADZADEH, F., 2021. Predicting spatial distribution of soil organic matter using regression approaches at the regional scale (Eastern Azerbaijan, Iran). Environmental Monitoring and Assessment 193, 615.
EGRİOGLU, E., YOLCU, U., BAS, E., 2020. Yapay Sinir Ağları-(Öngörü ve Tahmin Uygulamaları). Nobel Akademik Yayınları, Ankara, 262s.

EMADİ, MOSTAFA, EMADİ, MEHDİ, BAGHERNEJAD, M., FATHİ, H., SAFFARİ, M., 2008. Effect of land use change on selected soil physical and chemical properties in north highlands of Iran. Journal of Applied Sciences 8, 496–502.
ENGİZ, N., 2022. Osmanlı Kroniklerine Göre Türkiye İklimi. https://www.ttk.gov.tr/wp-content/uploads/2022/04/12-NeseEngiz.pdf
ENTRY, J.A., SOJKA, R.E., SHEWMAKER, G.E., 2004. Irrigation Increases Inorganic Carbon in Agricultural Soils. Environmental Management 33, S309–S317.
ESRI, 2012. Arcgis 10.0 manual user''s guide, 3D Analyst Tutorial.
ESWARAN, H., LAL, R., REİCH, P.F., 2019. Land degradation: An overview. Response to Land Degradation 20–35.
EUSTACE, A., PRİNGLE, M., WİTTE, C., 2009. Give Me the Dirt: Detection of Gully Extent and Volume Using High-Resolution Lidar. pp. 255–269.
EZER, S., 2018. Bereketli Hilal'in Kuzeyinde Yeni Araştırmalar: Adıyaman Bölgesi. Hitit Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi.
FALAHATKAR, S., HOSSEİNİ, S.M., AYOUBİ, S., SALMANMAHİNY, A., 2016. Predicting soil organic carbon density using auxiliary environmental variables in northern Iran. Archives of Agronomy and Soil Science 62, 375–393.
FAO, 2008. CropWat [WWW Document]. URL https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/cropwat/en/
FAO, 1990. Guidelines for Soil Profile Description, 3rd ed. Rome, Italy.
FAO, 1985. Guidelines: land evaluation for irrigated agriculture Roma. Rome, Italy.
FAO, 1983. Guidelines; land evaluation for rainfed agriculture.
FAO, 1981. A framework for land evaluation FAO Soils bulletin 32 second edition.
FAO, 1978. Report on the agro_eccological zones project. Rome, Italy.
FAO, 1976. A framework for land evaluation. Rome: Food and Agricultural Organization of the United Nations., FAO soils bulletin n.32.
FENG, Q., ENDO, K.N., GUODONG, C., 2002. Soil carbon in desertified land in relation to site characteristics. Geoderma 106, 21–43.
FERNANDES, M.M.H., COELHO, A.P., FERNANDES, C., SİLVA, M.F. DA, DELA MARTA, C.C., 2019. Estimation of soil organic matter content by modeling with artificial neural networks. Geoderma 350, 46–51.
FORTH, H., 1990. Fundamentals of soil science. Willey, New York.
FRANCHİNİ, E., CİMATO, A., COSTANTİNİ, E.A., 2009. Olive Tree (Olea europaea L.), in: Manual of Methods for Soil and Land Evaluation. pp. 401–449.
FRANCİPANE, A., CİPOLLA, G., MALTESE, A., LA LOGGİA, G., NOTO, L. V., 2020. Using very high resolution (VHR) imagery within a GEOBIA framework for gully mapping: an application to the Calhoun Critical Zone Observatory. Journal of Hydroinformatics 22, 219–234.
GUPTA, D.L., MALVİYA, A.K., SİNGH, S., 2012. Performance analysis of classification tree learning algorithms. International Journal of Computer Applications 55, 6.
GARCÍA-RUİZ, J.M., 2010. The effects of land uses on soil erosion in Spain: A review. CATENA 81, 1–11.
GAUTAM, R., PANİGRAHİ, S., FRANZEN, D., SİMS, A., 2011. Residual soil nitrate prediction from imagery and non-imagery information using neural network technique. Biosystems Engineering 110, 20–28.

GEE, G.., BAUDER, J., 1986. Particle-size Analysis, in: Klute, A. (Ed.), Methods of Soil Analysis Part 1. Madison, Wisconsin, USA, pp. 383–411.
GEORGE, H., 2005. An overview of land evaluation and land use planning at FAO, FAO (Ed.). ed. Food & Agriculture Org, Rome, Italy.
GEYİKLİ, B., 2014. Gaziantep-Adıyaman Platosunda arazi kullanımının bazı toprak özellikleri üzerine etkisi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi.
GHOSAL, K., DAS BHATTACHARYA, S., 2020. A Review of RUSLE Model. Journal of the Indian Society of Remote Sensing 48, 689–707.
GHOSH, A., MAİTİ, R., 2022. Application of SWAT, Random Forest and artificial neural network models for sediment yield estimation and prediction of gully erosion susceptible zones: study on Mayurakshi River Basin of Eastern India. Geocarto International 1–25.
GİMÉNEZ, R., MARZOLFF, I., CAMPO, M.A., SEEGER, M., RİES, J.B., CASALÍ, J., ÁLVAREZ-MOZOS, J., 2009. Accuracy of high-resolution photogrammetric measurements of gullies with contrasting morphology. Earth Surface Processes and Landforms 34, 1915–1926.
GLİNKA, K.D., 1927. Dokuchaiev's ideas in the development of pedology and cognate sciences. The Academy.
GÖNENÇGİL, B., VURAL, G., 2016. Çevre Tarihi Açısından Küçük Buzul Çağı ve Sosyal Etkileri. TÜCAUM Uluslararası Coğrafya Sempozyumu 10–25.
GOODCHİLD, M.F., SHORTRİDGE, A.M., FOHL, P., 1999. Encapsulating simulation models with geospatial data sets. Spatial accuracy assessment: land information uncertainty in natural resources 123–130.
GOODWİN, P., LAWTON, R., 1999. On the asymmetry of the symmetric MAPE. International Journal of Forecasting 15, 405–408.
GOOVAERTS, P., 1997. Geostatistics for Natural Resources Evaluation, Oxford Univer- sity Press. Oxford.
GRABS, T., SEİBERT, J., BİSHOP, K., LAUDON, H., 2009. Modeling spatial patterns of saturated areas: A comparison of the topographic wetness index and a dynamic distributed model. Journal of Hydrology 373, 15–23.
GRANHOLM, A.-H., OLSSON, H., NİLSSON, M., ALLARD, A., HOLMGREN, J., 2015. The potential of digital surface models based on aerial images for automated vegetation mapping. International Journal of Remote Sensing 36, 1855–1870.
GRİMM, M., JONES, R., MONTANARELLA, L., 2001. Soil erosion risk in Europe. Joint Research Centre, European Commission.
GRİZONNET, M., MİCHEL, J., POUGHON, V., INGLADA, J., SAVİNAUD, M., CRESSON, R., 2017. Orfeo ToolBox: open source processing of remote sensing images. Open Geospatial Data, Software and Standards 2, 15.
GRUNWALD, S., YU, C., XİONG, X., 2014. Transferability and scaling of soil total carbon prediction models in Florida. PeerJ PrePrints, No e494v1.
GRUSZCZYŃSKİ, S., 2019. Prediction of soil properties with machine learning models based on the spectral response of soil samples in the near infrared range. Soil Science Annual 70, 298–313.
GÜNAL, H., ACIR, N., POLAT, A., GÜNAL, E., BUDAK, M., ERDEM, N., MALI, Z., ÖNEN, H., 2015. Importance of spatial variability in management of saline and boron toxic soils. ANADOLU JOURNAL OF AGRICULTURAL SCIENCES 30, 189.

