

**T.C.  
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ  
TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANA BİLİM DALI**



**AYÇİÇEĞİ TARIMI YAPILAN TOPRAKLARIN SMAF  
MODELİ İLE TOPRAK KALİTE İNDİSLERİNİN  
BELİRLENMESİ: TOKAT-ZİLE, BELPINAR KÖYÜ ÖRNEĞİ**

Yüksek Lisans Tezi

**Sena PACCİ**

Danışman

**Prof. Dr. Orhan DENGİZ**

SAMSUN  
2023

## TEZ KABUL VE ONAYI

Sena PACCİ tarafından, Prof. Dr. Orhan DENGİZ danışmanlığında hazırlanan “AYÇİÇEĞİ TARIMI YAPILAN TOPRAKLARIN SMAF MODELİ İLE TOPRAK KALİTE İNDİSLERİNİN BELİRLENMESİ: TOKAT-ZİLE, BELPINAR KÖYÜ ÖRNEĞİ ” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından ..... tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

|        | Unvanı Adı Soyadı<br>Üniversitesi<br>Ana Bilim/Ana Sanat Dalı                                             | Sonuç                                                                     |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Başkan | Prof. Dr. Coşkun GÜLSER<br>Ondokuz Mayıs Üniversitesi<br>Toprak Bilimi ve Bitki Besleme<br>Ana Bilim Dalı | <input checked="" type="checkbox"/> Kabul<br><input type="checkbox"/> Ret |
| Üye    | Prof. Dr. Orhan DENGİZ<br>Ondokuz Mayıs Üniversitesi<br>Toprak Bilimi ve Bitki Besleme<br>Ana Bilim Dalı  | <input checked="" type="checkbox"/> Kabul<br><input type="checkbox"/> Ret |
| Üye    | Doç. Dr. İnci DEMİRAĞ<br>TURAN<br>Samsun Üniversitesi Coğrafya<br>Ana Bilim Dalı                          | <input checked="" type="checkbox"/> Kabul<br><input type="checkbox"/> Ret |

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarıda adları yazılı jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

Prof. Dr. Ali BOLAT  
Enstitü Müdürü

## BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım Yüksek Lisans tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığını taahhüt ve beyan ederim.

Etik Kurul Gerekli mi ?

Evet ☐ (Gerekli ise ekler kısmına ekleyiniz)

Hayır ☒

19/12/ 2022  
Sena PACCİ

## TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

**Tez Başlığı :** AYÇİÇEĞİ TARIMI YAPILAN TOPRAKLARIN SMAF MODELİ İLE TOPRAK KALİTE İNDİSLERİNİN BELİRLENMESİ: TOKAT-ZİLE, BELPINAR KÖYÜ ÖRNEĞİ

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 19/12/2022 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : % 23

Tek kaynak oranı : % 5 çıkmıştır.

19 /12 / 2022  
Prof. Dr. Orhan DENGİZ

## ÖZET

### AYÇİÇEĞİ TARIMI YAPILAN TOPRAKLARIN SMAF MODELİ İLE TOPRAK KALİTE İNDİSLERİNİN BELİRLENMESİ: TOKAT-ZİLE, BELPINAR KÖYÜ ÖRNEĞİ

Sena PACCİ  
Ondokuz Mayıs Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Ana Bilim Dalı  
Yüksek Lisans, Ocak/2023  
Danışman: Prof. Dr. Orhan DENGİZ

Toprak yönetimi uygulamalarının toprağın fonksiyonlarındaki değişimleri ortaya koymak ve değerlendirmek için kullanılan metotları geliştirmek ve genişletmek amacıyla birçok yaklaşımlar bulunmaktadır. Bunlardan birisi de SMAF (Toprak Amenajmanı Değerlendirme Çerçevesi) modelidir. Bu çalışmanın amacı, yarı kurak karasal ekosisteme sahip olan ve Tokat Zile Ovası içerisinde yer alan tarım arazilerinde, SMAF (Toprak Amenajmanı Değerlendirme Çerçevesi) modeli kullanılarak ayçiçeği tarımı yapılan arazilerin fiziksel, kimyasal ve biyolojik toprak kalite indeks değerleri ile toplam toprak kalite özelliklerini belirlemektir. Bu amaçla, 1667 ha büyüklüğündeki araştırma alanını temsil eden 175 adet yüzey (0-30 cm) toprak örnekleme yapılmıştır. SMAF modeli toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik indikatörleri kapsamında; yarayışlı su içeriği, su dolu gözenek hacmi, hacim ağırlığı, agregat stabilitesi, toprak organik karbon içeriği, toprak pH'sı, elektriksel iletkenlik, sodyum adsorpsiyon oranı, bitkiye yarayışlı fosfor ve potasyum, azot içeriği, mikrobiyal biyokütle karbonu ve beta-Glukosidaz enzim aktivitesi indikatörleri olmak üzere toplam 13 indikatör içermektedir. Elde edilen sonuçlara göre, çalışma alanı topraklarının ayçiçeği tarımı için kimyasal kalite indeksinin düşük sınıfta, biyolojik kalite indeksinin ise yüksek sınıfta olduğu belirlenmiştir. Ayrıca fiziksel toprak kalite orta ve toplam kalite indeks değerlerinin ise yüksek düzeyde oldukları belirlenmiştir. Fiziksel, kimyasal, biyolojik ve toplam toprak kalitesi endeksinin dağılımı, araştırma alanının güney bölümünde, çalışma alanının diğer bölümleriyle karşılaştırıldığında daha yüksek değer göstermektedir.

**Anahtar Sözcükler:** Toprak kalitesi, SMAF modeli, Coğrafi bilgi sistemi

## ABSTRACT

### DETERMINATION OF SOIL QUALITY INDEX FOR SUNFLOWER CULTIVATED SOILS WITH SMAF MODEL. CASE STUDY; TOKAT-ZILE, BELPINAR VILLAGE

Sena PACCI  
Ondokuz Mayıs University  
Institute of Graduate Studies  
Department of Soil Science and Plant Nutrition  
Master, January/2023  
Supervisor: Prof. Dr. Orhan DENGİZ

There are many approaches to improve and disseminate the methods used to identify and evaluate changes in soil functions of soil management practices. One of them is the SMAF (Soil Management Assessment Framework) model. The aim of this study to determine physical, chemical and biological soil quality index values and total soil quality characteristics of cultivated soils for sunflower in agricultural areas of Tokat-Zile Plain which has semi-arid terrestrial ecosystems by using SMAF (Soil Management Assessment Framework) model. For this purpose, 175 soil samples were collected from surface soil (0-30 cm) in the study area which covers about 1667 ha. SMAF model includes 13 indicators such as aggregate stability, available water content, water-filled pore volume, total organic carbon, pH, electrical conductivity, the sodium adsorption ratio (SAR), microbial biomass carbon, available phosphorus,  $\beta$ -Glukosidaz enzyme activity, total nitrogen and available potassium as physical, chemical and biological indicators. According to obtained results, it is determined that while the chemical quality index of the soils cultivated for sunflower was in the low class, biological quality of them was found in high quality class. In addition, physical and total soil quality indexes were found as moderate and high quality class. Distribution of physical, chemical, biological and total soil quality index show higher value in the sought part of the research area, when it is compared with the other parts of the study area.

**Keywords:** Soil quality, SMAF model, Geographic information system

## ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR

Önemi gün geçtikçe daha da artan toprak kalitesi kavramını araştırmak, bu konuda yapılan çalışmalara farklı bir yaklaşım kullanarak bir yenisini eklemek ve ileride yapılacak daha nice çalışmalara önemli bilimsel katkılar sağlamak amacı ile yüksek lisans tez çalışmam gerçekleştirilmiştir.

Yalnızca çalışma sürecimde değil; lisans ve lisansüstü eğitimim boyunca bilgi ve tecrübelerini benden esirgemeyen, bilimin ışığında kararlı adımlarla yürümem için bana devamlı destek olan ve yol gösteren, beraber çalışmaktan gurur duyduğum kıymetli hocam Prof. Dr. Orhan DENGİZ'e

İlerlemekte olduğum bu yolda bana örnek olan, saygıdeğer bölüm hocalarım Prof. Dr. Coşkun GÜLSER, Prof. Dr. Rıdvan Kızılkaya, Prof. Dr. Nutullah ÖZTÜRK, Prof. Dr. İmanverdi EKBERLİ, Prof. Dr. Ayhan HORUZ ve Doç. Dr. Mustafa SAĞLAM'a

Kendilerini tanıdığım ilk günden itibaren şahsıma göstermiş olduğu güler yüz ve samimiyetlerinin yanı sıra, çalışkanlıkları ve başarılarıyla bana örnek olan değerli hocalarım Doç. Dr. Pelin ALABOZ ve Doç. Dr. Fikret SAYGIN'a

Tez çalışmalarım boyunca ihtiyaç duyduğum her zaman desteklerini gördüğüm Dr. Songül RAKICIOĞLU, Araş. Gör. Abdurrahman AY, Araş. Gör. Salih DEMİRKAYA, Araş. Gör. Güney AKINOĞLU ve Yük. Zir. Müh. Caner GÖKÇE'ye

Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi'nde tanıştığım, yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşlarım Zir. Müh. Sahbatullah HAİDARİ, Zir. Müh. Edip Erhan KÜÇÜK ve Zir. Müh. Ayşe Asel FİDAN'a

Hayatımın her anında varlıklarını devamlı hissettiğim, bana olan güvenleri ile kendime güvenmemi, hep daha ileri bakmamı sağlayan kıymetli arkadaşlarım Yük. Zir. Müh. Belkıs KARAPIÇAK ve Zekiye GÜNEŞ'e

Hayatım boyunca en büyük destekçilerim olan babam Ali PACCİ, annem Hülya PACCİ ve canım kardeşlerime en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Sena PACCİ

## İÇİNDEKİLER

|                                                                    |           |
|--------------------------------------------------------------------|-----------|
| TEZ KABUL VE ONAYI .....                                           | i         |
| BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI .....                               | ii        |
| TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI .....                         | ii        |
| ÖZET .....                                                         | iii       |
| ABSTRACT .....                                                     | iv        |
| ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....                                            | v         |
| İÇİNDEKİLER .....                                                  | vi        |
| SİMGELER VE KISALTMALAR .....                                      | vii       |
| ŞEKİLLER DİZİNİ .....                                              | viii      |
| TABLolar DİZİNİ .....                                              | ix        |
| <b>1. GİRİŞ .....</b>                                              | <b>1</b>  |
| <b>2. KAYNAK ÖZETLERİ .....</b>                                    | <b>5</b>  |
| 2.1. Toprak Kalitesinin Tanımı .....                               | 5         |
| 2.2. Toprak Kalitesi ile İlgili Yapılan Bazı Çalışmalar .....      | 7         |
| <b>3. MATERYAL VE YÖNTEM .....</b>                                 | <b>11</b> |
| 3.1. Araştırma alanının genel özellikleri .....                    | 11        |
| 3.2. Yöntem .....                                                  | 15        |
| 3.2.1. Arazi Kullanımı-Arazi Örtüsü .....                          | 15        |
| 3.2.2. SMAF Modeli .....                                           | 16        |
| 3.2.3. Toprak Örneklemesi ve Analizler .....                       | 22        |
| 3.2.4. İstatistik ve Jeostatistik Analizler .....                  | 25        |
| <b>4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....</b>                               | <b>26</b> |
| 4.1. Araştırma Alanı Mevcut Arazi Kullanım ve Arazi Örtüsü .....   | 26        |
| 4.2. Toprakların Fiziksel, Kimyasal ve Biyolojik Özellikleri ..... | 27        |
| 4.3. Parametrelerin Dağılım Haritaları .....                       | 32        |
| 4.3.1. Agregat Stabilesi .....                                     | 32        |
| 4.3.2. Yarayışlı Su İçeriği .....                                  | 33        |
| 4.3.3. Hacim Ağırlığı .....                                        | 34        |
| 4.3.4. Su Dolu Gözenek Hacmi .....                                 | 35        |
| 4.3.5. Toprak Reaksiyonu (pH) .....                                | 37        |
| 4.3.6. Elektriksel İletkenlik (EC) .....                           | 38        |
| 4.3.7. Bitkiye Yarayışlı Fosfor .....                              | 39        |
| 4.3.8. Bitkiye Yarayışlı Potasyum .....                            | 40        |
| 4.3.9. Toplam Azot .....                                           | 41        |
| 4.3.10. Sodyum Adsorpsiyon Oranı .....                             | 42        |
| 4.3.11. Toprak Organik Karbon İçeriği .....                        | 44        |
| 4.3.12. Mikrobiyal Biyokütle Karbonu .....                         | 45        |
| 4.3.13. beta-Glukozidaz Enzim Aktivitesi .....                     | 46        |
| 4.4. SMAF Modeli Yardımıyla Toprak Kalitesi .....                  | 48        |
| 4.4.1. Fiziksel Toprak Kalitesi .....                              | 48        |
| 4.4.2. Kimyasal Toprak Kalitesi .....                              | 49        |
| 4.4.3. Biyolojik Toprak Kalitesi .....                             | 51        |
| 4.4.4. SMAF Toplam Toprak Kalitesi .....                           | 52        |
| <b>5. SONUÇ VE ÖNERİ .....</b>                                     | <b>56</b> |
| <b>KAYNAKÇA .....</b>                                              | <b>59</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>                                              | <b>68</b> |

## SİMGELER VE KISALTMALAR

|         |                                               |
|---------|-----------------------------------------------|
| AGG     | : Agregat Stabilitesi                         |
| AS      | : Agregat Stabilitesi                         |
| AKAÖ    | : Arazi Kullanımı Arazi Örtüsü                |
| AWC     | : Yarayışlı Su İçeriği                        |
| BD      | : Hacim Ağırlığı                              |
| BG      | : $\beta$ -Glikosidaz enzim aktivitesi        |
| BKS     | : Biyolojik Kalite Skoru                      |
| CBS     | : Coğrafi Bilgi Sistemi                       |
| EC      | : Elektriksel İletkenlik                      |
| Ex-K    | : Bitkiye Yarayışlı Potasyum                  |
| FKS     | : Fiziksel Kalite Skoru                       |
| GPS     | : Küresel Konumlandırma Sistemi               |
| IDW     | : Ters Mesafe Ağırlıklandırma                 |
| KKS     | : Kimyasal Kalite Skoru                       |
| MBC     | : Mikrobiyal Biyomas Karbon                   |
| MEDALUS | : Akdeniz Çölleşme ve Arazi Kullanımı         |
| NASA    | : Ulusal Havacılık Dairesi                    |
| NRS     | : Ulusal Araştırma Konseyi                    |
| P       | : Fosfor                                      |
| pH      | : Toprak Reaksiyonu                           |
| PMN     | : Toplam Azot                                 |
| SMAF    | : Toprak Amenajmanı Değerlendirme Çerçevesi   |
| SAR     | : Sodyum Absorpsiyon Oranı                    |
| TİGEM   | : Tarım İşletmeleri Genel Müdürlüğü           |
| TKİ     | : Toprak Kalite İndeksi                       |
| TKS     | : Toplam Kalite Skoru                         |
| TOC     | : Total Organik Karbon                        |
| USDA    | : Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı |
| WFPS    | : Suyla Dolu Gözenek Hacmi                    |
| YS      | : Yarayışlı Su İçeriği                        |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 3.1. Çalışma alanı lokasyon haritası.....                                                   | 11 |
| Şekil 3.2. Çalışma alanına ait yükseklik, eğim, bakı ve dem haritaları.....                       | 12 |
| Şekil 3.3. Çalışma alanına ait jeoloji haritası.....                                              | 13 |
| Şekil 3.4. Newhall metoduna göre aylara göre toprak sıcaklık ve toprak nem dağılımı.....          | 14 |
| Şekil 3.5. Newhall modeline göre toprak su bütçesi diyagramı.....                                 | 14 |
| Şekil 3.6. Kontrollü sınıflandırma yönteminin temel aşamaları.....                                | 15 |
| Şekil 3.7. Toprak kalite indeksinin hesaplanması aşamaları.....                                   | 16 |
| Şekil 3.8. Daha fazla daha iyidir puanlama eğrisi.....                                            | 19 |
| Şekil 3.9. Daha az daha iyidir puanlama eğrisi.....                                               | 20 |
| Şekil 3.10. Optimum alan puanlama eğrisi.....                                                     | 20 |
| Şekil 3.11. Çalışma alanında dağılım gösteren yüzey toprak örnekleme deseni.....                  | 21 |
| Şekil 4.1. Çalışma alanına ait sentinal uydu görüntüsü ve arazi kullanım-arazi örtü haritası..... | 24 |
| Şekil 4.2. Toprakların agregat stabilitesine yönelik dağılım haritası.....                        | 30 |
| Şekil 4.3. Toprakların yarayışlı su içeriğine yönelik dağılım haritası.....                       | 32 |
| Şekil 4.4. Toprakların hacim ağırlığı içeriğine yönelik dağılım haritası.....                     | 33 |
| Şekil 4.5. Toprakların su dolu gözenek hacmine yönelik dağılım haritası.....                      | 34 |
| Şekil 4.6. Toprakların pH dağılım haritası.....                                                   | 35 |
| Şekil 4.7. Toprakların EC dağılım haritası.....                                                   | 36 |
| Şekil 4.8. Toprakların bitkiye yarayışlı fosfor içeriğine yönelik dağılım haritası.....           | 38 |
| Şekil 4.9. Toprakların bitkiye yarayışlı potasyum içeriğine yönelik dağılım haritası.....         | 39 |
| Şekil 4.10. Toprakların azot içeriğine yönelik dağılım haritası.....                              | 40 |
| Şekil 4.11. Toprakların SAR değerlerine yönelik dağılım haritası.....                             | 41 |
| Şekil 4.12. Toprakların organik karbon içeriğine yönelik dağılım haritası.....                    | 42 |
| Şekil 4.13. Toprakların mikrobiyal biyokütle karbon içeriğine yönelik dağılım haritası.....       | 43 |
| Şekil 4.14. Toprakların $\beta$ -glukozidaz enzim aktivitesine yönelik dağılım haritası.....      | 45 |
| Şekil 4.15. Çalışma alanına ait fiziksel toprak kalitesi dağılım haritası.....                    | 46 |
| Şekil 4.16. Çalışma alanına ait kimyasal toprak kalitesi dağılım haritası.....                    | 48 |
| Şekil 4.17. Çalışma alanına ait biyolojik toprak kalitesi dağılım haritası.....                   | 49 |
| Şekil 4.18. Çalışma alanına ait toprak kalitesi dağılım haritası.....                             | 51 |
| Şekil 4.19. Çalışma alanına ait cornell kalite kartı.....                                         | 52 |