GÜNDOĞAN, R., 1993. Çeşitli arazi değerlendirme yöntemlerinin arazi toplulaştırma çalışmalarında kullanılma olanakları. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana, 254s.

GUPTA, D.K., PRASAD, R., SRİVASTAVA, P.K., ISLAM, T., 2016. Nonparametric Model for the Retrieval of Soil Moisture by Microwave Remote Sensing, in: Satellite Soil Moisture Retrieval. Elsevier, pp. 159–168.

HAMDY, A., ALY, A., 2014. Land Degradation, Agriculture Productivity and Food Security. Fifth International Scientific Agricultural Symposium Agrosym 2014 708–717.

HEUNG, B., BULMER, C.E., SCHMİDT, M.G., 2014. Predictive soil parent material mapping at a regional-scale: A Random Forest approach. Geoderma 214–215, 141–154.

HEUVELİNK, G.B.M., ANGELİNİ, M.E., POGGİO, L., BAİ, Z., BATJES, N.H., BOSCH, R., BOSSİO, D., ESTELLA, S., LEHMANN, J., OLMEDO, G.F., SANDERMAN, J., 2021. Machine learning in space and time for modelling soil organic carbon change. European Journal of Soil Science 72, 1607–1623.

HİGGİNS, G.M., KASSAM, A.H., 1981. The FAO agro-ecological zone approach to determination of land potential. Pedologie 31, 147–168.

HÖFLMAYER, F., 2017. The Late Third Millennium in the Ancient Near East, The Oriental Institute. Chicago.

HORÁČEK, M., SAMEC, P., MİNÁR, J., 2018. The mapping of soil taxonomic units via fuzzy clustering – A case study from the Outer Carpathians, Czechia. Geoderma 326, 111–122.

HOSSAİN, A., KRUPNİK, T.J., TİMSİNA, J., MAHBOOB, M.G., CHAKİ, A.K., FAROOQ, M., BHATT, R., FAHAD, S., HASANUZZAMAN, M., 2020. Agricultural Land Degradation: Processes and Problems Undermining Future Food Security, in: Environment, Climate, Plant and Vegetation Growth. Springer International Publishing, Cham, pp. 17–61.

HOSSEİNİ, N., REZANEJAD, F., ZAMANİBAHRAMABADİ, E., 2021. Effects of Soil Texture, Irrigation Intervals, and Cultivar on some Nut Qualities and Different Types of Fruit Blankness in Pistachio (Pistacia vera L.). International Journal of Horticultural Science and Technology 9, 41–53.

HOUSHYAR, E., SMİTH, P., MAHMOODİ-ESHKAFTAKİ, M., AZADİ, H., 2017. Sustainability of wheat production in Southwest Iran: A fuzzy-GIS based evaluation by ANFIS. Cogent Food & Agriculture 3, 1327682.

HUANG, D., SU, L., ZHOU, L., TİAN, Y., FAN, H., 2022. Assessment of gully erosion susceptibility using different DEM-derived topographic factors in the black soil region of Northeast China. International Soil and Water Conservation Research.

HUANG, S.-J., SHİH, K.-R., 2003. Short-term load forecasting via ARMA model identification including non-Gaussian process considerations. IEEE Transactions on Power Systems 18, 673–679.

HUETE, A., DİDAN, K., MİURA, T., RODRİGUEZ, E.P., GAO, X., FERREİRA, L.G., 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. Remote Sensing of Environment 83, 195–213.

HUTCHİNSON, J.J., CAMPBELL, C.A., DESJARDİNS, R.L., 2007. Some perspectives on carbon sequestration in agriculture. Agricultural and Forest Meteorology 142, 288–302.

IMWANGANA, F.M., VANDECASTEELE, I., TREFOİS, P., OZER, P., MOEYERSONS, J., 2015. The origin and control of mega-gullies in Kinshasa (D.R. Congo). CATENA 125, 38–49.
ISAAKS, E.H., SRİVASTAVA, R.M., 1988. Spatial continuity measures for probabilistic and deterministic geostatistics. Mathematical Geology 20, 313–341.
ISLAM, K.R., WEİL, R.R., 2000. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. Agriculture, Ecosystems and Environment 79, 9–16.
JAİN, S.K., KUMAR, S., VARGHESE, J., 2001. Estimation of Soil Erosion for a Himalayan Watershed Using GIS Technique. Water Resources Management 15, 41–54.
JENNY, H., 1994. Factors of soil formation: a system of quantitative pedology. Courier Corporation.
JİN, X., DU, J., LİU, H., WANG, Z., SONG, K., 2016. Remote estimation of soil organic matter content in the Sanjiang Plain, Northest China: The optimal band algorithm versus the GRA-ANN model. Agricultural and Forest Meteorology 218–219, 250–260.
JÓNSSON, J.Ö.G., DAVÍÐSDÓTTİR, B., 2016. Classification and valuation of soil ecosystem services. Agricultural Systems 145, 24–38.
JOSHİ, R., 2016. Accuracy, precision, recall and F1 score: Interpretation of performance measures. Retrieved April 1.
JOSS, B.N., HALL, R.J., SİDDERS, D.M., KEDDY, T.J., 2008. Fuzzy-logic modeling of land suitability for hybrid poplar across the Prairie Provinces of Canada. Environmental Monitoring and Assessment 141, 79–96.
K.J., B., 1980. From soil survey interpretation to land eva I uat ion, in: Land Reclamation and Water Management. pp. 29–42.
KACAR, B., 1995. Chemical Analysis of Plant and Soil, 3rd ed. Ankara University, Faculty of Agriculture Education, Research and Development Foundation Publications, Ankara.
KALAYCI, Ş., 2018. SPSS Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistik Teknikleri, 9th editio. ed. Dinamik Akademi Yayın Dağıtım, Ankara.
KANG, B., ZHANG, P., GAO, Z., CHHİPİ-SHRESTHA, G., HEWAGE, K., SADİQ, R., 2020. Environmental assessment under uncertainty using Dempster–Shafer theory and Z-numbers. Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing 11, 2041–2060.
KAPLAN, G., AVDAN, U., 2017. Object-based water body extraction model using Sentinel-2 satellite imagery. European Journal of Remote Sensing 50, 137–143.
KAPUR, S., AKÇA, E., ÖZDEN, D.M., SAKARYA, N., ÇİMRİN, K.M., ALAGÖZ, U., ULUSOY, R., DARICI, C., KAYA, Z., DÜZENLİ, S., GÜLCAN, H., 2003. LAND DEGRADATION IN TURKEY (No. EUR 20688), Workshop 10-B. Ispra, Italy.
KAYA, F., KESHAVARZİ, A., FRANCAVİGLİA, R., KAPLAN, G., BAŞAYİĞİT, L., DEDEOĞLU, M., 2022. Assessing Machine Learning-Based Prediction under Different Agricultural Practices for Digital Mapping of Soil Organic Carbon and Available Phosphorus. Agriculture 12, 1062.
KESHAVARZİ, A., SARMADİAN, F., HEİDARİ, A., OMİD, M., 2010. Land Suitability Evaluation Using Fuzzy Continuous Classification (A Case Study: Ziaran Region). Modern Applied Science 4, 72–81.
KESKİN, H., GRUNWALD, S., HARRİS, W.G., 2019. Digital mapping of soil carbon

fractions with machine learning. Geoderma 339, 40–58.
KHALEDİAN, Y., MİLLER, B.A., 2020. Selecting appropriate machine learning methods for digital soil mapping. Applied Mathematical Modelling 81, 401–418.
KHORRAM, S., NELSON, S.A.C., KOCH, F.H., VAN DER WİELE, C.F., 2012. Remote Sensing, SpringerBriefs in Space Development. Springer US, Boston, MA.
KİLİC, O.M., GUNAL, H., 2021. Spatial-temporal changes in rainfall erosivity in Turkey using CMIP5 global climate change scenario. Arabian Journal of Geosciences 14, 1079.
KİRKWOOD, C., ECONOMOU, T., PUGEAULT, N., ODBERT, H., 2022. Bayesian Deep Learning for Spatial Interpolation in the Presence of Auxiliary Information. Mathematical Geosciences.
KİRUİ, O.K., 2016. Impact of land degradation on household poverty: evidence from a panel data simultaneous equation model, in: 5th International Conference of AAAE. Addis Ababa-Ethiopia, p. 30.
KILIÇ, M., GÜNDOĞAN, R., GÜNAL, H., BUDAK, M., 2022. An Integrated Framework to Identify and Map Gullies in a Mediterranean region of Turkey. Geocarto International 1–18.
KILIC, O.M., ERSAYIN, K., GUNAL, H., KHALOFAH, A., ALSUBEİE, M.S., 2022. Combination of fuzzy-AHP and GIS techniques in land suitability assessment for wheat (Triticum aestivum) cultivation. Saudi Journal of Biological Sciences 29, 2634–2644.
KNİJFF, V. DER, JONES, J.., JONES, R.J.., MONTANARELLA, L., 2000. Soil Erosion risk Assessment in Europe. European Commission, European Soil Bureau.
KÖROĞLU, K., 2013. Eski Mezopotamya Tarihi: Başlangıçtan Perslere Kadar: Tarihi Başlangıçtan Perslere Kadar. İletişim Yayınları.
KUANG, B., TEKİN, Y., MOUAZEN, A.M., 2015. Comparison between artificial neural network and partial least squares for on-line visible and near infrared spectroscopy measurement of soil organic carbon, pH and clay content. Soil and Tillage Research 146, 243–252.
KÜÇÜKTOPCU, E., CEMEK, B., 2021. The use of artificial neural networks to estimate optimum insulation thickness, energy savings, and carbon dioxide emissions. Environmental Progress and Sustainable Energy 40.
KUMAR, S., LAL, R., LİU, D., 2012. A geographically weighted regression kriging approach for mapping soil organic carbon stock. Geoderma 189–190, 627–634.
LABİB, S.M., HARRİS, A., 2018. The potentials of Sentinel-2 and LandSat-8 data in green infrastructure extraction, using object based image analysis (OBIA) method. European Journal of Remote Sensing 51, 231–240.
LAL, R., 2004. Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security. Science 304, 1623–1627.
LAL, R., BOUMA, J., BREVİK, E., DAWSON, L., FİELD, D.J., GLASER, B., HATANO, R., HARTEMİNK, A.E., KOSAKİ, T., LASCELLES, B., MONGER, C., MUGGLER, C., NDZANA, G.M., NORRA, S., PAN, X., PARADELO, R., REYES-SÁNCHEZ, L.B., SANDÉN, T., SİNGH, B.R., SPİEGEL, H., YANAİ, J., ZHANG, J., 2021. Soils and sustainable development goals of the United Nations: An International Union of Soil Sciences perspective. Geoderma Regional 25.

LAMASTRA, L., BALDERACCHİ, M., Dİ GUARDO, A., MONCHİERO, M., TREVİSAN, M., 2016. A novel fuzzy expert system to assess the sustainability of the viticulture at the wine-estate scale. Science of The Total Environment 572, 724–733.

LEWİS, C.D., 1982. Industrial and business forecasting methods : a practical guide to exponential smoothing and curve fitting. Butterworth Scientific, London.