## TABLÖLER DİZİNİ

|                                                                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tablo 3.1. Alana ait meteorolojik veriler .....                                                                                                     | 13 |
| Tablo 3.2. İndikatörlerin yorumlanmasında kullanılan algoritmalar.....                                                                              | 17 |
| Tablo 4.1. Çalışma alanına ait arazi kullanım ve arazi örtüsü alansal ve oransal dağılımı.                                                          | 24 |
| Tablo 4.2. Arazi Kullanımı Arazi Örtüsü sınıflamalarına ait doğruluk analiz değerleri....                                                           | 25 |
| Tablo 4.3. Toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri ile kalite skorlarının tanımlayıcı istatistikleri.....                           | 26 |
| Tablo 4.4. Fiziksel, kimyasal, biyolojik ve toprak kalite skorları ile indikatör ve toprak özellikleri arasındaki korelasyon analizi sonuçları..... | 29 |



## 1. GİRİŞ

Topraklar; yerkabuğunun en üst kısmında yer alan, üzerinde ve içerisinde geniş bir canlılar alemi barındıran, yaşayan, nefes alan; kayaların, organik atık ve artıkların ayrışmasından oluşan, yenilenemeyen, üç boyutlu yapıya sahip doğal bir varlık olmasının yanı sıra, insanoğlunun yaşamını devam ettirebilmesi için gerekli olan gıda ve giyeceğin temininde toprak temel bir kaynaktır. Ayrıca, barınma mühendislik ve yeraltı zenginliklerini bünyesinde bulundurma anlamında da çok büyük öneme sahiptir.

Giderek artan insan nüfusuna bağlı olarak toprağa olan ihtiyaç gün geçtikçe daha da artmaktadır. İnsan nüfusunun artışı kentsel ve endüstriyel yerleşim alanlarını da artırmakta, en temel ve yenilenemeyen kaynak olan toprakların, her gün biraz daha azalmasına sebep olmaktadır. Ülkemizde de sürdürülebilir olmayan bu durum devam etmekte ve kullanılabilir durumdaki tarım arazileri giderek azalmaktadır. Nüfusun ve arazi kullanım kabiliyeti düşük arazilerin artması sebebiyle birim alandan daha yüksek verim elde etme amacıyla yapılan tarımsal uygulamalar toprak yapısında bozulmaya neden olmaktadır. Bu bozulmayla birlikte kullanılan kimyasal gübreler ve pestisitler temiz su kaynaklarına da zarar vermektedir. Tarım alanlarının gün geçtikçe azalmasından dolayı orman ve mera alanlarının tarıma açılması, biyo-çeşitliliğin azalmasına, küresel ısınmadaki artışın desteklenmesine, hava kirliliğinin artmasına ve temiz su kaynaklarının azalmasına sebep olmaktadır. Toprak yaşadığımız ekosistem içerisinde ekonomik ve kültürel aktivitelerin temelidir. Toprak ve ekonomi arasındaki önemli bağlantı sebebiyle; tarım, endüstri ve turizm gibi doğrudan ve dolaylı olarak toprak kalitesine bağlı olan birçok ekonomik faaliyet bulunmaktadır. Toprak kalitesinin izlenebilmesi arazilerin bozulmasının önüne geçecek ve tarım arazilerinde sürdürülebilir üretim yapılabilmesini mümkün kılacaktır. Tarımda sürdürülebilir üretim yapabilmek ise toprak ile doğrudan veya dolaylı olarak ilişkili olan ekonomik faaliyetleri olumlu etkileyecektir (Bone ve ark., 2010). Yemefack ve ark., (2006) tarafından yapılan bir çalışmada tarım arazilerinin miktarının arttırılmasından çok hem gıda talebini karşılamak hem de toprakların sürdürülebilir kullanımının devamlılığını sağlama amacıyla toprak kalitesini iyileştirmeye odaklanmanın çok daha büyük önem arz ettiği bildirilmiştir.

Toprağın tohum çimlenmesi için gerekli ortamı sağlama, bitki besin döngüsünü sağlama, karbon depolama, suyu filtre etme, biyotik düzenleme, tamponlama,

potansiyel olarak zararlı elementlerin ve bileşiklerin (örneğin, ağır metaller ve pestisitler) dönüşümünü sağlama gibi birçok fonksiyonları vardır. Bu fonksiyonları kapasitesinin üst sınırlarında yerine getirebilen topraklar kaliteli topraklar olarak adlandırılırlar (Karlen ve ark., 2008) ve uzun yıllar boyunca üretkenliklerini devam ettirebilme potansiyeline sahiptirler. Toprak kalitesi dinamik bir yapıdadır ve insan aktivitesi ile yönetiminden etkilenmektedir. Kalitesi yüksek topraklara sahip olabilmek için toprakların sürdürülebilirliğini destekler nitelikte tarımsal uygulamalar yapılmalıdır ve kalitenin devam etmesi için bu topraklar devamlı izlenmelidir. Toprakların sürdürülebilirliği ancak toprağın yapısına ve çevresel faktörlere zarar vermeden ihtiyaçların giderilmesiyle sağlanabilir. Karlen ve ark., (2008) tarafından yapılan bir çalışmada; gelişmiş ülkelerde, toprak kalitesinin önemini fark edip savunan insanların, toprakların kalitesinin ve veriminin devam edebilmesi için bilim insanlarının sorunları net bir şekilde ortaya koymalarını ve bu sorunlara çözümler üretmelerini talep ettiklerini belirtmişlerdir.

Son yıllarda toprak kalitesinin önemi fark edilmiştir ve toprak kalitesinin belirlenip devamlılığının sağlanması için önemli çalışmalar yapılmaktadır. Toprak kalitesi birçok farklı fiziksel, kimyasal ve biyolojik parametrenin kombinasyonu ile oluşturulan veri setlerinin incelenmesi ve değerlendirilmesi sonucunda belirlenebilir (Doran, 2002). Bilim insanları tam olarak hangi parametrelerin toprak kalitesinin belirlenmesinde kullanılması gerektiği konusunda kesin bir kanıya varamamışlardır. Topraklar oluştukları ana materyalin doğal özellikleri ve bulundukları bölgenin iklimi, topoğrafya, yağış rejimi vb. faktörlere göre farklı kullanımlarda arazide yetiştirilen bitki türü ve yetiştirilme sezonuna göre farklı tepkiler vermektedir. Dinamik yapıda olan bu sistem içerisinde meydana gelen bir olumsuzluk tüm süreçleri etkilemekte ve önlem alınmadığı takdirde yenilenemeyen bir kaynak olan toprakların geriye dönüşsüz bir şekilde kaybına sebebiyet verebilmektedir. Tarımsal uygulamaların nasıl sonuçlar ortaya çıkarabileceğinin belirlenmesi ve olumsuz sonuç ortaya çıkarabilecek durumlarda gerekli önlemlerin alınması büyük önem arz etmektedir. Bu amaçla toprakların izlenip amenajman uygulamalarının toprak fonksiyonları üzerine etkilerinin zamanla değişimini ortaya koyabilecek güvenilir metotlara gereksinim bulunmaktadır (Wienhold ve ark., 2009). Doğal ve dinamik yapıda olan toprakta zaman içerisinde kalitesinde meydana gelen değişiklikleri izlemek için oluşturulmuş birçok metot vardır. Toprak Amenajmanı Değerlendirme Çerçevesi (SMAF) toprak

kalitesini değerlendirmek için oluşturulan bu metotlardan birisidir.

Toprak yönetimi uygulamalarının toprağın fonksiyonlarındaki değişimleri ortaya koymak ve değerlendirmek için kullanılan metotları geliştirmek ve genişletmek amacıyla oluşturulan bu model; Amerika Birleşik Devletleri'nde geliştirilmiş, o bölgede ve dünyanın başka yerlerinde arazi kullanımları ve tarım uygulamaları tarafından tetiklenen toprak kalitesi ve sağlığındaki değişiklikleri değerlendirme amacıyla bir araç olarak kullanılmaktadır. SMAF modeli, toprak kalitesinin belirlenme hedefi ile kullanılacak toprak özelliklerinin belirlenmesi, belirlenen bu özelliklerin yorumlanması ve puanlanması ve yine bu özelliklerin bir indeks içerinde birleştirilmesi aşamalarından meydana gelir. Toprak Amenajmanı Değerlendirme erevesi toprağın fiziksel kalite parametrelerini puanlama amacı ile; hacim ağırlık, su dolu gözenek hacmi, yarayışlı su içeriği, agregat stabilitesi, toprağın kimyasal kalite parametrelerini puanlama amacı ile; pH, elektriksel iletkenlik, bitkiye yarayışlı fosfor, bitkiye yarayışlı potasyum, potansiyel mineralize olabilir azot, sodyum adsorpsiyon oranı, toprak organik karbon içeriği ve toprağın biyolojik kalite parametrelerini puanlama amacı ile ise; mikrobiyal biyokütle karbonu, beta-Glukozidaz enzim aktivitesi olmak üzere 13 parametre kullanılmaktadır (Pacci ve ark., 2021).

Toprakların doğru kullanılması ve devamlılığının sağlanabilmesi için kullanılan en önemli araçlardan bir diğeri de toprak özelliklerini gösteren toprak haritalarıdır. Toprak haritaları bir alanın toprak kalite durumunu ortaya koyan ve bu alanda zaman içerisinde meydana gelen değişiklikleri takip etmemizde yardımcı olan önemli bir kaynaktır. Toprakların yönetiminde doğru yolun izlenmesi ve sürdürülebilirliğinin devam ettirilebilmesi, özelliklerinin doğru bilinmesiyle mümkündür. Bu sebeple oluşturulan toprak haritaları coğrafi bilgi sistemi (CBS) veri tabanına aktarılmalı ve bölgede yapılan tarım uygulamaları bu haritalardan faydalanılarak, toprakların durumları göz önüne alınarak değerlendirilmelidir.

Bilgisayarların donanımsal ve yazılımsal olarak güçlenmelerinin yanı sıra CBS ve uzaktan algılama teknolojilerindeki hızlı gelişmeler ile bu konulara yönelik entegre çalışmalar devam etmektedir. Günümüzde, toprak özellikleri ve toprak kalitesinin CBS ile entegreli olarak haritalarının oluşturulması ve değerlendirilmesi ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır (Bayramın, 2003; Dengiz ve Sarioğlu, 2013; Dedeoğlu ve ark., 2019; Everest ve ark., 2020; Pacci ve ark., 2022).

Yüksek oranda (%22-50) yağ içeriğine sahip olması nedeni ile bitkisel ham yağ üretimi açısından önemli bir yağ bitkisi olan ayçiçeği (*Helianthus annuus*) dünya genelinde bitkisel ham yağ üretiminin %12.6'sını karşılamakta olup, beslenme değeri oldukça yüksektir. Ülkemizde yıllara göre değişmekle beraber, yıllık 220-280 bin ton ayçiçeği yağı üretimiyle bitkisel ham yağ üretiminin %46'sı ayçiçeğinden karşılanmaktadır (USDA, 2020). Ayçiçeği bitkisi karasal ve ılıman iklimin yağışlı bölgelerinde yetiştirilen tek yıllık bir bitkidir ve çok geniş adaptasyon alanına sahiptir. Ayçiçeği; kurak iklim koşullarına pek dayanıklı olmamakla birlikte diğer kültür bitkilerinin yetişmekte zorluk çektiği kurak koşullar altında başarıyla gelişim gösterebilmektedir. Kök sistemi 2 metre kadar derine inebilme yeteneğine sahiptir ve toprakta bulunan suyu en iyi değerlendiren bitkilerden biri olması sebebiyle kısa süreli kuraklıklardan etkilenmemektedir. Ayçiçeği toprak isteği bakımından fazla seçici değildir. Killi ve kumlu bünyede de yetiştiriciliği yapılabilir. Ayrıca organik maddece zengin, pH'sı 6.0-7.2 değerleri arasında, derin, alüvyal topraklar ayçiçeği yetiştirilmesi için çok uygundur. Ayçiçeği tarımı yapılacak arazilerde taban suyu seviyesinin fazla yüksek olmaması ve toprak geçirgenliğinin iyi olması arzu edilen bir durumdur. Tuzluluğa karşı toleransı fazla yüksek olmayan ayçiçeği bitkisi 2-4 mmhos/cm tuz konsantrasyonuna dayanabilmektedir. Bir çapa bitkisi olmasından dolayı kendisinden sonra ekilen bitkiye temiz ve havalanmış bir toprak bırakmaktadır ve bu nedenle iyi bir ekim nöbeti bitkisidir (<https://arastirma.tarimorman.gov.tr/etae/Belgeler/EgitimBrosur/2482012115736884.pdf>).

Bu çalışmada amaç; i) Tokat'ın Zile ilçesinde arpa, buğday, şeker pancarı ve ayçiçeği tarımı yapılan arazilere ait toprakların, Toprak Amenajmanı Değerlendirme Çerçevesi (SMAF) ile ayçiçeği bitkisinin toprak isteklerine göre toprak kalite indekslerinin değerlendirilmesi, ii) CBS ortamında konumsal dağılım haritalarının oluşturulmasıdır.

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

### 2.1. Toprak Kalitesinin Tanımı

Bilimsel literatürdeki en eski toprak kalitesi tanımlaması ilk olarak ‘toprağın üst düzey yönetim koşulları altında mısır, soya fasulyesi ve buğday verebilme yeteneği’ olarak 1971 yılında Mausel tarafından yapılmıştır. Warkentin ve Fletcher, (1977) toprakların yerine getirmesi gereken fonksiyonları sebebiyle bir toprak kalitesi kavramı geliştirmeyi önermiş; toprakların farklı amaçlar ile devamlı kullanıldığını, birden fazla paydaş grubun topraklarla ilgilendiğini, toplumun topraklar üzerindeki öncelikleri ve taleplerinin farklılıklar göstermekte olduğunu ve toprak arazi kullanımı kararlarının insanlar veya kurumlar tarafından alındığından bahsetmiştir. Ayrıca, topraklar arasındaki doğal farklılıklar sebebiyle, toprak kalitesini değerlendirmek için her zaman faydalı olacak tek bir yöntemin olmadığı belirtilmiştir. Günümüzde var olan yöntemlerin birçoğunda, öncelikle çalışılmak istenen fonksiyonlar ve bu fonksiyonların gerçekleştirilmesinde önemli olan gözlem ve ölçümler yapılarak indikatörler belirlenmekte ve tanımlanmaktadır. İndikatörler aracılığıyla fonksiyonların değerlendirilmesi ve toprağın tanımlanan fonksiyonu gerçekleştirebilme kapasitesi hakkında yorum yapmak mümkün olmaktadır (Ditzler ve Tugel, 2002).

Ulusal Araştırma Konseyi (NRC), toprak ve su kalitesi hakkındaki kitabında (National Research Council, 1993), "hava ve su kalitesinin korunması gerektiği gibi toprak kalitesinin de korunması, ulusal politikanın temel amacı olmalıdır" demiştir. Su ve hava kalitesi doğrudan insan ve hayvan tüketimi için sağlamlığı veya doğal ekosistemler üzerinde etkili olan kirlilik dereceleri ile tanımlanır (Bünemann ve ark., 2018). Buna karşılık olarak, toprak kalitesi toprak kirliliğinin derecesi ile sınırlı değildir. Ancak, genel olarak "bir toprağın biyolojik verimliliği sürdürmek, çevresel kaliteyi korumak ve bitki ve hayvan sağlığını desteklemek için ekosistem ve arazi kullanım sınırları içinde çalışma kapasitesi" olarak ifade edilebilir (Doran ve Parkin, 1994, 1996). Doran ve Parkin'in de (1994) açıkça belirttiği gibi, hayvan sağlığı terimi insan sağlığını da kapsar. Toprak kalitesi, hava ve su kalitesinden daha karmaşıktır. Çünkü toprak katı, sıvı ve gaz fazlarını oluşturduğu gibi, aynı zamanda daha çeşitli amaçlar için de kullanılabilir (Nortcliff, 2002).