Lİ, M., FU, Q., SİNGH, V.P., LİU, D., Lİ, T., ZHOU, Y., 2020. Managing agricultural water and land resources with tradeoff between economic, environmental, and social considerations: A multi-objective non-linear optimization model under uncertainty. Agricultural Systems 178, 102685.

Lİ, M., Lİ, T., ZHU, L., MEADOWS, M.E., ZHU, W., ZHANG, S., 2021. Effect of Land Use Change on Gully Erosion Density in the Black Soil Region of Northeast China From 1965 to 2015: A Case Study of the Kedong County. Frontiers in Environmental Science 9.

Lİ, Q., YUE, T., WANG, C., ZHANG, W., YU, Y., Lİ, B., YANG, J., BAİ, G., 2013. Spatially distributed modeling of soil organic matter across China: An application of artificial neural network approach. CATENA 104, 210–218.

Lİ, Z.P., HAN, F.X., SU, Y., ZHANG, T.L., SUN, B., MONTS, D.L., PLODİNEC, M.J., 2007. Assessment of soil organic and carbonate carbon storage in China. Geoderma 138, 119–126.

LİEW, Y.W., ARUMUGASAMY, S.K., SELVARAJOO, A., 2022. Potential of Biochar as Soil Amendment: Prediction of Elemental Ratios from Pyrolysis of Agriculture Biomass Using Artificial Neural Network. Water, Air, & Soil Pollution 233, 54.

LİLLESAND, T., KİEFER, R.W., CHİPMAN, J., 2015. Remote sensing and image interpretation. John Wiley \& Sons.

LİN, S.-S., SHEN, S.-L., ZHOU, A., XU, Y.-S., 2021. Risk assessment and management of excavation system based on fuzzy set theory and machine learning methods. Automation in Construction 122, 103490.

LİSİTA, A., SANO, E.E., DURİEUX, L., 2013. Identifying potential areas of Cannabis sativa plantations using object-based image analysis of SPOT-5 satellite data. International Journal of Remote Sensing 34, 5409–5428.

LİU, H., NİNG, D., KANG, R., JİN, H., ZHANG, X., SHENG, L., 2017. A Study on Predicting Model of Organic Matter Contend Incorporating Soil Moisture Variation. Guang pu xue yu guang pu fen xi 37, 566—570.

LİU, K., DİNG, H., TANG, G., SONG, C., LİU, Y., JİANG, L., ZHAO, B., GAO, Y., MA, R., 2018. Large-scale mapping of gully-affected areas: An approach integrating Google Earth images and terrain skeleton information. Geomorphology 314, 13–26.

LİU, Y., CHEN, Y., WU, Z., WANG, B., WANG, S., 2021. Geographical detector-based stratified regression kriging strategy for mapping soil organic carbon with high spatial heterogeneity. CATENA 196, 104953.

LİU, Y., GUO, L., JİANG, Q., ZHANG, H., CHEN, Y., 2015. Comparing geospatial techniques to predict SOC stocks. Soil and Tillage Research 148, 46–58.

LÓPEZ-MORENO, J.I., VİCENTE-SERRANO, S.M., GİMENO, L., NİETO, R., 2009. Stability of the seasonal distribution of precipitation in the Mediterranean region: Observations since 1950 and projections for the 21st century. Geophysical Research Letters 36, L10703. 037956

M. TAHAT, M., M. ALANANBEH, K., A. OTHMAN, Y., I. LESKOVAR, D., 2020. Soil Health and Sustainable Agriculture. Sustainability 12, 4859.
MA, Y.-J., XİE, T., Lİ, X.-Y., 2022. Spatial variation of soil organic carbon in the Qinghai Lake watershed, northeast Qinghai-Tibet Plateau. CATENA 213, 106187.
MADA, G.S., DETHAN, N.K.F., MAHARANİ, A.E.S.H., 2022. The Defuzzification Methods Comparison of Mamdani Fuzzy Inference System in Predicting Tofu Production. Jurnal Varian 5, 137–148.
MAGİDİ, J., NHAMO, L., MPANDELİ, S., MABHAUDHİ, T., 2021. Application of the Random Forest Classifier to Map Irrigated Areas Using Google Earth Engine. Remote Sensing 13, 876.
MAHALA, A., 2020. Land Degradation Processes of Silabati River Basin, West Bengal, India: A Physical Perspective BT - Gully Erosion Studies from India and Surrounding Regions, in: Shit, P.K., Pourghasemi, H.R., Bhunia, G.S. (Eds.), . Springer International Publishing, Cham, pp. 265–278.
MAKAYA, N.P., MUTANGA, O., KİALA, Z., DUBE, T., SEUTLOALİ, K.E., 2019. Assessing the potential of Sentinel-2 MSI sensor in detecting and mapping the spatial distribution of gullies in a communal grazing landscape. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C 112, 66–74.
MALEK, K., 2020. Water Programming: A Collaborative Research Blog: Taylor Diagram. https://waterprogramming.wordpress.com/2020/12/22/taylor-diagram.
MANDAL, V.P., REHMAN, S., AHMED, R., MASROOR, M., KUMAR, P., SAJJAD, H., 2020. Land suitability assessment for optimal cropping sequences in Katihar district of Bihar, India using GIS and AHP. Spatial Information Research 28, 589–599.
MARTÍNEZ-MURİLLO, J.F., REMOND, R., RUİZ-SİNOGA, J.D., 2020. Validation of RUSLE K factor using aggregate stability in contrasted mediterranean eco-geomorphological landscapes (southern Spain). Environmental Research 183, 109160.
MATERİA, S., ARDİLOUZE, C., PRODHOMME, C., DONAT, M.G., BENASSİ, M., DOBLAS-REYES, F.J., PEANO, D., CARON, L.-P., RUGGİERİ, P., GUALDİ, S., 2022. Summer temperature response to extreme soil water conditions in the Mediterranean transitional climate regime. Climate Dynamics 58, 1943–1963.
MATHWORKS, I., 2022. Fuzzy Logic Toolbox™ User's Guide, Revised fo. ed. Natick, MA.
MATİNFAR, H.R., MAGHSODİ, Z., MOUSAVİ, S.R., RAHMANİ, A., 2021. Evaluation and Prediction of Topsoil organic carbon using Machine learning and hybrid models at a Field-scale. CATENA 202, 105258.
MCBRATNEY, A.., MENDONÇA SANTOS, M.., MİNASNY, B., 2003. On digital soil mapping. Geoderma 117, 3–52.
MCBRATNEY, A.B., ODEH, I.O.A., 1997. Application of fuzzy sets in soil science: fuzzy logic, fuzzy measurements and fuzzy decisions. Geoderma 77, 85–113.
MCGRATH, D., ZHANG, C., 2003. Spatial distribution of soil organic carbon concentrations in grassland of Ireland. Applied Geochemistry 18, 1629–1639.
MCINERNEY, D., KEMPENEERS, P., 2015. Open Source Geospatial Tools. Springer International Publishing, Cham.
ME, S., WP, M., 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficient. In.

Methods of soil analysis. SSSSA Book Series 5.
MELİLLO, J.M., MCGUİRE, A.D., KİCKLİGHTER, D.W., MOORE, B., VOROSMARTY, C.J., SCHLOSS, A.L., 1993. Global climate change and terrestrial net primary production. Nature 363, 234–240.
MENG, X., BAO, Y., LİU, J., LİU, H., ZHANG, X., ZHANG, Y., WANG, P., TANG, H., KONG, F., 2020. Regional soil organic carbon prediction model based on a discrete wavelet analysis of hyperspectral satellite data. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 89, 102111.
MİLNE, E., POWLSON, D.S., CERRİ, C.E., 2007. Soil carbon stocks at regional scales. Agriculture, Ecosystems & Environment 122, 1–2.
MİRZAEE, S., GHORBANİ-DASHTAKİ, S., MOHAMMADİ, J., ASADİ, H., ASADZADEH, F., 2016. Spatial variability of soil organic matter using remote sensing data. CATENA 145, 118–127.
MİSHRA, U., LAL, R., LİU, D., VAN MEİRVENNE, M., 2010. Predicting the Spatial Variation of the Soil Organic Carbon Pool at a Regional Scale. Soil Science Society of America Journal 74, 906–914.
MØLLER, A.B., MULDER, V.L., HEUVELİNK, G.B.M., JACOBSEN, N.M., GREVE, M.H., 2021. Can We Use Machine Learning for Agricultural Land Suitability Assessment? Agronomy 11, 703.
MONTGOMERY, D.R., 2012. Dirt: The erosion of civilizations. Univ of California press.
MOORE, I.D., GESSLER, P.E., NİELSEN, G.A., PETERSON, G.A., 1993. Soil Attribute Prediction Using Terrain Analysis. Soil Science Society of America Journal 57, 443–452.
MOORE, I.D., GRAYSON, R.B., LADSON, A.R., 1991. Digital terrain modelling: A review of hydrological, geomorphological, and biological applications. Hydrological Processes 5, 3–30.
MOORE, I.D., WİLSON, J.P., 1992. Length-slope factors for the Revised Universal Soil Loss Equation: Simplified method of estimation. Journal of Soil and Water Conservation 47, 423 LP – 428.
MORGAN, R.P.C., 2009. Soil erosion and conservation. John Wiley \& Sons Ltd.
MULLİGAN, M., 2004. MedAction: development, testing and application of the climate, hydrology and vegetation components of a Desertification policy support system.
NELSON, D.W., SOMMERS, L.E., 1996. Total Carbon, Organic Carbon, and Organic Matter. Methods of Soil Analysis, SSSA Book Series.
NİZEYİMANA, E.L., PETERSEN, G.W., IMHOFF, M.L., SİNCLAİR, H.R., WALTMAN, S.W., REED-MARGETAN, D.S., LEVİNE, E.R., RUSSO, J.M., 2001. Assessing the Impact of Land Conversion to Urban Use on Soils with Different Productivity Levels in the USA. Soil Science Society of America Journal 65, 391–402.
ODEBİRİ, O., ODİNDİ, J., MUTANGA, O., 2021. Basic and deep learning models in remote sensing of soil organic carbon estimation: A brief review. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 102, 102389.
ORAMAN, M.N., 1970. Viticulture Technique. Ankara Faculty of Agriculture Publications, Ankara.
ORTAÇ, Y., 2020. Besni (Adıyaman) İlçesinin Beşeri ve Ekonomik Coğrafyası. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek

Lisans Tezi, Kahramanmaraş, 171s.
OTB TEAM, 2018. OTB CookBook Documentation, Release 6. ed.
PADARİAN, J., MİNASNY, B., MCBRATNEY, A.B., 2019. Using deep learning for digital soil mapping. SOIL 5, 79–89.
PERPİÑA CASTİLLO, C., JACOBS-CRİSİONİ, C., DİOGO, V., LAVALLE, C., 2021. Modelling agricultural land abandonment in a fine spatial resolution multi-level land-use model: An application for the EU. Environmental Modelling & Software 136, 104946.
PERVEZ, M.S., HENEBRY, G.M., 2015. Assessing the impacts of climate and land use and land cover change on the freshwater availability in the Brahmaputra River basin. Journal of Hydrology: Regional Studies 3, 285–311.
PHİNZİ, K., ABRİHA, D., BERTALAN, L., HOLB, I., SZABÓ, S., 2020. Machine Learning for Gully Feature Extraction Based on a Pan-Sharpened Multispectral Image: Multiclass vs. Binary Approach. ISPRS International Journal of Geo-Information 9, 252.
PİLEVAR, A.R., MATİNFAR, H.R., SOHRABİ, A., SARMADİAN, F., 2020. Integrated fuzzy, AHP and GIS techniques for land suitability assessment in semi-arid regions for wheat and maize farming. Ecological Indicators 110, 105887.
POEPLAU, C., VOS, C., DON, A., 2017. Soil organic carbon stocks are systematically overestimated by misuse of the parameters bulk density and rock fragment content. Soil 3, 61–66.
POESEN, J., NACHTERGAELE, J., VERSTRAETEN, G., VALENTİN, C., 2003. Gully erosion and environmental change: importance and research needs. CATENA 50, 91–133.
POWERS, J.S., SCHLESİNGER, W.H., 2002. Relationships among soil carbon distributions and biophysical factors at nested spatial scales in rain forests of northeastern Costa Rica. Geoderma 109, 165–190.
PRGOMET, I., PASCUAL-SEVA, N., MORAİS, M.C., AİRES, A., BARREALES, D., CASTRO RİBEİRO, A., SİLVA, A.P., I.R.N.A. BARROS, A., GONÇALVES, B., 2020. Physiological and biochemical performance of almond trees under deficit irrigation. Scientia Horticulturae 261, 108990.
RAHMATİ, O., TAHMASEBİPOUR, N., HAGHİZADEH, A., POURGHASEMİ, H.R., FEİZİZADEH, B., 2017. Evaluating the influence of geo-environmental factors on gully erosion in a semi-arid region of Iran: An integrated framework. Science of The Total Environment 579, 913–927.
RAİ, S.C., SHARMA, E., 1998. Comparative assessment of runoff characteristics under different land use patterns within a Himalayan watershed. Hydrological Processes 12, 2235–2248.
RAWLİNS, B.G., HARRİS, J., PRİCE, S., BARTLETT, M., 2015. A review of climate change impacts on urban soil functions with examples and policy insights from England, UK. Soil Use and Management 31, 46–61.
REED, M., KİTE, S., 2020. Peripheral gully and landslide erosion on an extreme anthropogenic landscape produced by mountaintop removal coal mining. Earth Surface Processes and Landforms 45, 2078–2090.
RİCHARDS, J.A., 1999. Remote sensing digital image analysis, Vol. 3. ed. Springer International Publishing, Berlin.
RİCHTER, D. DEB., BACON, A.R., MOBLEY, M.L., RİCHARDSON, C.J., ANDREWS, S.S., WEST, L., WİLLS, S., BİLLİNGS, S., CAMBARDELLA,