Bugüne kadar yapılan çalışmaların çoğunda toprak kalitesi ile ilişkili indikatörler belirlenmiş ve çalışılan alanlar için minimum veri setleri oluşturulmuştur

(Andrews ve ark., 2004). Yapılan çalışmalarda, toprak kalitesi indikatörlerini içeren minimum veri setleri genellikle toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinden oluşmaktadır. Bu durum toprağın etkin bir şekilde fonksiyonlarını yerine getirebilmesi için her üç faktöründe (fiziksel, kimyasal ve biyolojik toprak özellikleri) dikkate alınması gerektiğini ifade etmektedir (Ditzler ve Tugel, 2002).

Toprak kalite indekslerinin hesaplandığı birçok çalışmada doğrusal olmayan skorlama fonksiyonları kullanılmıştır (Karlen ve Scott, 1994; Andrews ve ark., 2002; 2004; Marzaioli ve ark., 2010; Wienhold ve ark., 2009; Karlen ve ark., 2013). Skorlama fonksiyonları, indikatörlerle toprak (veya ekosistem) fonksiyonları arasındaki ilişkileri sayısallaştırmakta ve toprak tipi, iklim ve yetiştirilen bitkilere göre göstergeler için öngörülen aralıkları tanımlamaktadır. Lima ve ark. (2013) anlamlı bir toprak kalitesi indeksi hesaplayabilmek için yerel koşulların dikkate alınmasını ve seçilen göstergelerin o bölgeye göre eşik değerlerinin tespit edilmesi gerektiğini belirtmektedir. Skorlama fonksiyonları, ekonomide faydalılığın ölçümünde (Norgaard, 1994) olduğu gibi birçok farklı alanda da kullanılmaktadır.

Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı (USDA) tarafından, toprak kalitesini doğal ve işleyen bir ekosistem içerisindeki bir toprağın; bitkisel ve hayvansal üretimini devam ettirebilme, su ve hava kalitesini arttırabilme ve insan sağlığı için en uygun yaşam ortamını sağlama kriterlerinin tamamını karşılayabilme kapasitesi olarak tanımlanmaktadır (Johnson ve ark., 1997). Bu kapasite toprağın kendi doğasında var olan karakteristik bir özellik olup (Karlen ve ark., 1998); toprak kalite parametrelerinden olan fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklere bağlı olarak topraktan toprağa farklı ekolojik koşullar altında oluşan topraklar arasında farklılık göstermektedir (de Paul Obadeand Lal, 2016). Köklerin gelişimi, organik madde katılımı, ayrışması, toprak canlılarının faaliyetleri, mikroorganizmaların sayısındaki değişimler, katyon değişim kompleksleri gibi toprağın biyolojik ve kimyasal özellikleri ve devam eden süreçleri; toprak strüktürünün dayanıklılığını, buna bağlı olarak gözenek büyüklük dağılımını ve hacim ağırlığı gibi su ve havanın hareketini etkileyen temel fiziksel özellikleri etkilerler (Amezket, 1999). Toprak kalitesinin teşvik ve takip edilmesi, sürdürülebilir arazi kullanımı yönetiminin esasıdır (Karlen ve Rice, 2015). Toprak kalitesi, su ve hava kalitesinin yanı sıra çevre kalitesi adı verilen üç bileşenden bir tanesidir (Andrews ve ark., 2002).

Toprak kalitesi, yönetimden güçlü bir şekilde etkilenebilen ve esas olarak toprak yüzeyinde (0-25 cm) takip edilen dinamik toprak özelliklerine odaklanır (Karlen ve

ark., 2003). Son zamanlarda, arazi değerlendirme yöntemleri artık çevresel risk değerlendirmeleri, çevresel değişimin izlenmesi (Sonneveld ve ark., 2010), arazi restorasyonu (Schwilch ve ark., 2012) ve sürdürülebilir arazi yönetimi (Hurni ve ark., 2015) dahil olmak üzere birçok farklı şekilde ve amaçta kullanıldığından, toprak kalitesi değerlendirmesi giderek daha fazla arazi değerlendirmesine dahil edilmektedir.

Toprak kalitesinin belirlenmesinde iki ana yöntem vardır. Bunların ilki toprak kalitesindeki farklılıkları belirlemek için belirli zaman aralıklarında ölçümler yapmak, ikincisi ise ölçülen değerleri bir standart veya referans toprak koşulları ile karşılaştırmaktır. Bu değerlendirmeler sonucunda; farklı toprak amenajman sistemleri altındaki alanları birbiri ile kıyaslayıp toprak kalitesi üzerine olan etkileri tespit edilir, aynı arazide zaman içerisinde yapılan ölçümlerle, toprak kullanım ve amenajmanına bağlı olarak toprak kalitesindeki değişim ortaya konur, arazi içerisindeki sorunlu alanlar ile sorunsuz alanlar kıyaslanır ve ölçülen değerler, referans alınan toprak koşulu veya doğal ekosistemler ile karşılaştırılır (Cebel, 2011). Toprak kalitesi kavramı, bilimsel ve sosyal geçmişimize bağlı olarak farklı tepkiler uyandırır (Seybold ve ark., 1997).

Leopold (Flader, 1995), Lowdermilk (1953) ve Bennett (1928) gibi bazı araştırmacılar için toprak kalitesi, toprakla etik veya duygusal bir bağ uyandırırken; bazılarına göre ise, toprağın oluşumunda geçirdiği süreçlerin bir bütünleşmesidir ve arazi kullanımı, iklim modelleri ve tarım sistemleri gibi faktörlerle ilişkili olarak toprakların durumlarındaki değişimin bir ölçüsünü verir (National Research Council, 1993; Doran ve Parkin, 1994; Doran ve ark., 1994; Karlen ve Stott, 1994; Larson ve Pierce, 1994).

## **2.2. Toprak Kalitesi ile İlgili Yapılan Bazı alışmalar**

Biswas ve ark., (2017) tarafından Hindistan'ın alt Hint-Gangetik alüvyon ovalarında uzun süre eltik yetiştirme alanları altında İnseptisoller, Entisoller ve Alfisol ve toprak ordolarının üst ve alt kritik sınırları ile toprak kalite indekslerinin (37 toprak kalite parametresi) belirlenmesi amacıyla yaptıkları çalışmada; İnseptisol topraklar için; ekstrakte edilebilir çinko, hacim ağırlığı,  $\beta$ -glukozidaz ve üreaz aktiviteleri; Entisollerden dehidrojenaz aktivitesi, agregat stabilitesi, toplam organik karbon ve pH; Alfisollerde ise oksitlenebilir organik karbon,  $\beta$ -glukozidaz aktivitesi, agregat stabilitesi ve mineralize edilebilir karbon temel kalite göstergeleri olarak belirenmiştir. Çalışma sonucunda genel olarak İnseptisol toprakların (0.66 – 0.89)

Entisoller (0.23 – 0.76) ve Alfisollerden (0.37 – 0.60) daha yüksek toprak kalite indeksi sergilediği ortaya konmuştur. Bu çalışmanın çiftçilerin tarla koşulları üzerinde farklı toprak koşulları altında toprak kalitesi göstergelerinin ve indekslerinin üst ve alt kritik sınırlarının belirlenmesinde ve ürün veriminin bir fonksiyonu olarak temel göstergelerin yorumlayıcı sınıflarının geliştirilmesinde değerlendirilebileceği belirtilmiştir. Ayrıca araştırmacılar, toprak kalitesi değerlendirmesi için bu bütünsel yaklaşımın başarılı bir şekilde geliştirilmesinin, dünyadaki benzer toprak türleri ve tarımsal iklim koşulları için de faydalı olabileceğini belirtmişlerdir.

Dengiz ve ark., (2004) Kahramanmaraş tarım işletmesi topraklarının parametrik yöntemle kalite durumlarını belirlemeyi amaçladıkları çalışmalarında; arazi kalite indeks değerleri hesaplandıktan sonra her bir haritalama birimine uygunluk sınıfları belirlenmiştir. Çalışma sonucunda; alanın %55.1'i (1099.1 ha) tarımsal yönden ve kalitelilik özellikleri bakımından çok iyi ve iyi (S1 ve S2), % 16.5'i (329.9 ha) orta iyi (S3) ve % 27.9'unun (555.6 ha) ise tarımsal kullanım yönünden uygun olmadığı (N) belirlenmiştir.

Pacci ve ark., (2021) Van Havzası İçerisinde Yer Alan Mera Arazilerinde SMAF Modeli Kullanılarak Toprak Kalitesinin Değerlendirilmesi adlı çalışmalarında Van havzası içerisinde yer alan mera arazilerinde dağılım gösteren toprakların SMAF modeli kullanılarak fiziksel, kimyasal ve biyolojik kalite indeks değerleri ile toplam toprak kalite özelliklerini belirlemişlerdir. Bu amaçla, 6024 ha büyüklüğündeki araştırma alanını temsil eden 150 adet yüzey (0-30 cm) toprak örneği üzerinde çalışılmıştır. 13 indikatörden oluşan modelde Potansiyel mineralize olabilir azot ve beta-Glukozidaz enzim aktivitesi dışında on bir adet indikatör kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre mera topraklarının kimyasal kalite indeksinin düşük sınıfta, biyolojik kalite indeksinin ise yüksek sınıfta olduğu belirlenmiştir. Fiziksel toprak kalite ve toplam kalite indeks değerlerinin ise orta düzeyde oldukları tespit edilmiştir. Özellikle biyolojik kalite indeksi olmak üzere; tüm kalite sınıflarının, alan içerisindeki dağılımları bakımından yüksek değişkenlik gösterdiği ortaya konmuştur. Çalışma alanının orta kesimlerinin tüm kalite sınıfları için düşük düzeyde olduğu belirlenmiş olup, bu durumun özellikle eğimin fazla ve erozyonun yüksek olmasından kaynaklandığı bildirilmiştir.

Everest ve ark., (2020) tarafından ‘‘MEDALUS Yöntemi Kullanılarak Karacabey Tarım İşletmesi Toprak Kalite İndeksinin Değerlendirilmesi’’ adlı yürütülen çalışmada Akdeniz ülkelerinde çölleşmeye karşı hassas arazilerin

belirlenmesi ve ortaya konması amacıyla Avrupa Birliği tarafından uygulanan Akdeniz Çölleşme ve Arazi Kullanımı (MEDALUS) yaklaşımını çalışma alanı arazileri için uygulanmıştır. Çalışmada arazi karakteristiklerinin belirlenmesi için (tekstür, drenaj, derinlik, ana materyal) Tarım İşletmeleri Genel Müdürlüğü (TİGEM) tarafından üretilmiş detaylı toprak etüt ve haritalama raporu ile NASA (National Aeronautical Space Administration-Ulusal Havacılık Dairesi) web sayfasından indirilen 30 m mekânsal çözünürlüğe sahip olan DEM (Digital Elevation Model-Sayısal Yükseklik Modeli) verisini kullanmışlardır. Her bir haritalama biriminde bulunan parametreler yöntemde tahmin edilen skor cetvelleri kullanılarak skorlanmıştır. Yapılan analizler ve hesaplamalar sonucunda işletme arazisinin MEDALUS yöntemine göre toprakların çölleşme riski yönünden kalite özellikleri %8.28'i iyi, %49.17'si orta ve % 42.55'i zayıf olarak sınıflandırılmıştır.

Tunçay ve ark., (2010) 'Kırşehir Çiçekdağ Tarım işletmesi Topraklarının Kalite Durumlarının Belirlenmesi' adlı çalışmalarında Parametrik Yöntemde toprakların bünye, tuzluluk, alkalilik, toprak pH'sı, toprak yapısı, kireç içeriği, katyon değişim kapasitesi, verimlilik gibi bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri ile haritalama birimlerinin eğim, derinlik, taşlılık, çakıllılık, kayalılık, erozyon, drenaj ve yağış gibi çevresel özellikleri kullanılmıştır. Kullanılan parametreler, işletme topraklarının 1/5000 ölçekli detaylı toprak etüt haritalama çalışmalarından hazırlanan sayısal toprak veri tabanı ve sayısal yükselti modelinden elde edilmiştir. Elde edilen verilere göre, çalışma alanının %75.26'sı (1262.921 ha) tarımsal yönden ve kalite özellikleri bakımından çok iyi ve iyi (S1 ve S2) sınıfına dâhil edilmiştir. Çalışma alanı topraklarının %23.45'i (393.62 ha) orta (S3) sınıfına dâhil edilirken, %1.28'i (21.50 ha) tarımsal kullanıma uygun olmadığı bildirilmiştir.

Alaboz ve ark., (2021) Biyogaz atık ürünü ile modifiye toprak kalite indeksi ile entegre yapay sinir ağları tarafından gerçekleştirilen arpa verimi tahmini adlı çalışmalarında biyogaz atığı uygulamalarının toprak kalitesi ve verim üzerine etkileri ve yapay sinir ağları ile toprak kalitesinden ürün verimi tahminini değerlendirmişlerdir. Kalite indekslerinin belirlenmesinde analitik hiyerarşik süreç ve doğrusal kombinasyon tekniği kullanılarak 27 ve temel bileşenler analizi ile oluşturulan minimum veri seti ile 10 indikatör ayrı ayrı değerlendirmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre biyogaz atığı uygulamasının toprağın kalitesi ve verim üzerine pozitif etki göstermesi ile birlikte, toprak kalitesinin belirlenmesinde minimum veri

setinin kullanılabileceği ve yapay sınır ağları ile toprak kalitesi bilindiği takdirde ürün veriminin yüksek doğrulukla tahmin edilebileceği ortaya konmuştur.

De la Rosa ve Sobral (2008), "Toprak Kalitesi ve Değerlendirilmesinde Kullanılan Yöntemler" başlıklı çalışmalarında çevresel sürdürülebilirliğin sağlanmasının ancak toprak kalitesinin korunması ve iyileştirilmesi ile gerçekleşebileceğini belirtmişlerdir. Toprak kalitesi, bir toprağın fonksiyonlarını devam ettirebilme kapasitesi şeklinde tanımlanmakla beraber, toprak amenajmanının sürdürülebilirliğini değerlendirmek için dinamik yönle odaklanmakta, toprağın kalitesini belirlemek için birikmiş veriyi sürdürülebilir tarım arazisi değerlendirmesinde uygulama ve entegre etme imkanlarını dikkate almaktadır.

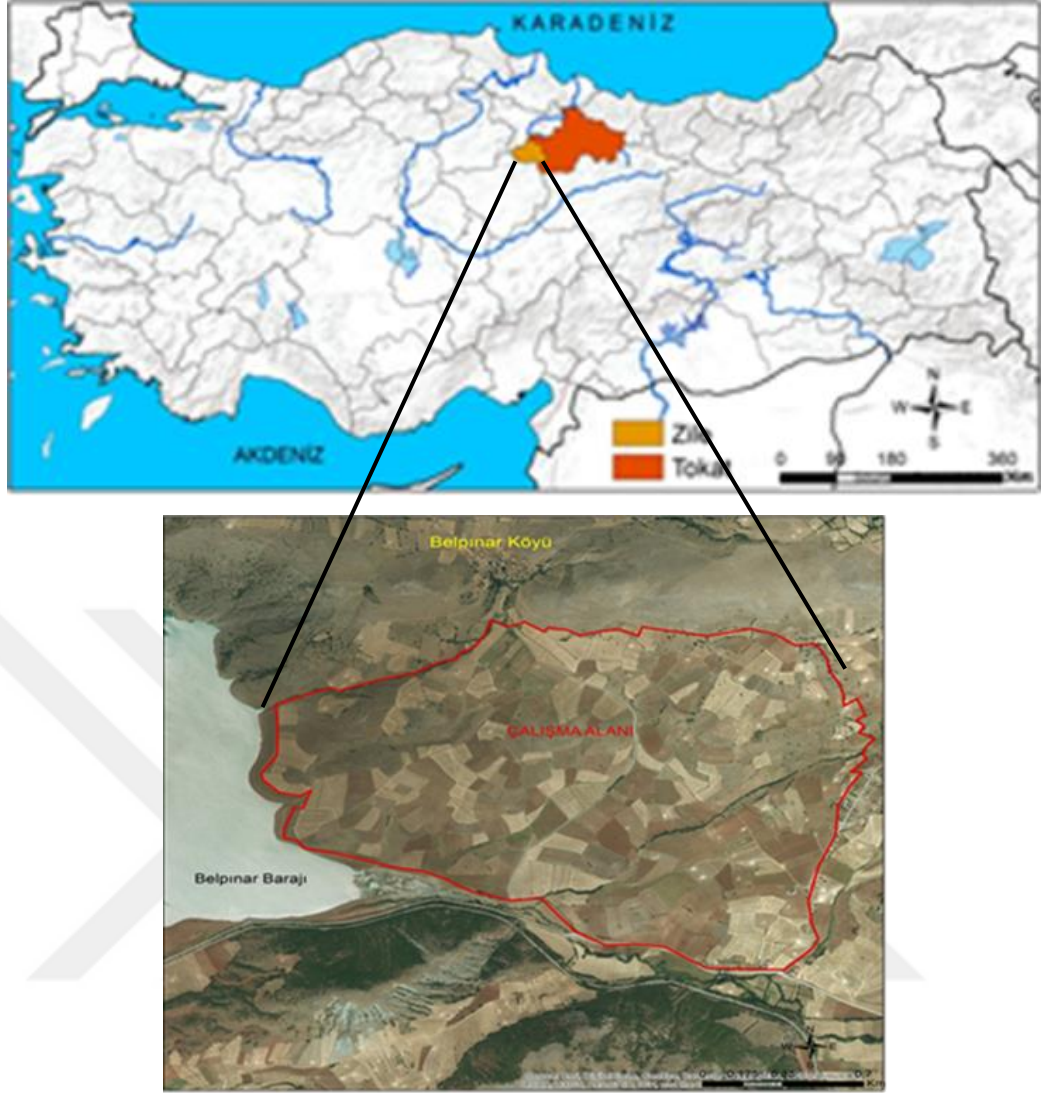
Karlen ve ark. (2011) tarafından ABD'nin Iowa eyaletinde devamlı mısır yetiştiriciliği yapılan ve mısır-soya ekim nöbeti uygulanan arazilerin toprak kalitesi değerlendirilmiştir. Mısır yetiştiriciliği yapılan arazilerde toprak kalitesi değeri %93, ekim nöbeti uygulanan arazilerde ise toprak kalitesi değeri %83 olarak belirlenmiştir. Bu değerlerdeki değişikliğin hasat sonrası toprak üzerinde kalan mısır saplarının toprağa karışmasından kaynaklandığı bildirilmiştir. Buna benzer olarak yapılan başka bir çalışmada da devamlı mısır yetiştiriciliği ile mısır-soya ekim nöbeti uygulamalarının toprak kalite durumları karşılaştırıldığında ekim nöbetinin uzun süreli uygulanmasının toprak kalitesi üzerine olumlu etki sağladığı belirtilmiştir.