C.A., CAVALLARO, N., DEMEESTER, J.E., FRANZLUEBBERS, A.J., GRANDY, A.S., GRUNWALD, S., GRUVER, J., HARTSHORN, A.S., JANZEN, H., KRAMER, M.G., LADHA, J.K., LAJTHA, K., LİLES, G.C., MARKEWİTZ, D., MEGONİGAL, P.J., MERMUT, A.R., RASMUSSEN, C., ROBİNSON, D.A., SMİTH, P., STİLES, C.A., TATE, R.L., THOMPSON, A., TUGEL, A.J., VAN ES, H., YAALON, D., ZOBECK, T.M., 2011. Human-Soil Relations are Changing Rapidly: Proposals from SSSA's Cross-Divisional Soil Change Working Group. Soil Science Society of America Journal 75, 2079–2084.

RİZZO, C., GUİDO, G., PİNO, G., PİROTTİ, T., ANZİLLİ, L., 2022. A fuzzy expert system for sustainable local development. Regional Studies 56, 808–817.

ROBERT, P., STONE, P., 2015. Universal Soil Loss Equation Ministry of Agriculture, Foof and Rural Affairs.

ROSSİTER, D.G., 1996. A theoretical framework for land evaluation. Geoderma 72, 165–190.

ROUSE, J.W., HAAS, R.H., SCHELL, J.A., DEERİNG, D.W., 1974. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS, in: Proceedings of the Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium. NASA, pp. 309–317.

SALVATİ, L., 2010. Exploring the relationship between agricultural productivity and land degradation in a dry region of southern Europe. New Medit 9, 35–40.

SAMUİ, P., SİTHARAM, T.G., 2011. Machine learning modelling for predicting soil liquefaction susceptibility. Nat Hazards Earth Syst Sci 11, 1–9.

SARMADİANA, F., KESHAVARZİA, A., RAJABPOURA, B., ASKARİA, S., 2010. Application of MCDM method in fuzzy modeling of land suitability evaluation, in: 19th World Congress of Soil Science. p. 28.

SCHALDACH, R., KOCH, J., AUS DER BEEK, T., KYNAST, E., FLÖRKE, M., 2012. Current and future irrigation water requirements in pan-Europe: An integrated analysis of socio-economic and climate scenarios. Global and Planetary Change 94–95, 33–45.

SCHMİDHUBER, J., 2015. Deep learning in neural networks: An overview. Neural Networks 61, 85–117.

SEİF-ENNASR, M., BOUCHAOU, L., EL MORJANİ, Z.E.A., HİRİCH, A., BERAAOUZ, E.H., CHOUKR-ALLAH, R., 2020. GIS-Based Land Suitability and Crop Vulnerability Assessment under Climate Change in Chtouka Ait Baha, Morocco. Atmosphere 11, 1167.

SEN, Z., 2016. Spatial Dependence Measures, in: Spatial Modeling Principles in Earth Sciences. Springer International Publishing, Cham, pp. 177–252.

SENEL, G., 2018. Delineation of Water Bodies with Landsat 8 and Sentinel 2 Satellite Imagery Using Different Image Processing Algorithms.

SEO, Y., KİM, S., SİNGH, V.P., 2015. Estimating Spatial Precipitation Using Regression Kriging and Artificial Neural Network Residual Kriging (RKNNRK) Hybrid Approach. Water Resources Management 29, 2189–2204.

SERGEEV, A.P., BUEVİCH, A.G., BAGLAEVA, E.M., SHİCHKİN, A. V, 2019. Combining spatial autocorrelation with machine learning increases prediction accuracy of soil heavy metals. CATENA 174, 425–435.

SFAR FELFOUL, M., SNANE, M.H., ALBERGEL, J., MECHERGUİ, M., 2003. Relationship between small dam efficiency and gully erodibility of the lithologic formations covering their watershed. Bulletin of Engineering Geology and the Environment 62, 315–322.

SHAHABİ, H., JARİHANİ, B., TAVAKKOLİ PİRALİLOU, S., CHİTTLEBOROUGH, D., AVAND, M., GHORBANZADEH, O., 2019. A Semi-Automated Object-Based Gully Networks Detection Using Different Machine Learning Models: A Case Study of Bowen Catchment, Queensland, Australia. Sensors 19, 4893.

SHİNDE, V., TİWARİ, K.., SİNGH, M., 2010. Prioritization of micro watersheds on the basis of soil erosion hazard using remote sensing and geographic information system. International Journal of Water Resources and Environmental Engineering 2, 130–136.

SHRUTHİ, R.B.V., KERLE, N., JETTEN, V., 2011. Object-based gully feature extraction using high spatial resolution imagery. Geomorphology 134, 260–268.

SHRUTHİ, R.B.V., KERLE, N., JETTEN, V., ABDELLAH, L., MACHMACH, I., 2015. Quantifying temporal changes in gully erosion areas with object oriented analysis. CATENA 128, 262–277.

SHRUTHİ, R.B.V., KERLE, N., JETTEN, V., STEİN, A., 2014. Object-based gully system prediction from medium resolution imagery using Random Forests. Geomorphology 216, 283–294.