Maikhuri ve ark. (2012), "Toprak Kalitesi ve Toprak Sağlığının Değerlendirilmesi" başlıklı çalışmada, sağlıklı bir çevre oluşturma amacı ile bitki ve toprak arasındaki etkileşimleri içeren toprak sağlığı kavramını incelemişlerdir. Toprak sağlığı ve toprak kalitesini, toprağın kullanım alanı sınırları dahilinde hayati bir yaşam sistemi olarak işlev görme kapasitesi şeklinde tanımlamışlardır. Buna göre toprağın biyolojik verimliliğini sağlayan bu işlev, çevre ve insan sağlığının kalitesini de korumaktadır. Toprak sağlığı ve toprak kalitesi üzerindeki olumsuz etkiler, topraktaki besin dengesizliği, aşırı gübreleme ve toprak kirliliği olmakla beraber gelişmekte olan ülkelerde giderek daha yaygın hale gelen toprak kayıp süreçlerinden kaynaklanmaktadır.

### **3. MATERYAL VE YÖNTEM**

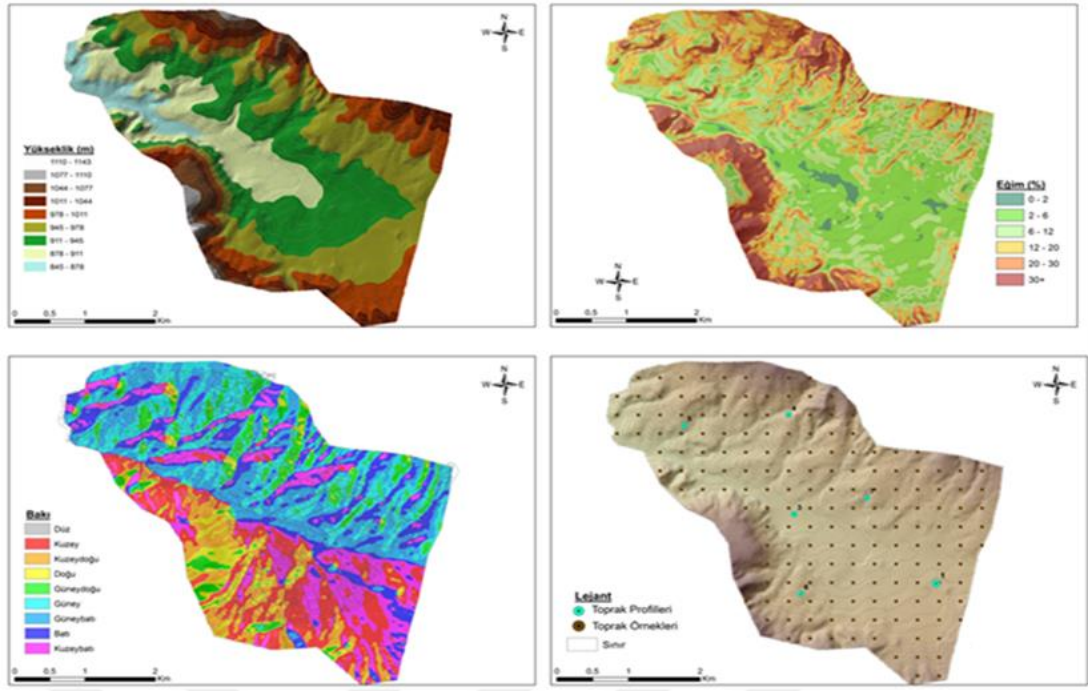
#### **3.1. Araştırma alanının genel özellikleri**

Tokat ili Coğrafi Konum olarak 36o 00'- 36o 42' doğu boylamları ile 39° 52'- 40° 55' kuzey enlemleri arasında yer almaktadır. Kuzeyinde Samsun, Kuzeydoğusunda Ordu, Güney ve Güneydoğusunda Sivas, Güneybatısında Yozgat, Batısında ise Amasya illeri yer almaktadır. İl 1.002.399 km<sup>2</sup> yüzölçümü ile Karadeniz Bölgesinin 4. büyük ildir. Çalışma alanı Orta Karadeniz Bölgesinde Tokat İli sınırları içinde, ilin 70 km batısında yer alan Zile Ovasıdır. Yarı-kurak iklime sahip tarımsal faaliyetlerin yoğun olarak yapılmasına imkân veren en önemli ovalardan biridir. Çalışma alanı yaklaşık olarak 1667 ha alan kaplamakta olup, 75o 18' 00"-75o 42 ' 00" Doğu ve 45 04' 00 " - 45 24' 00" Kuzey (UTM, 36 Zone-m) koordinatları arasında yer almaktadır. Doğusunda Turhal ilçesi, Kuzeyinde Amasya ili Göynücek ilçesi, Güneyinde Artova ilçesi, batısında Yozgat ili Çekerek ilçesi yer almaktadır.



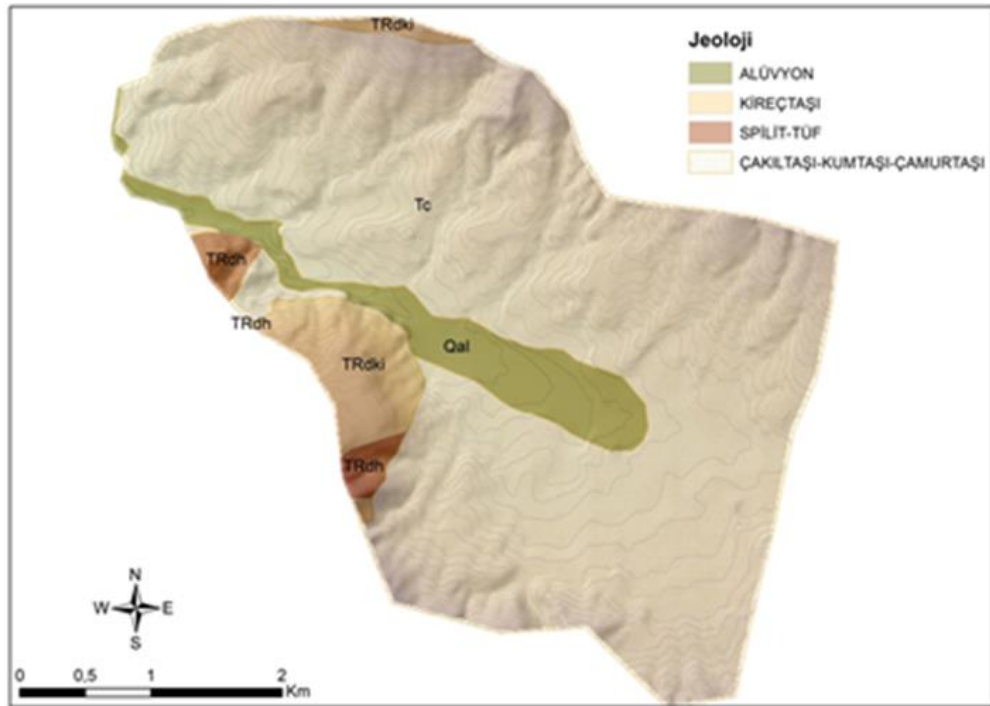
Şekil 3.1. Çalışma alanı lokasyon haritası

1:25.000 ölçekli topografik haritalardan elde edile sayısal eşyüksekti eğrileri ile alana ait dem, bakı, yükseklik ve eğim haritaları üretilmiş ve Şekil 3.2. de verilmiştir. Çalışma alanı deniz seviyesinden 845 m ile 1143 m arasında yer almakta olup, yükseklik alanın kuzey ve güney kesimlere doğru gidildikçe artış göstermektedir. Yükseklikteki bu artış eğimde de artışa neden olmakta ve alanın dik ve çok dik eğimleri (%20 den fazla) bu kesimlerde görülmesinin yanı sıra orta ve güney doğu kesimler düz düze yakın eğimlerle (%0-2), hafif eğimli alanlar dağılım göstermektedir (%6-12). Alanın bakı özelliği incelendiğinde, güney, güney batı yöneyler alan içerisinde yaygın olarak dağılım gösterirken bu bakıları kuzey ve kuzey doğuya ait yöneyler izlemektedir.



Şekil 3.2. Çalışma alanına ait yükseklik, eğim, bakı ve dem haritaları

Çalışma alanın jeolojik çeşitliği Şekil 3.3. de verilmiştir. Çalışma alanında yaygın olarak kireç taşı kayalarının dağılım gösterdiği görülürken, alanın orta kesimleri genellikle akarsuyun getirmiş olduğu aluviyal depozitler oluşturmaktadır. Alanın güney kesimlerinde ise çok az olsa da split-tüf kayaları oluşturmaktadır.

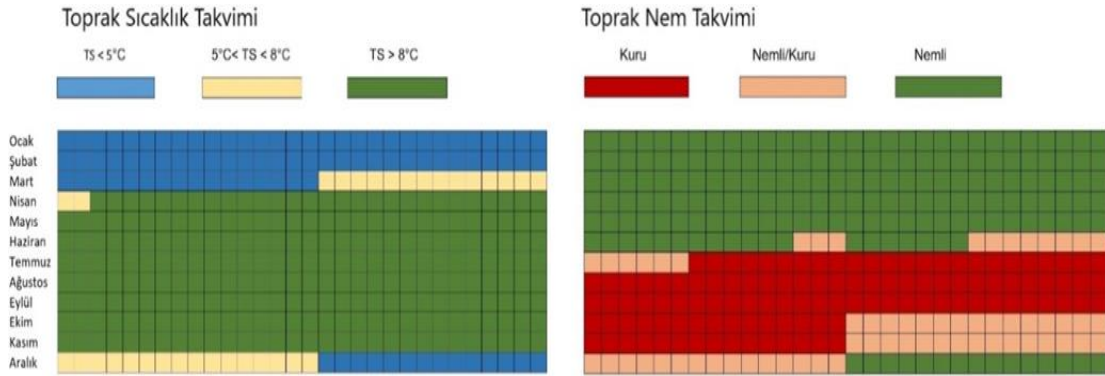


Şekil 3.3. Çalışma alanına ait jeoloji haritası

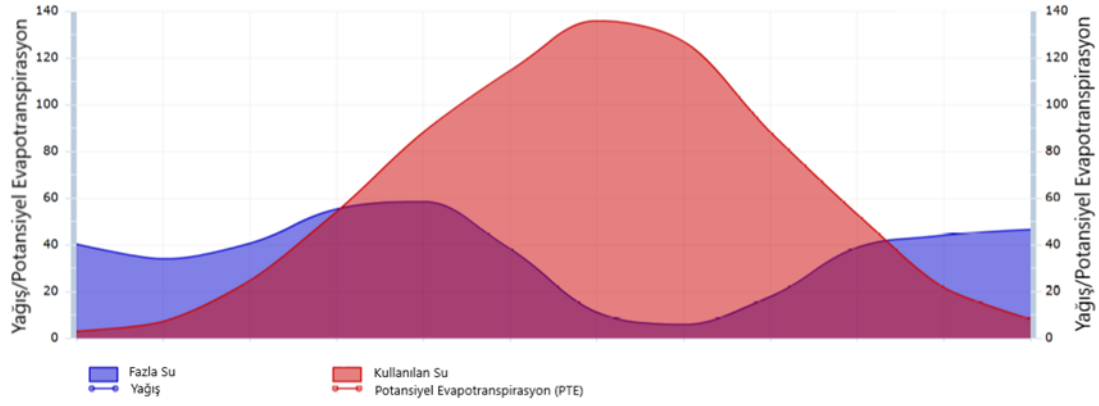
Çalışma alanına ait uzun yıllar meteorolojik veriye göre yıllık ortalama sıcaklık 12.6 °C ve yıllık ortalama yağış 431.4 mm ve yıllık ortalama buharlaşma değeri ise 726.3 mm dir (Tablo 3.1). Newhall modeline göre toprak ve sıcaklık rejimi hesaplandığında, Toprak nem rejimi xeric ve sıcaklık rejimi ise mesic olarak belirlenmiştir.

Tablo 3.1. Alana ait meteorolojik veriler.

| O                                                                     | Ş    | M    | N    | M    | H    | T    | A    | E    | E    | K    | A    | Yıllık |
|-----------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|
| Aylık Ortalama Sıcaklık (°C)                                          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        |
| 1.8                                                                   | 3.5  | 7.4  | 12.5 | 16.5 | 19.9 | 22.3 | 22.4 | 18.8 | 13.7 | 7.90 | 3.90 | 12.6   |
| 0                                                                     |      |      | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |      |      |      | 0      |
| Aylık Ortalama Yağış (mm)                                             |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        |
| 40.3                                                                  | 34.0 | 40.7 | 55.0 | 58.5 | 38.3 | 11.1 | 5.90 | 17.8 | 38.8 | 44.1 | 46.6 | 431.   |
| 0                                                                     |      |      |      | 0    | 0    | 0    |      | 0    | 0    | 0    |      | 4      |
| Aylık Toplam Potansiyel Evapotranspirasyonun Modellenmiş Tahmini (mm) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        |
| 2.97                                                                  | 7.23 | 24.7 | 54.2 | 88.2 | 114. | 135. | 127. | 88.3 | 53.1 | 21.7 | 8.17 | 726.   |
|                                                                       |      |      |      |      | 6    | 9    | 02   | 1    | 0    | 8    |      | 3      |
| Aylık Toplam Su Dengesinin Modellenmiş Tahmini (mm)                   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        |
| 37.3                                                                  | 26.7 | 15.9 | 1.07 | -    | -    | -    | -    | -    | -    | 22.3 | 38.4 | -      |
| 3                                                                     | 7    | 6    |      | 29.7 | 76.3 | 124. | 121. | 70.5 | 14.3 | 2    | 3    | 294.   |
|                                                                       |      |      |      | 3    | 3    | 79   | 12   | 1    | 0    |      |      | 9      |



Şekil 3.4. Newhall metoduna göre aylara göre toprak sıcaklık ve toprak nem dağılımı



Şekil 3.5. Newhall modeline göre toprak su bütçesi diyagramı

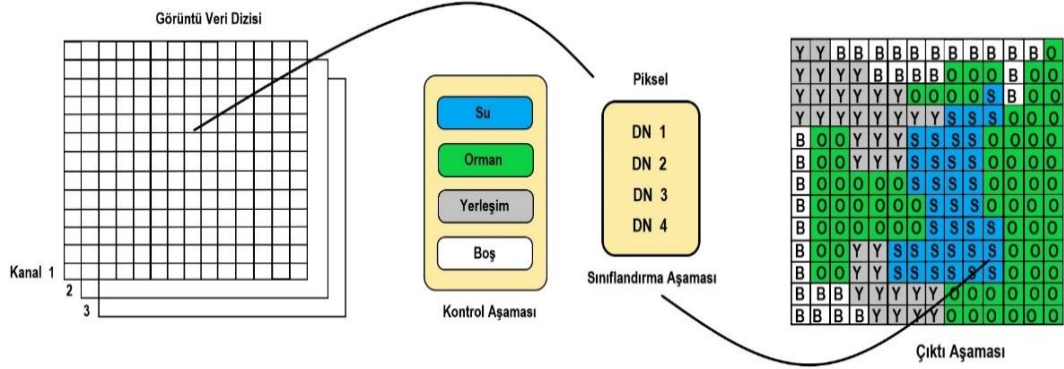
### 3.2. Yöntem

#### 3.2.1. Arazi Kullanımı-Arazi Örtüsü

Çalışma alanının arazi kullanım-azali örtüsünün belirlenmesi amacıyla 29.06.2020 tarihli 10m konumsal çözünürlüğe sahip Sentinel 2A uydusu görüntüsü kullanılmıştır. Çalışma alanında AKAÖ sınıflarının belirlenmesi amacıyla kontrollü sınıflandırma yöntemi kullanılmıştır. Kontrollü sınıflandırma yönteminde çalışma alanındaki yeryüzü özelliklerini tanımlayan yeterli sayıdaki örnek bölgeler (test alanlar) kullanılarak, sınıflandırılacak her bir cisim için spektral özellikleri tanımlı özellik dosyaları oluşturulmuştur. Kontrol alanlarının örneklendiği özellik dosyalarının görüntü verilerine uygulanması ile her bir görüntü elemanı (piksel), hesaplanan olasılık değerlerine göre en çok benzer olduğu sınıfa atanmaktadır. Kontrol aşamasında temsil edici nitelikteki kontrol bölgeleri ve her bir arazi örtü tipine ait spektral özellikler belirlenmiştir. Bu aşamada, mevcut referans verileri ile bu verilerin uygulanacağı coğrafi bölgeye ait bilgilerden yararlanılmıştır (1:25.000 ölçekli topografik harita ve Google Earth görüntüleri).

Kontrollü sınıflandırma üç temel adımda özetlenmektedir (Şekil 3.6.). Çözümleyici uzman ilk aşamada (1), alıştırma bölgelerini (kontrol alanları) temsil eden ve görüntüdeki her bir farklı örtü tipinin spektral nitelikleri belirten bir sayısal tanım geliştirilecek, daha sonraki aşamada (2), görüntü veri setindeki her piksel örtü sınıfına kategorize edilecektir. Herhangi bir alıştırma setine (kontrol alanı) benzetilecek yetersiz sayıda piksel varsa genellikle bilinmeyen olarak adlandırılır. Bu işlemde, her piksel için ayrılan kategori etiketi, yorumlanmış veri setindeki ilişkili hücreye kaydedilmiştir. Tüm veri setinin kategorize edilmesinden sonra sonuçlar çıktı aşaması olarak sunulmuştur (3). Çıktı ürünlerinin üç ayrı formunu tematik haritalar,

farklı yer örtü sınıfları ve bir coğrafi bilgi sisteminden (CBS) sorumlu sayısal veri dosyaları oluşturulmuştur.

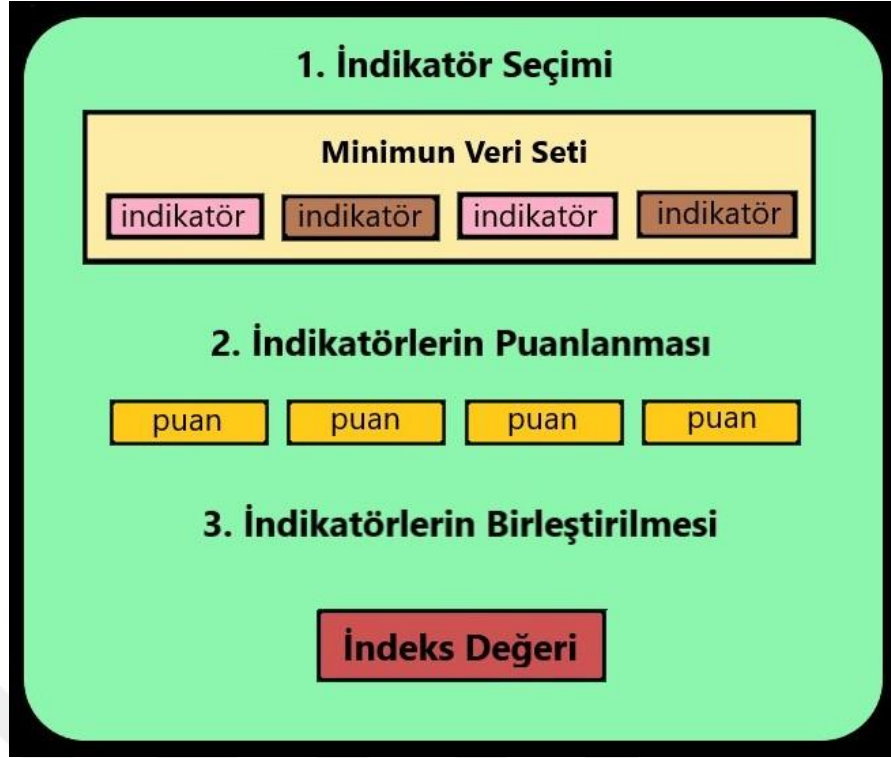


Şekil 3.6. Kontrollü sınıflandırma yönteminin temel aşamaları

Kontrollü sınıflandırma en çok kullanılan sınıflandırma yöntemleri; En Kısa Mesafe (Minimum Distance), Mahalanobis Mesafesi (Mahalanobis Distance), En Yüksek Olasılık (Maximum Likelihood) ve Parametrik Kural (Parametric Rule) yöntemleridir. Ancak günümüzde en çok kabul gören yöntem En Yüksek Olasılık (Maximum Likelihood) yöntemidir. Bu nedenle çalışma alanında sınıflandırmada En Yüksek Olasılık (Maximum Likelihood) yöntemi kullanılmıştır.

### 3.2.2. SMAF Modeli

ABD’de geliştirilen SMAF modeli, o bölgede ve dünyanın başka bölgelerinde arazi kullanımları ve farklı tarımsal uygulamalar tarafından etkilenen toprak kalitesi ve sağlığındaki farklılıkları ölçmek ve değerlendirmek için bir araç olarak oluşturulmuştur. Bu model üç temel adımı takip etmek üzere tasarlanmıştır: indikatör seçimi, indikatörlerin puanlanması ve indikatörlerin bir indeks içerisinde birleştirilmesi aşaması (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Toprak kalite indeksinin hesaplanması aşamaları.

#### 3.2.2.1. İndikatör Seçimi

SMAF, bir veri tabanı şeklinde, ekosistem süreçleri ve veri tabanında bulunan işlevle ilgili 80'den fazla bütünleştirici ölçümden önerilen minimum veri seti göstergelerinin bir listesini oluşturmak için bir dizi karar kuralı kullanır (Bellocchi ve ark.,2002; Schadt ve ark., 2002). Karar kuralları, seçim kriterleri olarak alanın amenajman hedeflerini, ilgili toprak işlevlerini ve bölge veya ürün duyarlılığı gibi alana özgü faktörleri kullanır. Her amenajman hedefiyle ilişkili en kritik durumlar üretkenlik, atık geri dönüşümü ve çevre korumadır. Bu durumları destekleyen toprak fonksiyonları ise besin döngüsü, toprak-bitki-su ilişkileri, fiziksel stabilite ve destek, filtreleme ve tamponlama, direnç ve dayanıklılık, biyoçeşitlilik ve habitatıdır. Alanda yapılması planlanan amenajman çalışmasına göre bu fonksiyonlardan bir veya birkaçı seçilir ve bu fonksiyonları ortaya koyacak indikatörlerden oluşan bir minimum veri seti oluşturulur.

### **3.2.2.2. İndikatörlerin Puanlanması ve Yorumu**

Minimum veri seti için uygun indikatörler seçilip ölçüldükten sonra, göstergelerin puanlanması ve yorumlanması, elde edilen her minimum veri seti indikatör değerinin doğrusal olmayan puanlama eğrileri kullanılarak hesaplanmasını içerir (Andrews ve ark., 2002a, 2002b). Verilerin analizi ve sentezi için puanlama eğrilerinin kullanılması, yorumların hem ekosistem işlevini hem de üretim ve çevre koruma ile ilgili değerleri yansıtmaya olanak tanır (Schiller ve ark., 2001). Her SMAF puanlama eğrisi, alternatif algoritmalara sahip bir algoritma veya mantık sisteminden oluşur. Bu algoritmalar, ekosistem hizmetlerinin veya toprak işlevlerinin performansını yansıtan, ölçülen göstergelerin ampirik değerleri ile normleştirilmiş puanlar arasındaki nicel ilişkilerdir.

Tablo 3.2. İndikatörlerin yorumlanmasında kullanılan algoritmalar (Andrews ve ark., 2004).

| İndikatör | Skorlama Algoritması                                                                                                                                                                                     | Sabit Parametreler                                                                                                                                                                                                        | Bölgeye Özgü Parametreler                                                                                                                |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| AGG       | Eğer $AGG > 50$ ve $[y=a+b*\cos(c*AGG-d)<1]$ ise $y=1$ 'dir.<br>Değil ise $y=a+b*\cos(c*AGG-d)$                                                                                                          | $a=-0.8$ , $b=1.799$ ,<br>$c=0.0196$                                                                                                                                                                                      | $d=f(iOM\#, \text{tekstür}\dagger\dagger, Fe_2O_3\dagger\dagger)$                                                                        |
| AWC       | Eğer bölge kuraksa $y=(a*b+c*AWC^d)/(b+AWC^d)$ ,<br>Değil ise $y=a+b*\cos(c*AWC+d)$                                                                                                                      | $a=0.0114$ ;<br>$c=1.088$ ;<br>$d=2.182$<br>$a=0.477$ ;<br>$b=0.527$ ;<br>$c=6.878$                                                                                                                                       | bölge§§, $b=f(\text{tekstür}, iOM)$ ;<br>$d=f(\text{tekstür})$                                                                           |
| BD        | Eğer tekstür $>35'$ den fazla kil içeriyorsa, $y=a-b*e(-c*Db)$ ,<br>Aksi halde $y=a-b*e(-c*Db)$                                                                                                          | $a=0.994$<br>$a=0.994$                                                                                                                                                                                                    | $b, c, d= f(\text{tekstür}, mineraloji¶¶)$ ;<br>$b, c, d=f(\text{tekstür})$                                                              |
| EC        | Eğer $EC \leq 0.3$ ise $y=EC*3.33$<br>Eğer $0.3 < EC < T$ ise, $y=1$<br>Eğer $EC \geq T$ ise, $y=a+b*EC$                                                                                                 | $a=1-bT$                                                                                                                                                                                                                  | $T\#\#= f(\text{metot}\dagger\dagger, \text{ürün}\dagger\dagger, \text{tekstür})$ ; $b=f(T)$                                             |
| MBC       | $y=a/[1+b*e(-c*MBC)]$                                                                                                                                                                                    | $a=1.0$ ; $b=40.478$                                                                                                                                                                                                      | $c= f(iOM, \text{tekstür}, \text{mevsim}§§§)$                                                                                            |
| pH        | $y=a*e^{[-(pH-b)^2/(2*c^2)]}$                                                                                                                                                                            | $a=1.0$                                                                                                                                                                                                                   | $b, c= f(\text{ürün})$                                                                                                                   |
| PMN       | $y=a/[1+b*e(-c*PMN)]$                                                                                                                                                                                    | $a=1$ ; $b=50.1$ ;                                                                                                                                                                                                        | $c= f(iOM, \text{tekstür}, \text{iklim}¶¶¶)$                                                                                             |
| SAR       | Eğer $EC \leq 0.2$ ise, $y=1/[a+b(SAR^c)]$ ;<br><br>Eğer $0.2 < EC \leq 0.55$ ise, $y=a+b*SAR+c*SAR^2+d*SAR^3+e*SAR^4+f*SAR^5+g*SAR^6$ ;<br><br>Eğer $EC > 0.55$ ise $y=a+b*SAR+c*SAR^2+d*SAR^3+e*SAR^4$ | $a=4.06$ ; $b=0.79$ ;<br>$c=3.05$<br>$a=0.8$ ; $b=0.013$ ;<br>$c=0.07$ ;<br>$d=0.03$ ; $e=0.005$<br>$f=5.5*10^{-4}$ ; $g=-2.1*10^{-5}$<br>$a=1.0$ ; $b=-0.07$ ;<br>$c=0.012$ ;<br>$d=-6.8*10^{-4}$ ;<br>$e=-2.39*10^{-5}$ | EC<br><br>EC<br><br>EC                                                                                                                   |
| P         | Eğer $P \leq \max(\text{ürün ve metot için})$ ise, $y=(a*b+c*P^d)/(b+P^d)$ ;                                                                                                                             | $a=9.26*10^6$ ; $c=1.0$ ;<br>$d=3.06$<br>$a=1$ ; $b=4.5$ ; $d=-2$                                                                                                                                                         | $b= f(\text{ürün}, TOC, \text{tekstür}, \text{metot}\dagger\dagger\dagger)$ $c= f(\text{eğim}\#\#\#, TOC, \text{tekstür}, \text{metot})$ |
| TOC       | $y=a/[1+b*e(-c*TOC)]$                                                                                                                                                                                    | $a=1$ , $b=50.1$                                                                                                                                                                                                          | $c= f(iOM, \text{tekstür}, \text{iklim})$                                                                                                |

Makroagregat Stabilitesi (AGG-%), Yarıyışlı Su Kapasitesi (AWC-g g<sup>-1</sup>), Hacim Ağırlığı (D<sub>b</sub>-g cm<sup>-3</sup>), Elektriksel iletkenlik (EC-dS m<sup>-1</sup>), Mikrobiyal Biyomas Karbon (MBC) (mg kg<sup>-1</sup>), pH (-log H<sup>+</sup>), Mineralize Edilebilir Azot (PMN-mg kg<sup>-1</sup>), Sodyum Absorpsiyon Oranı (SAR), Fosfor (P-mg kg<sup>-1</sup>), Total Organik Karbon (TOC-%) ve her göstergenin bulunduğu örnek çalışmaların minimum veri kümesi (MDS).

† Puanlama algoritmaları, verileri toprak fonksiyonunun performansına göre dönüştürür; burada gösterge kısaltması gözlemlenen ölçü (x) ve y gösterge puanıdır. Bu algoritmalarındaki diğer değişkenler, bitişik sütunlarda sabit parametreler veya bölgeye özgü parametreler olarak tanımlanmaktadır.

‡ Skorlama algoritmasındaki sabit değişkenler.

§ Skorlama algoritmasındaki araziye bağlı değişkenler ve bu değişkenlere bağlı olarak değişen toprak tipleri veya iklim.

¶ Minimum veri kümesinde (MDS) belirtilen göstergelyi içeren örnek çalışmaların listesi.

#iOM= Toprak alt sınıflarına göre gruplandırılmış doğal organik madde seviyeleri.

††Tekstür= Toprak tekstürü beş sınıfa ayrılır.

‡‡Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>= Sınıf; ultik alt grup ve Ultisolleri içerir.

§§ Bölge= Ana arazi kaynakları; kurak ve kurak olmayan veya Kuzey ve Güney olarak gruplandırılmıştır.

¶¶ Kıl mineralojisi smektetik, camsı ve diğer olarak gruplandırılmıştır.

##T= Ürüne ve EC metoduna dayalı eşik değeri seviyesi, bu seviyenin üzerine çıktığında verim düşüşlerinin gerçekleşmesi beklenir.

††† Metot= Belirtilen uygulama için kullanılan metodoloji

‡‡‡ Ürün= Mevcut ürün için gereksinimler ya da, EC için, bir rotasyondaki ürünlerden en düşük eşik değerine sahip ürün.

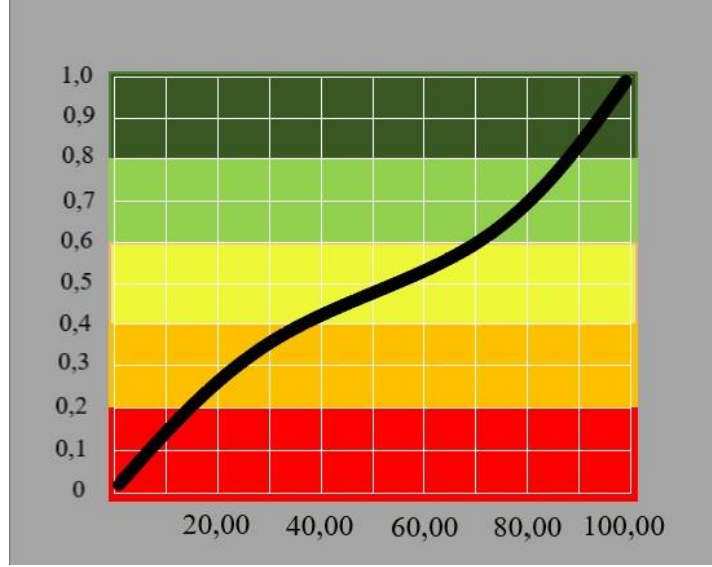
§§§ Mevsim= İklimle bağlı olarak gerçekleşmesi beklenen mevsimsel değişiklikler.

¶¶¶ İklim= Yıllık ortalama yağışa ve donma derecesinin üzerinde sıcaklığa sahip günlere bağlı olarak sınıflandırılmış ana arazi kaynak alanları.