SİNGHA, C., SWAİN, K.C., 2016. Land suitability evaluation criteria for agricultural crop selection: A review. Agricultural Reviews 37.

SONG, Y.Q., YANG, L.A., Lİ, B., HU, Y.M., WANG, A. LE, ZHOU, W., CUİ, X. SEN, LİU, Y.L., 2017. Spatial prediction of soil organic matter using a hybrid geostatistical model of an extreme learning machine and ordinary kriging. Sustainability (Switzerland) 9.

SONNEVELD, M.P.W., HACK-TEN BROEKE, M.J.D., VAN DİEPEN, C.A., BOOGAARD, H.L., 2010. Thirty years of systematic land evaluation in the Netherlands. Geoderma 156, 84–92.

SUNGURLU, O., 1974. VI. Geology of the northern areas of the region, in: Turkey Second Petroleum Congress. pp. 85–107.

SYS, C., VAN, D.J., BEERNAERT, F., 1993. Land Evaluation. Part III: crop requirements., Agricultural Publications General Administration for Dev. Belgium.

SYS, P., 1985. Land evaluation, International training centre for post graduate soil scientist. Ghent, State University.

SZATMÁRİ, G., BARTA, K., PÁSZTOR, L., 2016. Multivariate Sampling Design Optimization for Digital Soil Mapping BT - Digital Soil Mapping Across Paradigms, Scales and Boundaries, in: Zhang, G.-L., Brus, D., Liu, F., Song, X.-D., Lagacherie, P. (Eds.), . Springer Singapore, Singapore, pp. 77–87.

TAHRAOUİ, H., AMRANE, A., BELHADJ, A.-E., ZHANG, J., 2022. Modeling the organic matter of water using the decision tree coupled with bootstrap aggregated and least-squares boosting. Environmental Technology & Innovation 27, 102419.

TAVAKKOLİ PİRALİLOU, S., SHAHABİ, H., JARİHANİ, B., GHORBANZADEH, O., BLASCHKE, T., GHOLAMNİA, K., MEENA, S., ARYAL, J., 2019. Landslide Detection Using Multi-Scale Image Segmentation and Different Machine Learning Models in the Higher Himalayas. Remote Sensing 11, 2575.

TAYLOR, K.E., 2005. Taylor diagram primer. https://www.atmos.albany.edu/daes/atmclasses/atm401/spring_2016/ppts_pdfs/Taylor_diagram_primer.pdf

TAYLOR, K.E., 2001. Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. Journal of Geophysical Research: Atmospheres 106, 7183–7192.
TESFAYE, K., JALETA, M., JENA, P., MUTENJE, M., 2015. Identifying Potential Recommendation Domains for Conservation Agriculture in Ethiopia, Kenya, and Malawi. Environmental Management 55, 330–346.
THE ALASKA SATELLİTE FACİLİTY, 2022. ALOS PALSAR – Radiometric Terrain Correction.
THİRUPATHİ, M., SHASKİALA, A.., PRABHAKAR, M., 2015. VARIABILITY STUDY ON THE LENGTH OF GROWING PERIOD (LGP) USING GROUND AND SPACE BASED (MODIS) DATA FOR THE SELECTED MANDALS OF WARANGAL DISTRICT. International Journal of Advancement in Remote Sensing, GIS and Geography 3, 48–58.
THOMPSON, J.A., ROECKER, S., GRUNWALD, S., OWENS, P.R., 2012. Chapter 21 - Digital Soil Mapping: Interactions with and Applications for Hydropedology, in: Lin, H.B.T.-H. (Ed.), . Academic Press, Boston, pp. 665–709.
THORNE, C., ZEVENBERGEN, L., 1990. Prediction of ephemeral gully erosion on cropland in the south-eastern United States, in: Soil Erosion on Agricultural Land. John Wiley \& Sons Ltd, pp. 447–470.
TISDALL, J.M., OADES, J.M., 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. Journal of Soil Science 33, 141–163.
TORRİ, D., BORSELLİ, L., 2003. Equation for high-rate gully erosion. CATENA 50, 449–467.
TUNA, D., 1973. Explanatory report of the nomenclature of regional lithostratigraphic units (No. 813).
USDA-NATURAL RESOURCES CONSERVATİON SERVİCE, 2014. Keys to Soil Taxonomy.
USDA-NRCS, 1996. Soil survey laboratory methods manual, Soil Surve. ed. Soil Survey Center, Lincoln.
UTSUMİ, A.G., PİSSARRA, T.C.T., ROSALEN, D.L., MARTİNS FİLHO, M.V., ROTTA, L.H.S., 2020. Gully mapping using geographic object-based image analysis: A case study at catchment scale in the Brazilian Cerrado. Remote Sensing Applications: Society and Environment 20, 100399.
VALBUENA, D., ERENSTEİN, O., HOMANN-KEE TUİ, S., ABDOULAYE, T., CLAESSENS, L., DUNCAN, A.J., GÉRARD, B., RUFİNO, M.C., TEUFEL, N., VAN ROOYEN, A., VAN WİJK, M.T., 2012. Conservation Agriculture in mixed crop–livestock systems: Scoping crop residue trade-offs in Sub-Saharan Africa and South Asia. Field Crops Research 132, 175–184.
VALENTİN, C., POESEN, J., Lİ, Y., 2005. Gully erosion: Impacts, factors and control. CATENA 63, 132–153.
VALLE JÚNİOR, R.F. DO, SİQUEİRA, H.E., VALERA, C.A., OLİVEİRA, C.F., SANCHES FERNANDES, L.F., MOURA, J.P., PACHECO, F.A.L., 2019. Diagnosis of degraded pastures using an improved NDVI-based remote sensing approach: An application to the Environmental Protection Area of Uberaba River Basin (Minas Gerais, Brazil). Remote Sensing Applications: Society and Environment 14, 20–33.
VAN RANST, E., TANG, H., GROENEMAM, R., SİNTHURAHAT, S., 1996. Application of fuzzy logic to land suitability for rubber production in peninsular Thailand. Geoderma 70, 1–19.