### Eğim= Fonksiyonun eğimi.

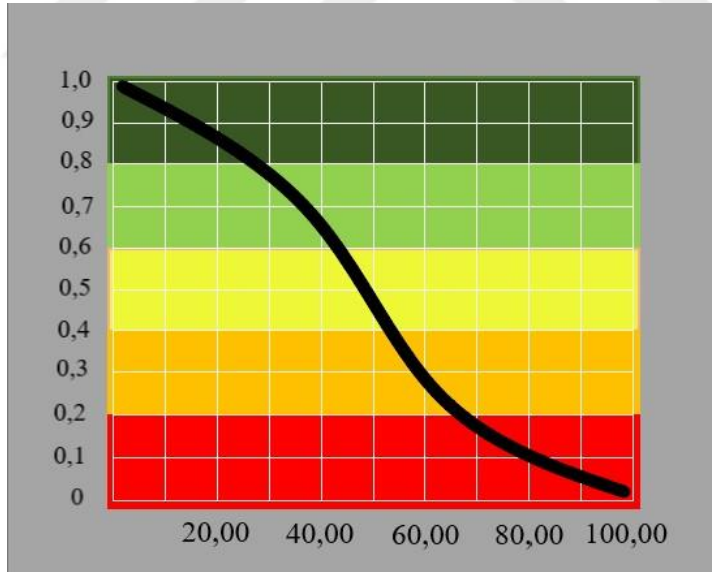
SMAF, her indikatör değerini puanlama algoritması aracılığıyla, bu sistemdeki ilişkili işlev düzeyini temsil eden 0 ile 1 arasında birimsiz bir puana dönüştürülür. En yüksek gösterge puanı olan 1, o sistem için en yüksek potansiyel işlevi temsil eder; yani gösterge, toprağın doğasında bulunan toprak fonksiyonlarına ve süreçlerine bağlı değildir. Belirli bir indikatör ile temsil edilen toprak fonksiyonları arasındaki genel ilişkinin sistemler arasında nispeten sabit olduğu varsayılmıştır. Bu ilişki, bir indikatörün puanlama eğrisinin (veya algoritmanın denkleminin) şeklini belirler (Andrews ve ark., 2004). Puanlama eğrileri daha fazla daha iyidir, daha az daha iyidir ve optimum alan şeklindedir.

Toprak amenajmanı değerlendirme çerçevesi (SMAF), toprak kalite skorlarının hesaplanması için fiziksel, kimyasal ve biyolojik olmak üzere 3 ana başlık altında incelenen 13 indikatörden oluşur. Bu indikatörlerden agregat stabilitesi (AGG), yarayışlı su içeriği (AWC), su dolu gözenek hacmi (WFPS), bitkiye yarayışlı potasyum (Ex-K), bitkiye yarayışlı fosfor (Soil P), potansiyel mineralize olabilir azot (PMN), toprak organik karbon içeriği (TOC), β-Glikosidaz enzim aktivitesi (BG) ve mikrobiyal biyokütle karbonu (MBC) değerleri yükseldikçe toprak yapısını iyileştirdikleri ve bitki gelişimi için daha uygun ortamları sağlamaları sebebiyle ‘daha fazla daha iyidir’ puanlama eğrisi kullanılarak yorumlanırlar (Şekil 3.8).



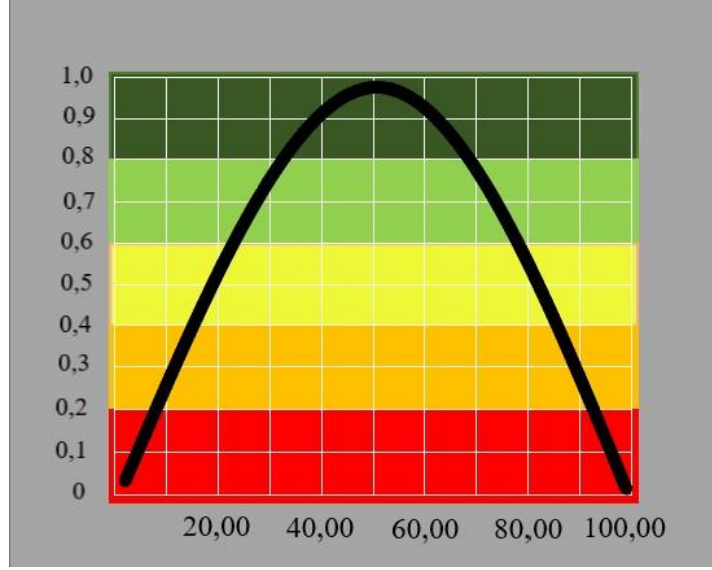
Şekil 3.8. Daha fazla daha iyidir puanlama eğrisi.

Hacim Ağırlığı (BD), elektriksel iletkenlik (EC), değeri yükseldikçe toprak yapısı bozulduğu ve bitki gelişimi için gerekli olan uygun ortam bozulduğu için ‘daha az daha iyidir’ puanlama eğrisi kullanılarak yorumlanır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Daha az daha iyidir puanlama eğrisi.

Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR), toprak pH’sı indikatör değerlerinin ne düşük ne de yüksek olmaması gerektiği ve alanın amenajman hedefine göre optimum değerleri sağlaması istendiği için ‘optimum alan’ puanlama eğrisi kullanılarak yorumlanır (Şekil 10).



Şekil 3.10. Optimum alan puanlama eğrisi.

### 3.2.2.3. İndikatörlerin Birleştirilmesi

SMAF'ın üçüncü adımı olan indikatörlerin bir indeks içerisinde birleştirilmesi, isteğe bağlı bir aşamadır. Bu aşama, yorumlama aşamasındaki tüm indikatör puanlarının tek bir indeks değerinde birleştirilmesini sağlar. Bu değer, amenajman uygulamalarının toprak fonksiyonu üzerindeki etkilerini yansıtan toprak kalitesinin genel bir değerlendirmesi olarak kabul edilir ve bir önceki aşamadaki tüm indikatörlerin kalite puanları toplanıp toplam indikatör sayısına bölünüp 100 ile çarpılmasıyla elde edilir.

$$TKİ = \left( \frac{\sum_{i=1}^n Si}{n} \right) \times 100$$

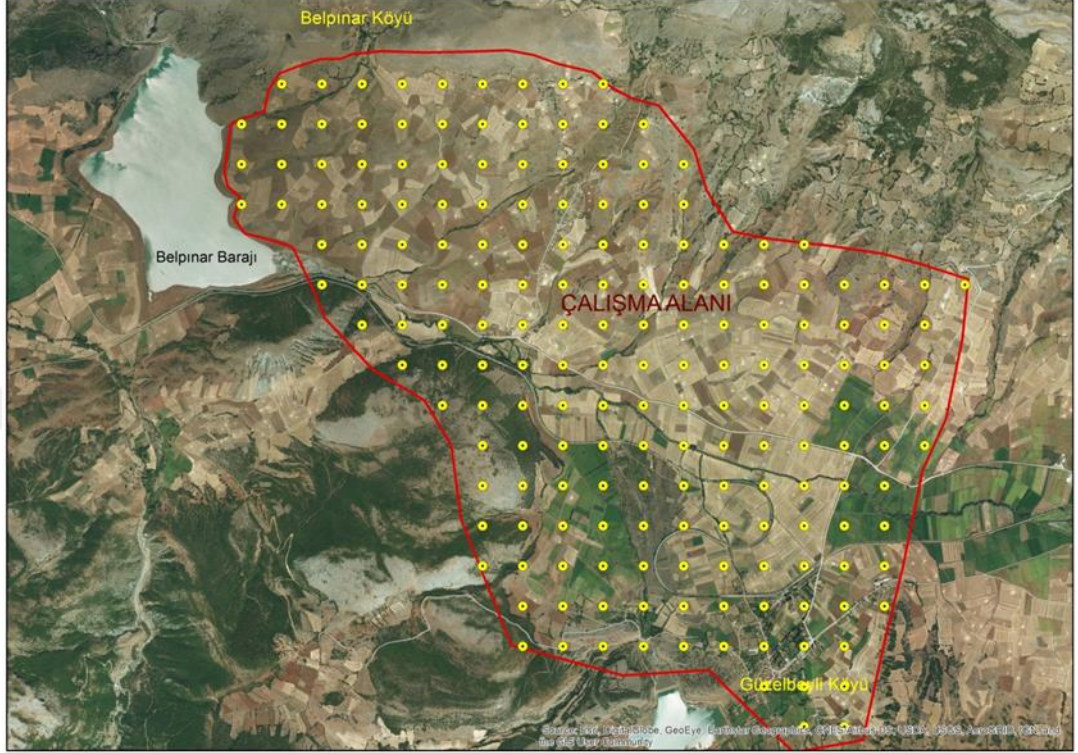
( 3. 1.)

TKİ: Toprak kalite indeksi, Si: Skorlama yapılan indikatör değeri n: İndikatör sayısı

### 3.2.3. Toprak Örnekleme ve Analizler

Toprak örnekleri 2020 yılının Ekim ayında arpa, buğday, ayçiçeği ve şeker pancarı ürünlerinin yetişmekte olduğu çalışma alanından toplanmıştır. Alan 200m x 200m şeklinde karelere bölünerek oluşturulan grid sistemi kullanılarak, küresel konumlandırma sistemi (GPS) yardımıyla toprak örneklerinin yerleri tanımlandıktan sonra; her bir ızgaranın köşesinden yüzeyden (0-30 ccm) 175 adet bozulmuş ve bozulmamış toprak örnekleri toplanmış, daha sonra örnekler laboratuvara getirilmiştir.

Toprak örnekleri hava kuru hale getirildikten sonra tahta tokmak ile dövülerek parçalanmış ve 2 mm elekten elenerek analize hazır hale getirilmiştir. Toprak örneklemesine ait desen Şekil 3.11’de verilmiştir.



Şekil 3.11. Çalışma alanında dağılım gösteren yüzey toprak örnekleme deseni

#### Fiziksel analizler

Bünye: Hidrometre yöntemi kullanılarak (Bouyoucous, 1951)

Agregat stabilitesi: 2,0 ile 1,0 mm arasında kalan toprak parçacıkları ıslak eleme yöntemine göre önce saf su ile 3 dk karıştırılmış ve bu sürede disperse olan toprak ağırlığı kaydedilmiştir. Daha sonra %0,2'lik kalgon çözeltisinde toprağın tamamen disperse olmasıyla belirlenen toprağın ağırlığından saf su ile disperse edilen toprağın ağırlığının çıkartılmasıyla hesaplanmıştır (Kemper ve Rosenau,1986).

Tarla kapasitesi: Seramik tabla üzerine yerleştirilerek örneklerin suyla doymun toprak örneği üzerine 1/3 atm basınç uygulamak suretiyle belirlenmiştir (Richards, 1954).

Daimi solma kapasitesi: Seramik tabla üzerine yerleştirilen örneklerin suyla doymun toprak örneği üzerine 15 atm basınç uygulamak suretiyle belirlenmiştir (Richards, 1954).

Hacim ağırlığı: Bozulmamış örnekler üzerinde hesaplanmıştır (Blake ve Hartge,1986)

Yarayırlı su miktarı: Örneklerin tarla kapasitesi ve daimi solma noktaları arasındaki farktan hareketle hesap yolu ile belirlenmiştir.

#### Kimyasal Analizler

Toprak reaksiyonu (pH): Cam elektrotlu, dijital göstergeli pH metre ile 1:1 toprak-saf su karışımında ölçülmüştür (Kacar, 2009).

Elektriksel iletkenlik: 1:1 toprak-saf su karışımında elektrik iletkenlik aleti kullanılarak ölçülmüştür (Kacar, 2009).

Yarayırlı Fosfor (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>): Olsen metodu kullanılarak belirlenmiştir (Olsen, 1954).

Yarayırlı Potasyum (K<sub>2</sub>O): 1N amonyum asetat (NH<sub>4</sub>OAc) ile ekstrakte edilen potasyumun analiz edilmesi ile belirlenmiştir.

Organik madde: Walkley-Black yönteminin Jackson tarafından modifiye edilmiş şekli ile yapılmıştır (Jackson, 1958).

Toplam azot: Mikro Kjeldahl metodu ile belirlenmiştir (Bremner, 1982).

Değişebilir katyonlar: pH sı 8.2'ye ayarlı sodyum asetat (NaOAc) kullanılarak yapılmıştır (Rhoades, 1986).

SAR değeri: Saturasyon çamurundan elde edilen süzüklerden hesaplanan Na, Ca ve Mg konsantrasyonları eşitlikte belirtildiği gibi hesaplanmıştır (Soil Survey Staff, 1996).

$$SAR = \frac{[Na^+]}{\sqrt{\frac{[Ca^{+2}] + [Mg^{+2}]}{2}}}$$

(3.2.)

#### Biyolojik Analizler

$\beta$ -glukozidaz aktivitesi:  $\beta$ -glukozidaz Enzim Aktivitesi Hava kuru toprak örneklerinden 1gr. alınarak 50ml'lik erlenmayere yerleştirilir ve üzerine 0,5ml tolue, 4ml pH'sı 6 olan MUB çözeltisi ve 1ml PNG çözeltisi ilave edilerek karıştırılır. Örnekler 37 oC'de 1 saat inkübasyona tabi tutulur ve bu işlemin 19 sonunda alınan ekstraktlardaki sarı renk intensitesi spektrofotometrede okunarak glikosidaz enzim aktivitesi belirlenmiş olur (Tabatabai,1994)

Mikrobiyal biyomas karbon: Anderson ve Domsch tarafından bildirilen substrat indirgenme yöntemine göre belirlenmiştir (Anderson ve Domsch, 1978).

### 3.2.4. İstatistik ve Jeostatistik Analizler

Yapılan çalışmada örnekleme yapılan alandaki toprak özelliklerinin en büyük, en küçük, standart sapma, varyasyon katsayısı, ortalama, çarpıklık ve basıklık değerleri şeklindeki tanımlayıcı parametreler SPSS programı (IBM 2015) yardımı ile hesaplanmış ve bunun yanında alan içerisinde dağılımlarının belirlenmesi amacıyla jeostatistiksel yöntemlerden faydalanılmıştır. Bu bağlamda; çalışma alanı topraklarının toprak özellikleri, SMAF modeline göre hesaplanmış ve hesaplamada kullanılan on üç parametrenin tüm alan içerisindeki dağılım haritaları üretilmiştir. Ayrıca, bu parametrelerin kullanılmasıyla hesaplanan fiziksel toprak kalitesi, kimyasal toprak kalitesi, biyolojik toprak kalitesi ve genel toprak kalitesi içinde dağılım haritaları oluşturulmuştur.

Dağılım haritalarının oluşturulmasında ArcGIS 10.5 coğrafi bilgi sistemi programı kullanılmıştır. Haritalama öncesi verilerin normal dağılım göstermeyen özelliklere uygun dönüşümler yapılmış ve haritalama kısmında Ters Mesafe Ağırlıklandırma (Inverse Distance Weighting /IDW) yöntemi kullanılmıştır.

En yaygın kullanılan çok değişkenli enterpolasyon metotlarından biri olan IDW'nin esası değeri bilinen noktadan değeri bilinmeyen noktanın değerini ağırlıklı ortalama değerlerinin tahmin edilmesine dayanır, bunu yaparken uzaklıkların ters mesafe fonksiyonlarından yararlanmaktadır. Buradaki varsayım değeri bilinen noktadan hedeflenen noktaya olan uzaklık arttıkça benzerliklerin azaldığı mantığı vardır (Li & Heap, 2008).

$$\lambda_i = \frac{1/d_i^p}{\sum 1/d_i^p}$$

(3.3.)

Eşitlikte  $d_i$ ,  $x_0$  ve  $x_i$  noktaları arasındaki mesafeyi,  $p$  üssel parametre ve  $n$  örnek sayısıdır.

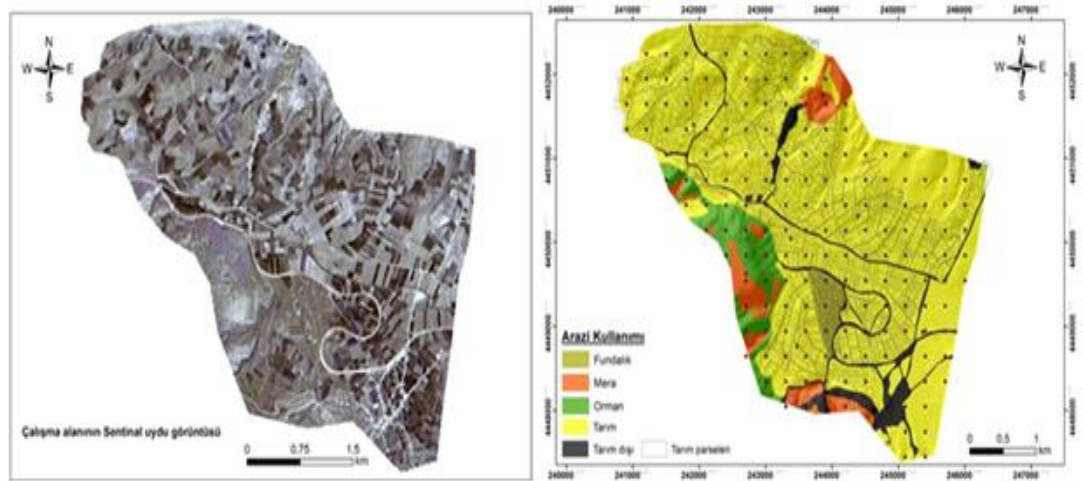
## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1. Araştırma Alanı Mevcut Arazi Kullanım ve Arazi Örtüsü

Alanda en yaygın olarak %80.2 ile tarım alanları dağılım gösterirken, en az dağılım ise %1.8 ile fundalık alanlar oluşturmaktadır (Tablo 4.1, Şekil 4.1).

Tablo 4.1. Çalışma alanına ait arazi kullanım ve arazi örtüsü alansal ve oransal dağılımı

| Arazi kullanım                 | ha   | %     |
|--------------------------------|------|-------|
| Fundalık                       | 31   | 1.8   |
| Mera                           | 95   | 5.6   |
| Orman                          | 107  | 6.3   |
| Tarım                          | 1356 | 80.2  |
| Tarım dışı (yerleşme, yol vb.) | 102  | 6.0   |
| Toplam                         | 1691 | 100.0 |



Şekil 4.1. Çalışma alanına ait sentinal uydu görüntüsü ve arazi kullanım-arazi örtü haritası

Uzaktan algılama çalışmalarında farklı birçok doğruluk analizi yöntemleri bulunmaktadır. Yapılan sınıflamada Tarım, Orman, Fundalık, Mera ve Tarım dışı alanlar olarak belirlenmiştir. Tarım, Orman, Fundalık, Mera ve Tarım dışı alanlar yönelik olarak görüntü üzerinde referans noktalar belirlenerek hesaplanan doğruluk analizleri Tablo 4.2 de verilmiştir. 2020 yılına ait Kappa değerli 0.81 ve üzeri olarak belirlenmiştir.

Tablo 4.2. Arazi Kullanımı Arazi Örtüsü sınıflamalarına ait doğruluk analiz değerleri

| Sınıf                                               | Orman | Mera | Tarım dışı | Tarım | Fundalık | Sütun Toplam | Üretici Doğruluğu | Kullanıcı Doğruluğu |
|-----------------------------------------------------|-------|------|------------|-------|----------|--------------|-------------------|---------------------|
| Orman                                               | 15    | 1    | 0          | 0     | 0        | 16           | 95.00             | 97.30               |
| Mera                                                | 2     | 14   | 3          | 2     | 2        | 23           | 62.10             | 63.98               |
| Tarımdışı                                           | 0     | 0    | 17         | 0     | 0        | 17           | 93.00             | 95.00               |
| Tarım                                               | 0     | 3    | 0          | 18    | 0        | 21           | 70.21             | 70.29               |
| Fundalık                                            | 3     | 2    | 0          | 0     | 18       | 2            | 65.10             | 62.20               |
| Satır Toplam                                        | 20    | 20   | 20         | 20    | 20       | 160          |                   |                     |
| Overall Accuracy = % 87.40 Kappa Coefficient = 0.81 |       |      |            |       |          |              |                   |                     |

#### 4.2. Toprakların Fiziksel, Kimyasal ve Biyolojik Özellikleri

Çalışma alanından alınan 175 toprak örneğinde on altı fiziksel, kimyasal ve biyolojik toprak özelliği incelenmiştir. Bu özelliklerin tanımlayıcı istatistikleri Tablo 4.3’de verilmiştir. Toprak örneklerinin genellikle tuzluluk açısından “tuzsuz (0-1.08 dS/m), toprak reaksiyonunun ise nötr-hafif alkalin (7.11-8.83) arasında belirlenmiştir.

Toprakların kum silt ve kil içeriklerine göre tekstür sınıfları killi tın (%14.85), kumlu killi tın (%18.28), kil (%52), kumlu tın (%3.42), kumlu kil (%9.75), tın (%1.14) ve tınlı kumdur (%0.57). Toprakların organik karbon içerikleri Kacar (2009)’a göre düşük-yüksek sınıfları arasında belirlenirken agregat stabilitesi içerikleri %10.62-96.30 arasında düşük ve yüksek sınıflarında tespit edilmiştir. TOVEP (1991); Güneş ve ark., (1996)’a göre toprakların fosfor içerikleri 2.97- 427.03 mg/kg arasında yeterli-fazla ve potasyum içerikleri 203-2000 mg/kg yeterli-çok fazla bulunmuştur. Toprakların azot içerikleri ise %0.05-0.51 arasında az-fazla seviyelerinde tespit edilmiştir. Wilding (1985)’e göre varyasyon katsayısı (değişkenlik katsayısı); düşük (<%15), orta (%15-35) ve yüksek (> %35) olarak sınıflandırılmıştır. Buna göre çalışma alanının toprak özelliklerinden toprak pH’sı, HA ve YS ortalama göre <%15 değişkenlik ile “düşük” varyasyon sergilemiştir. Elektriksel iletkenlik, kum, kil, silt, AS ve N “orta” SAR,  $\beta$ -glukozidaz, mikrobiyal biyomas karbon, toprak organik karbonu, fosfor, potasyum ve organik madde değerleri ise ortalama göre %35’den büyük yani “yüksek” değişkenlik göstermiştir.

Toprak özelliklerinin kombinasyonları ile elde edilen fiziksel ve kimyasal kalite skorları “düşük”, biyolojik kalite skorları ise ortalama göre yüksek varyasyon

göstermiştir. Kil, AS, YS ve Kimyasal Kalite Skoru (KKS) normal dağılımla kıyaslandığında sola çarpık (-) diğer özellikler ise sağa çarpık (+) bir dağılım göstermektedir. Sola çarpık bir dağılımda özellikler ortalamadan daha yüksek seviyelerde dağılım sıklığına sahipken sağa çarpık durumda tam tersi bir durum hakimdir. Çarpıklık katsayısı en yüksek normalden en uzak dağılım gösteren özellik P olarak belirlenmiştir. P değerinin sağa çarpık sola yığılımlı bir dağılım göstermesi toprakların fosfor içeriklerinin büyük bir kısmının ortalamadan (23,78 mg/kg) daha düşük seviyede olmasının bir sonucudur. Tüm toprak özelliklerinin ve toprak kalite skorlarının eğrileri normal dağılıma göre daha dik (+) bir dağılım göstermektedir. Çalışma alanının fiziksel, kimyasal ve biyolojik kalite skorları sırasıyla 37.92-75.62, 53.39-90.94, 2.45-34.68 arasında değişkenlik sergilerken incelenen toprakların genel toprak kalite indeksi 31.26-62.98 arasında kalite sınıfları ise “düşük-iyi” sınıflarında belirlenmiştir.

Tablo 4.3. Toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri ile kalite skorlarının tanımlayıcı istatistikleri

| Özellikler               | Ort   | SS    | %VK*   | Varyans | EDD   | EYD    | Çar** | Bas   |
|--------------------------|-------|-------|--------|---------|-------|--------|-------|-------|
| pH                       | 7.67  | 0.19  | 2.47   | 0.03    | 7.11  | 8.83   | 1.37  | 7.96  |
| EC (dS/m <sup>-1</sup> ) | 0.52  | 0.15  | 28.84  | 0.02    | 0.10  | 1.08   | 0.77  | 1.70  |
| SAR                      | 2.62  | 1.62  | 61.83  | 2.62    | 0.48  | 12.76  | 3.82  | 19.41 |
| Kum (%)                  | 42.97 | 9.50  | 22.10  | 90.25   | 27.81 | 83.86  | 1.38  | 2.41  |
| Kil (%)                  | 39.15 | 9.05  | 23.11  | 81.97   | 9.42  | 58.14  | -0.65 | 0.333 |
| Silt (%)                 | 17.87 | 4.00  | 22.38  | 16.05   | 6.13  | 33.47  | 0.39  | 3.50  |
| β-glukozidaz             | 52.84 | 27.49 | 52.02  | 756.03  | 3.57  | 159.75 | 1.06  | 1.71  |
| MBC                      | 32.20 | 12.87 | 39.96  | 165.83  | 5.04  | 87.216 | 0.95  | 1.95  |
| TOC (%)                  | 1.22  | 0.66  | 54.09  | 0.44    | 0.10  | 3.71   | 1.01  | 1.89  |
| AS (%)                   | 54.92 | 14.87 | 27.07  | 221.26  | 10.62 | 96.30  | -0.04 | 0.10  |
| HA g/cm <sup>3</sup>     | 1.44  | 0.06  | 4.16   | 0.004   | 1.32  | 1.62   | 0.52  | 0.07  |
| YS (%)                   | 11.65 | 1.09  | 9.35   | 1.19    | 4.10  | 13.79  | -3.24 | 15.80 |
| P (mg/kg)                | 23.78 | 26.31 | 110.63 | 692.69  | 2.97  | 247.03 | 5.91  | 43.76 |
| K (mg/kg)                | 597.3 | 280.2 | 46.91  | 78517   | 203   | 2000   | 1.72  | 5.48  |
| N (%)                    | 0.18  | 0.06  | 33.33  | 0.004   | 0.05  | 0.51   | 1.37  | 4.37  |
| OM (%)                   | 2.11  | 1.15  | 54.50  | 1.32    | 0.17  | 6.40   | 1.01  | 1.89  |
| FKS                      | 55.77 | 5.24  | 9.39   | 27.52   | 37.92 | 75.62  | 0.36  | 2.07  |
| KKS                      | 78.94 | 6.97  | 8.82   | 48.62   | 53.39 | 90.94  | -0.79 | 0.93  |
| BKS                      | 5.47  | 4.07  | 74.40  | 16.58   | 2.45  | 34.68  | 3.86  | 18.97 |
| TKI                      | 46.73 | 4.28  | 9.15   | 18.32   | 31.26 | 62.98  | 0.38  | 2.04  |

Ort.: Ortalama, S.S.: Standart sapma, VK.: Varyasyon katsayısı, EDD: En Düşük Değer, EYD: En Yüksek Değer, Çar: Çarpıklık, Bas: Basıklık, TOK: Toprak Organik Karbon, MBK: Mikrobiyal Biyomas Karbon, HA: Hacim Ağırlığı, AS: Agregat Stabilitesi, FSK: Fiziksel Kalite Skoru, KKS: Kimyasal Kalite Skoru, BKS: Biyolojik Kalite Skoru, TKI: Toprak Kalite İndeksi

\*Değişkenlik Katsayısı: < 15 = Düşük Değişkenlik, 15-35 = Orta Değişkenlik, >35 = Yüksek Değişkenlik

\*\*Çarpıklık: < | $\mp 0,5$ | = Normal Dağılım, 0,5- 1,0 = Veri setine karakter dönüşümü uygulanır. ÇK > 1,0 → Logaritma dönüşümü uygulanır.

Toprak özellikleri arasında ikili ilişkilerin değerlendirildiği Spearman korelasyon analiz sonuçları Tablo 4.4’de verilmiştir. Buna göre fiziksel kalite skoru ile toprak özellikleri arasında 10, kimyasal kalite skoru ile toprak özellikleri arasında 12, biyolojik kalite skoru ile toprak özellikleri arasında 12 ve çalışma alanını topraklarının toprak kalite skoru ile indikatörler arasında 12 adet istatistiksel olarak anlamlı ( $p<0.05$ ;  $p<0.01$ ) ilişkiler belirlenmiştir.

Fiziksel kalite skoru ile silt (0.222\*\*),  $\beta$ -glukozidaz (0.207\*\*), TOK (0.369\*\*), AS (0.734\*\*), P (0.219\*\*), N (0.253\*\*), OM (0.369\*\*) %1 ve MBK (0.167\*) %5 düzeyinde pozitif yönlü ilişki görülürken, pH (-0.417\*\*) ile %1 kil (-0.162\*) ile %5 düzeyinde negatif yönlü ilişkilerin olduğu belirlenmiştir. Toprak organik maddesinin artışı toprağın tarla kapasitesi, solma noktası ve yarayırlı su içeriğinde artışa neden olmaktadır (Gupta ve ark., 1977). Ayrıca toprak üstü bitki örtüsü ve organik karbon, toprağı erozyondan koruyarak, besin maddesi kapasitesini de artırır (Koçyiğit., 2008). Toprakta agregatlaşmanın artması, toprakların verimlilik potansiyellerini pozitif yönde etkileyen bir özellik olduğundan diğer fiziksel toprak özellikleri ile de yüksek korelasyona sahiptir. Topraktaki agregatlaşma, tohum-toprak arasındaki ilişki, hidrolik iletkenlik, kök gelişimi ve solunumu, toprakta havalanma ve sonuçta bitkinin gelişimi açısından önemli bir rol oynamaktadır (Dinel ve ark., 1991). Biswas ve ark. (1970), alüvyal topraklara çeşitli organik atıkları ilave ederek, bunların toprak özellikleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Araştırmacılar; agregat stabilitesinde, toprağın su geçirgenliğinde ve tarla kapasitesinde önemli artışlar meydana geldiğini ve en yüksek artışında yeşil gübre ile elde edildiğini saptamışlardır. Gülser, (2004) bir çalışmada toprakların tarla kapasitesi ve solma noktası değerleri ile kil, kum, toplam porozite, organik madde ve elektriksel iletkenlik değerleri arasında istatistiksel olarak önemli ilişkiler ( $p<0.01$ ) tespit etmiştir.

Kimyasal kalite skoru ile kum (0.203\*\*),  $\beta$ -glukozidaz (0.354\*\*), MBK (0.323\*\*), TOK (0.865\*\*), AS (0.352\*\*), P (0.523\*\*), K (0.293\*\*), N (0.582\*\*), OM (0.865\*\*) arasında %1 düzeyinde pozitif, pH (-0.540\*\*), kil (-0.212\*\*), HA (-0.275\*\*) arasında %1 düzeyinde negatif yönlü bir ilişki bulunmuştur. Azot ve fosforun, organik maddelerin ayrışması ile toprağı kazandırılan en önemli bitki besin elementleri arasında yer aldığı bilinmektedir. Dolayısıyla uygulanan organik madde ilavesinin toprakların N ve P kapsamını arttırabildiği yapılan çalışmalarla vurgulanmıştır (Kalembasa 1996; Nethra ve ark. 1999). Organik maddenin mineralizasyonu, toprakta yaşayan farklı organizmaların aktiviteleri sonucu basit

inorganik bileşiklere dönüştürülmesi ile olur. Yani organik yapıdaki bileşikler mikrobiyal faaliyetler sonucu bitkiler tarafından alınabilir inorganik formlara dönüşür (Müftüoğlu ve Demirer, 1998). Topraklarda OM içeriğindeki artışa bağlı olarak toplam porozitedeki artış hacim ağırlığı değerlerini düşürürken, OM'nin mineralizasyonu sonucu açığa çıkan ürünler agregat stabilitesi değerlerinin artmasına neden olmaktadır (Gülser, 2006). Kum bünyeli topraklarda, suyu yerçekimine karşı tutamayacak makro porlar çok yüksektir. Kumlu topraklara yapılan organik madde ilavesi yardımıyla porlar arasını dolduran humus, suyu yerçekimine karşı tutabilecek mikro porların oluşmasına yardım eder (Lal ve Cummings, 1979).

Biyolojik kalite skoru ile kum (0.439\*\*),  $\beta$ -glukozidaz (0.584\*\*), MBK (0.638\*\*), TOK (0.403\*\*), P (0.308\*\*), K (0.226\*\*), N (0.562\*\*), OM (0.403\*\*) arasında %1 ve AS (0.186\*) ile %5 düzeyinde pozitif bir ilişki görülürken pH (-0.535\*\*;  $p<0.01$ ), kil (-0.392\*\*;  $p<0.01$ ) ve YS (-0.166\*;  $p<0.05$ ) ile negatif yönlü korelasyonlar bulunmuştur. Toprakların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin mikrobiyal biyokütle ve mikrobiyal aktivite üzerine etkisinin büyük olduğu yapılan çalışmalarla bildirilmiştir (Parr ve Papendick, 1997). Biyolojik toprak kalitesiyle doğrudan ilişkisi olan  $\beta$ -glukozidaz enzim aktivitesi ve mikrobiyal biyomas karbon ve toprak havalanmasının iyi olduğu kum bünyeli topraklar mikrobiyal aktiviteyi destekleyici yönde etki gösterdikleri için biyolojik toprak kalitesiyle yüksek korelasyona sahiptir. Cevheri ve Küçük (2017) mısır tarımı yapılan toprakların enzim aktivitelerini belirledikleri çalışmada, toprak organik madde içeriği ile mikrobiyal biyomas karbon arasında pozitif yönde 0.01 düzeyinde anlamlı ilişki olduğunu tespit etmişlerdir. Durmuş ve ark., (2011) yaptıkları çalışmada, aerobik organizmaların değerlendirilmesinde ölçüt olarak kullanılan katalaz aktivitesini etkileyen temel toprak özelliklerinin toprak organik maddesi, toplam N, alınabilir P ve değişebilir K olduğunu belirlemişlerdir. Kızılkaya ve Hepşen (2004) topraklara eklenen organik bileşiklerin, ortamın mikrobiyal gelişim ve çoğalmaya uygun hale getirilmesinde uygun ortam sağladığını, başta heterotrofik mikroorganizmalar olmak üzere mikrobiyal popülasyona C, enerji ve besin maddesi kaynağı sağladıklarını ve bunun sonucunda da mikrobiyal popülasyon ve bunların aktivitelerinin büyük oranda arttığını belirtmişlerdir.

Genel veya toplam toprak kalite skoru ile kum (0.245\*\*),  $\beta$ -glukozidaz (0.428\*\*), MBK (0.384\*\*), TOK (0.762\*\*), AS (0.547\*\*), P (0.481\*\*), K (0.273\*\*), N (0.567\*\*), OM (0.762\*\*) %1 düzeyinde pozitif, pH (-0.625\*\*), kil (-0.252\*\*), HA

(-0.198\*\*) ile ise %1 düzeyinde negatif yönlü korelasyonlar tespit edilmiştir. Birçok toprak özelliği ve toprakta meydana gelen değişimler toprak organik maddesiyle doğrudan ilişkilidir (Doran ve Parkin, 1994, Gregorich ve ark., 1994). Organik madde miktarındaki artış strüktür oluşumunu desteklemekte ve bitki gelişimi için gerekli ortamı sağlamaktadır. Ayrıca, mikrobiyal aktivitenin devam edebilmesi için gerekli olan organik karbon ve azot için de önemli bir kaynaktır. Toprakta bitki gelişimi için gerekli bir diğer faktör ise yarıyışlı besin elementlerinden olan fosfor ve potasyumdur. Tüm bu toprak ilişkileri birbirini destekleyen önemli toprak fonksiyonlarıdır. Toprak yüzeyindeki organik madde düzeyinin yeterli seviyede olması toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini iyileştirmekte ve toprakların kalitelerini artırmaktadır (Sojka ve Upchurch, 1999). Lewandowski ve Zumwinkle (1999), verimli bir toprak denildiğinde toprakların organik madde ve biyolojik aktivitede yüksek düzeye, stabil agregatlara, bitki köklerinin kolaylıkla hareket edebildiği bir ortama, yüzeyde suyun kolaylıkla infiltre olabildiği bir toprak yapısına sahip olmasının akla geldiğini bildirmişlerdir.