VERES, M., LACEY, G., TAYLOR, G.W., 2015. Deep Learning Architectures for Soil Property Prediction, in: 2015 12th Conference on Computer and Robot Vision. pp. 8–15.
VOGL, T.P., MANGİS, J.K., RİGLER, A.K., ZİNK, W.T., ALKON, D.L., 1988. Accelerating the convergence of the back-propagation method. Biological Cybernetics 59, 257–263.
WATSON, N., 2012. Using Mean Absolute Error for Forecast Accuracy Omaha Data Science Academy. https://canworksmart.com/using-mean-absolute-error-forecast-accuracy/
WEBSTER, R., 1985. Quantitative Spatial Analysis of Soil in the Field. pp. 1–70.
WEBSTER, R., OLİVER, M.A., 2007. Geostatistics for Environmental Scientists., 2 nd. ed, Vadose Zone Journal. NJ, United States.
WEST, T.O., POST, W.M., 2002. Soil Organic Carbon Sequestration Rates by Tillage and Crop Rotation. Soil Science Society of America Journal 66, 1930–1946.
WİLLİAMS, J., 1995. The EPIC model, in: Singh, V.. (Ed.), Computer Models of Watershed Hydrology. Water Resources Publications, pp. 909–1000.
WİSCHMEİER, W.H., SMİTH, D.D., 1978. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning, No.537. ed. Department of Agriculture, Science and Education Administration.
WİTHARANA, C., CİVCO, D.L., 2014. Optimizing multi-resolution segmentation scale using empirical methods: Exploring the sensitivity of the supervised discrepancy measure Euclidean distance 2 (ED2). ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 87, 108–121.
WOODROFF, J.G., 1982. Tree Nuts. Avi Publishing Company. Inc., Wespart Connectiant.
WORQLUL, A.W., DİLE, Y.T., JEONG, J., ADİMASSU, Z., LEFORE, N., GERİK, T., SRİNİVASAN, R., CLARKE, N., 2019. Effect of climate change on land suitability for surface irrigation and irrigation potential of the shallow groundwater in Ghana. Computers and Electronics in Agriculture 157, 110–125.
WU, C., WU, J., LUO, Y., ZHANG, L., DEGLORİA, S.D., 2009. Spatial Prediction of Soil Organic Matter Content Using Cokriging with Remotely Sensed Data. Soil Science Society of America Journal 73, 1202–1208.
WU, H., XU, X., ZHENG, F., QİN, C., HE, X., 2018. Gully morphological characteristics in the loess hilly-gully region based on 3D laser scanning technique. Earth Surface Processes and Landforms 43, 1701–1710.
XİE, B., DİNG, J., GE, X., Lİ, X., HAN, L., WANG, Z., 2022. Estimation of Soil Organic Carbon Content in the Ebinur Lake Wetland, Xinjiang, China, Based on Multisource Remote Sensing Data and Ensemble Learning Algorithms. Sensors 22, 2685.
XU, Z., ZHAO, X., GUO, X., GUO, J., 2019. Deep Learning Application for Predicting Soil Organic Matter Content by VIS-NIR Spectroscopy. Computational Intelligence and Neuroscience 2019, 1–11.
YAMAMOTO, J.K., 2005. Comparing ordinary kriging interpolation variance and indicator kriging conditional variance for assessing uncertainties at unsampled locations.
YANG, L., JİAO, Y., FAHMY, S., ZHU, A.-X., HANN, S., BURT, J.E., Qİ, F., 2011. Updating Conventional Soil Maps through Digital Soil Mapping. Soil Science Society of America Journal 75, 1044–1053.

YAQOOB, N., ALİ, S.A., KANNAİAH, D., KHAN, N., SHABBİR, M.S., BİLAL, K., TABASH, M.I., 2022. The effects of Agriculture Productivity, Land Intensification, on Sustainable Economic Growth: A panel analysis from Bangladesh, India, and Pakistan Economies. Environmental Science and Pollution Research.

YILDIRIM, Y., 2004. Kuruluş yeri bakımından Besni ilçe merkezi (Adıyaman) ve çevresinin jeomorfolojisi. Fırat Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ, 122s.

YUAN, Q., SHEN, H., Lİ, T., Lİ, Z., Lİ, S., JİANG, Y., XU, H., TAN, W., YANG, Q., WANG, J., GAO, J., ZHANG, L., 2020. Deep learning in environmental remote sensing: Achievements and challenges. Remote Sensing of Environment 241, 111716.

ZABİHİ, M., MİRCHOOLİ, F., MOTEVALLİ, A., KHALEDİ DARVİSHAN, A., POURGHASEMİ, H.R., ZAKERİ, M.A., SADİGHİ, F., 2018. Spatial modelling of gully erosion in Mazandaran Province, northern Iran. CATENA 161, 1–13.

ZADEH, L.A., FU, K.-S., TANAKA, K., SHİMURA, M., 1975. Fuzzy Sets and Their Applications to Cognitive and Decision Processes. Academic Press, New York.

ZHAO, Z., CHOW, T.L., REES, H.W., YANG, Q., XİNG, Z., MENG, F.-R., 2009. Predict soil texture distributions using an artificial neural network model. Computers and Electronics in Agriculture 65, 36–48.

ZHAO, Z., YANG, Q., BENOY, G., CHOW, T.L., XİNG, Z., REES, H.W., MENG, F.-R., 2010. Using artificial neural network models to produce soil organic carbon content distribution maps across landscapes. Canadian Journal of Soil Science 90, 75–87.

ZHU, D., WANG, T.W., CAİ, C.F., Lİ, L., SHİ, Z.H., 2009. Large-scale assessment of soil erosion using a neuro-fuzzy model combined with GIS: A case study of Hubei Province, China. Land Degradation & Development 20, 654–666.

ZHU, Q., LİN, H.S., 2010. Comparing ordinary kriging and regression kriging for soil properties in contrasting landscapes. Pedosphere 20, 594–606.

ZİELİNSKİ, S., 2005. WMO head highlights link between climate and land degradation. Eos, Transactions American Geophysical Union 86, 436.

ŽÍŽALA, D., MİNAŘÍK, R., SKÁLA, J., BEİTLEROVÁ, H., JUŘİCOVÁ, A., REYES ROJAS, J., PENÍŽEK, V., ZÁDOROVÁ, T., 2022. High-resolution agriculture soil property maps from digital soil mapping methods, Czech Republic. CATENA 212, 106024.

ZGŁOBİCKİ, W., BARAN-ZGŁOBİCKA, B., GAWRYSİAK, L., TELECKA, M., 2015. The impact of permanent gullies on present-day land use and agriculture in loess areas (E. Poland). CATENA 126, 28–36