Tablo 4.4. Fiziksel, kimyasal, biyolojik ve toprak kalite skorları ile indikatör ve toprak özellikleri arasındaki korelasyon analizi sonuçları

| İndikatörler             | FKS      | KKS      | BKS      | TKI      |
|--------------------------|----------|----------|----------|----------|
| pH                       | -0.417** | -0.540** | -0.535** | -0.625** |
| EC (dS/m <sup>-1</sup> ) | -0.102   | -0.032   | -0.078   | -0.045   |
| SAR                      | -0.068   | -0.091   | -0.068   | -0.095   |
| Kum (%)                  | 0.135    | 0.203**  | 0.439**  | 0.245**  |
| Kil (%)                  | -0.162*  | -0.212** | -0.392** | -0.252** |
| Silt (%)                 | 0.222**  | 0.086    | -0.023   | 0.141    |
| β-glukozidaz             | 0.207**  | 0.354**  | 0.584**  | 0.428**  |
| MBK                      | 0.167*   | 0.323**  | 0.638**  | 0.384**  |
| TOK                      | 0.369**  | 0.865**  | 0.403**  | 0.762**  |
| AS (%)                   | 0.734**  | 0.352**  | 0.186*   | 0.547**  |
| HA g/cm <sup>3</sup>     | -0.121   | -0.275** | 0.097    | -0.198** |
| YS (%)                   | 0.115    | 0.064    | -0.166*  | 0.069    |
| P (mg/kg)                | 0.219**  | 0.523**  | 0.308**  | 0.481**  |
| K (mg/kg)                | 0.087    | 0.293**  | 0.226**  | 0.273**  |
| N (%)                    | 0.253**  | 0.582**  | 0.562**  | 0.567**  |
| OM (%)                   | 0.369**  | 0.865**  | 0.403**  | 0.762**  |

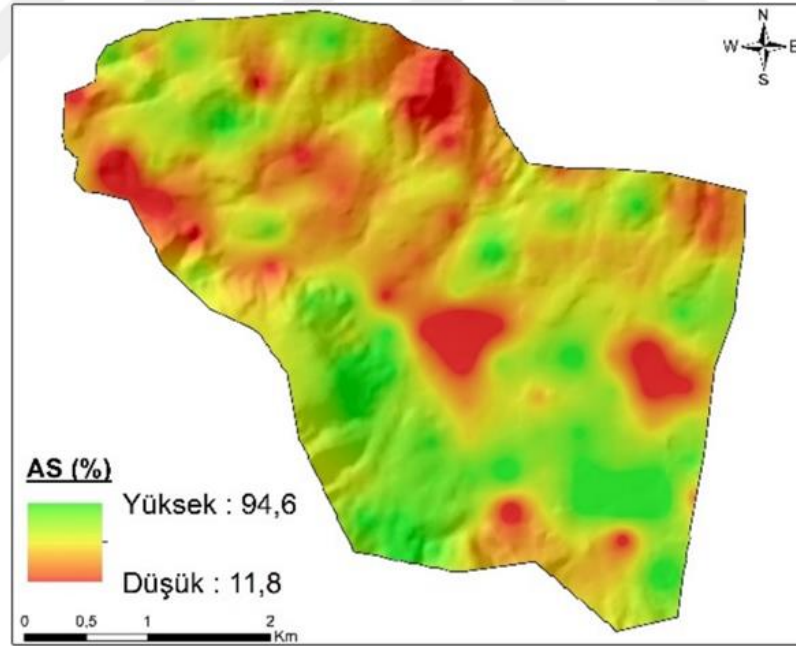
TOK: Toprak Organik Karbon, MBK: Mikrobiyal Biyomas Karbon, HA: Hacim Ağırlığı, AS: Agregat Stabilitesi, FSK: Fiziksel Kalite Skoru, KKS: Kimyasal Kalite Skoru, BKS: Biyolojik Kalite Skoru, TKI: Toprak Kalite İndeksi

\*\* . Korelasyon 0.01 seviyesinde anlamlıdır. \* . Korelasyon 0.05 seviyesinde anlamlıdır.

### 4.3. Parametrelerin Dağılım Haritaları

#### 4.3.1. Agregat Stabilitesi

Agregasyon, birçok faktörün etkisi ile topraktaki tekssel taneciklerin gruplar halinde bir araya gelmesi olarak tanımlanmaktadır (Yılmaz ve ark., 2005). Agregasyon zamanla değişebilmekte ve bu değişim kısa bir süre içinde meydana gelebilmektedir. Oluşan agregatlar periyodik olarak parçalanabilmekte ve tekrar bir araya gelebilmektedir (Hillel, 1982). Toprakta agregasyon ve strüktür stabilitesi, toprakların verimlilik düzeylerini etkileyen iki önemli özellik olarak karşımıza çıkmaktadır. Agregatlaşmanın; tohum ve toprak arasındaki ilişki, kök gelişimi ve solunumu, hidrolik iletkenlik, toprakta gaz değişimi ve sonuçta bitkinin gelişimini devam ettirebilmesi açısından rolü çok önemlidir. Ayrıca suya dayanıklı agregat miktarının yüksek olması, toprakların bozulmasındaki ana etkenlerden biri olan toprak erozyonunu engellemektedir (Dinel ve ark., 1991). Toprak kalitesini belirlemede önemli bir parametre olan agregat stabilitesinin çalışma alanına ait dağılım haritası Şekil 4.2’de verilmiştir.



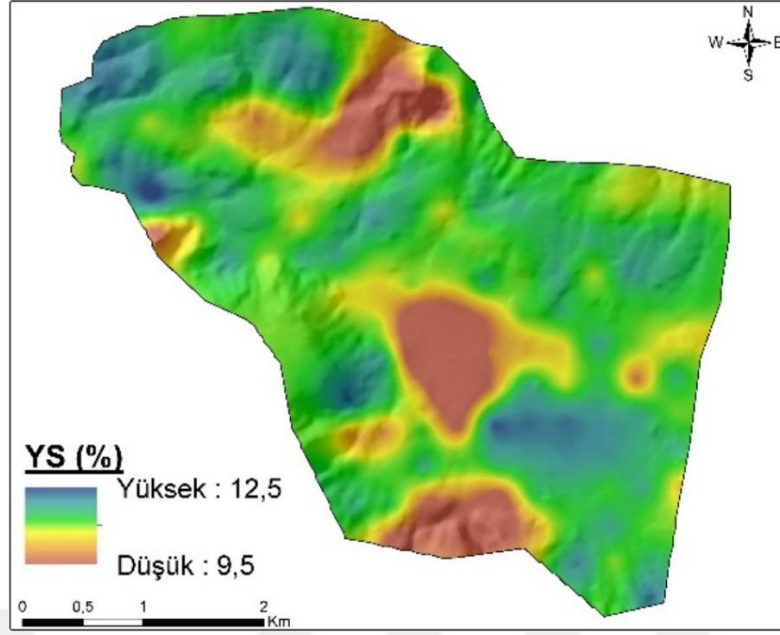
Şekil 4.2. Toprakların agregat stabilitesine yönelik dağılım haritası.

Çalışma alanının güneybatı kısmının dağılım gösteren toprakların kalitesi değerlerinin genel olarak orta ve yüksek olduğu gözlemlenirken, alanda kuzeye ve kuzey batıya doğru ilerlendikçe bu durumun değişerek düşük kalite sınıfında yer aldığı

görülmektedir. Agregat stabilitesi değerleri alanda %11.8 ile 94.6 arasında değişmekle beraber ayçiçeği bitkisinin toprak isteği özellikleri dikkate alınarak hesaplanan kalite skoru 2 ile 77 arasında değişiklik göstermektedir. Ortalama 46 kalite skoru ile alanın agregat stabilitesi kalite skoru, ayçiçeği bitkisinin yetiştirilmesi için düşük kalite olarak belirlenmiştir. Agregat stabilitesinin düşük oluş sebebi yine aynı bölgelerde OC, dolayısıyla OM içeriğinin düşük oluşu ile beraber hacim ağırlığının yüksek ve kil içeriğinin düşük oluşudur. Toprakların agregat dağılımları ve stabilite ölçümleri toprakların bir kalite göstergesi olarak kabul edilmesinin (Six ve ark., 2000) yanı sıra, agregat stabilitesi ölçümleri, toprak agregatlarının bozulmaya neden olan çevresel etmenlere karşı direncinin belirlenmesinde önemli bir gösterge olarak dikkate alınmaktadır.

#### **4.3.2. Yarayışlı Su İçeriği**

Toprak içerisinde bitkilerin yararlanabildiği su olarak tanımlanan yarayışlı su toprağın tarla kapasitesi ve solma noktası arasında tutabildiği su miktarıdır. Toprakta bitki için yarayışlı olan su 1/3 atmosfer ( $pF=2.54$ ) ile 15 atmosfer ( $pF=4.2$ ) basınçlar arasında tutulmakta ve toprak tekstürüne bağlı olarak değişmeler göstermektedir. Bitki kökleri ihtiyaç duyduğu yarayışlı su miktarını toprak bünyesinden almaktadır. Yüksek organik madde içeriği ve toplam gözenekliliğin sonucu olarak, bitkiye yarayışlı su kapasitesi ve su infiltrasyonu daha yüksek bulunmuştur (Gomez-Paccard ve ark., 2015). Oades (1984), iyi bir toprak tekstüründe killi ve tınlı topraklarda bitkiye yarayışlı suyun depo edilebilmesi için gerekli yeteri kadar gözenegın bulunması gerektiğini belirtmiştir. Çalışma alanına ait yarayışlı su içeriği dağılım haritası Şekil 4.3'de verilmiştir.



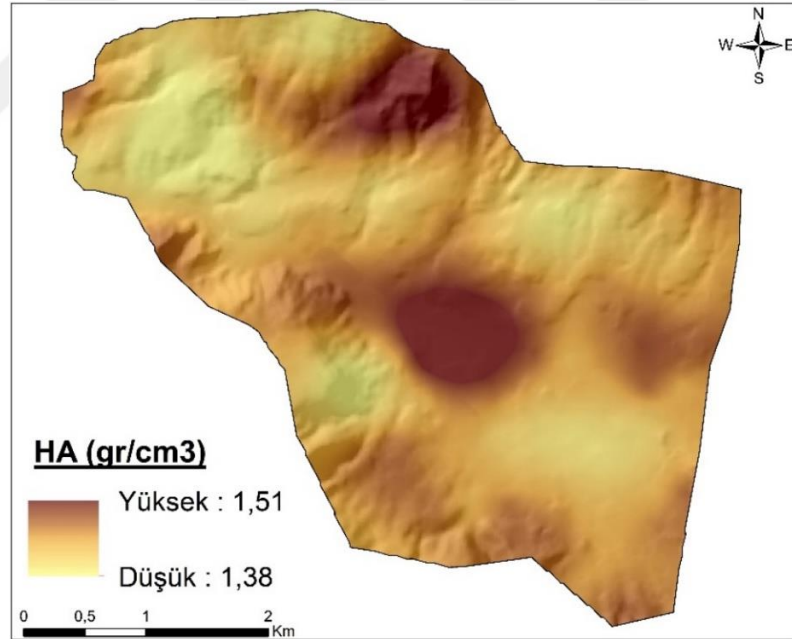
Şekil 4.3.Toprakların yarayışlı su içeriğine yönelik dağılım haritası.

Çalışma alanının orta, kuzey batı ve güney kısımlarında dağılım gösteren toprakların kil içeriğinin düşüklüğünden kaynaklanan, düşük agregasyon oranı hacim ağırlığını artırmaktadır. Bu nedenle bu bölgelerde suyla dolu gözenek miktarı az ve yarayışlı su içeriği düşükken, diğer kısımlarda yüksek ve orta bulunmuştur. Alanın yarayışlı su içeriği değeri %9.5 ile 12.5 arasında değişmekle beraber; kurak şartlara dayanıklı olan ayçiçeği bitkisinin toprak isteği özellikleri dikkate alınarak hesaplanan yarayışlı su içeriği kalite skoru, 28 ile 78 arasında değişiklik göstermektedir. Ortalama 69 kalite skoru ile alanın yarayışlı su içeriği kalite skoru, ayçiçeği bitkisinin yetiştirilmesi için orta kalite olarak belirlenmiştir. Yarayışlı su içeriği toprak kalitesini belirlemede önemli bir faktör olup, toprak suyu sayesinde bitki gelişimi için gerekli besin elementlerinin açığa çıkar ve bitki köküne taşınır. İnce bünyeli toprakların su tutma kapasiteleri kaba ve orta bünyeli topraklardan daha fazla olduğu halde en fazla yarayışlı su orta tekstürlü topraklarda tutulmaktadır.

#### 4.3.3. Hacim Ağırlığı

Toprakların birim hacim içerisindeki kuru kütle miktarları hacim ağırlığı olarak ifade edilmekte ve toprakların organik madde ve bünye özellikleri ile yakından ilişkisi bulunmaktadır. Gerek doğal yollarla (hard pen) gerekse de yapay yollarla (tarla trafiği gibi) birim hacim içerisindeki toprak miktarındaki artış sıkışmanın bir göstergesidir.

Çok iyi bilindiği gibi, killi ve organik maddece zengin toprakların hacim ağırlıkları düşük iken kaba bünyeli toprakların hacim ağırlıkları yüksektir. Benzer şekilde, toprakların organik madde ve kil veya kum içeriklerindeki değişim hacim ağırlığını doğrudan etkilediği gibi geçirgenliklerini de etkilemektedir. Toprak hacim ağırlığının bitki büyümesi üzerindeki etkisi; su içeriği, havalandırma, kök gelişimi ve büyümesi gibi faktörlerle doğrudan ve dolaylı olarak bağlantılıdır (Da Silva ve Kay, 1997). Şekil 4.4 incelendiğinde, HA değerleri 1.38 – 1.51 gr/cm<sup>3</sup> arasında değişen çalışma alanının büyük çoğunluğu düşük hacim ağırlığa sahipken alanın orta kısımları ve kuzey batısı kaba bünyeli toprak yapısına sahip olduğundan, hacim ağırlıklarının da yüksek olduğu görülmektedir. Hem ince bünyeli hem de kaba bünyeli topraklarda yetiştirilebilen ayçiçeği bitkisinin toprak isteği özellikleri dikkate alınarak hesaplanan hacim ağırlığı kalite skoru, 24 ile 93 arasında değişiklik göstermektedir. Ortalama 36 kalite skoru ile alanın hacim ağırlığı kalite skoru, ayçiçeği bitkisinin yetiştirilmesi için düşük kalite olarak belirlenmiştir.

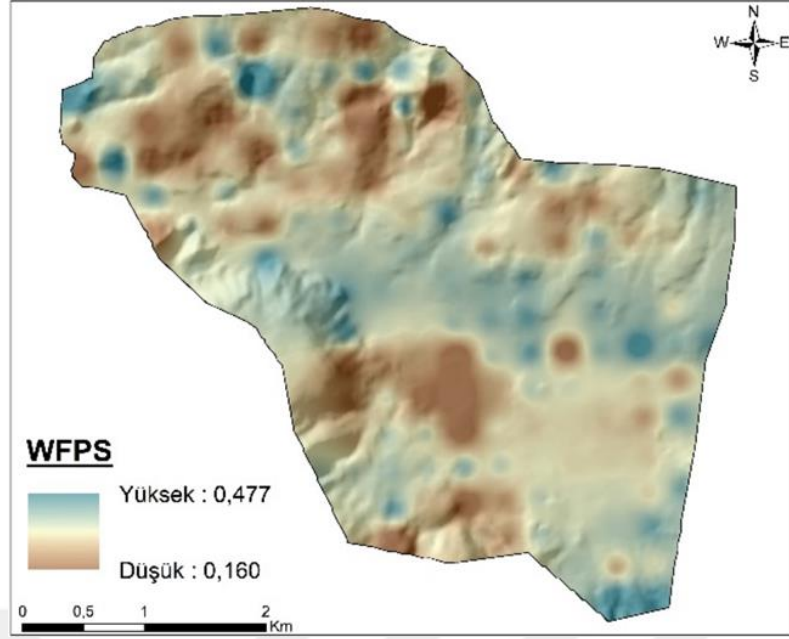


Şekil 4.4. Toprakların hacim ağırlığı içeriğine yönelik dağılım haritası.

#### 4.3.4. Su Dolu Gözenek Hacmi

Bending ve ark. (2004) göre, su dolu gözenek hacmi toprağın tekstürüne ve organik madde içeriğine bağlı olarak %30 ile %70 arasında orana sahip olmaları durumunda toprakların mikrobiyal aktiviteleri en üst düzeydedir. Toprak

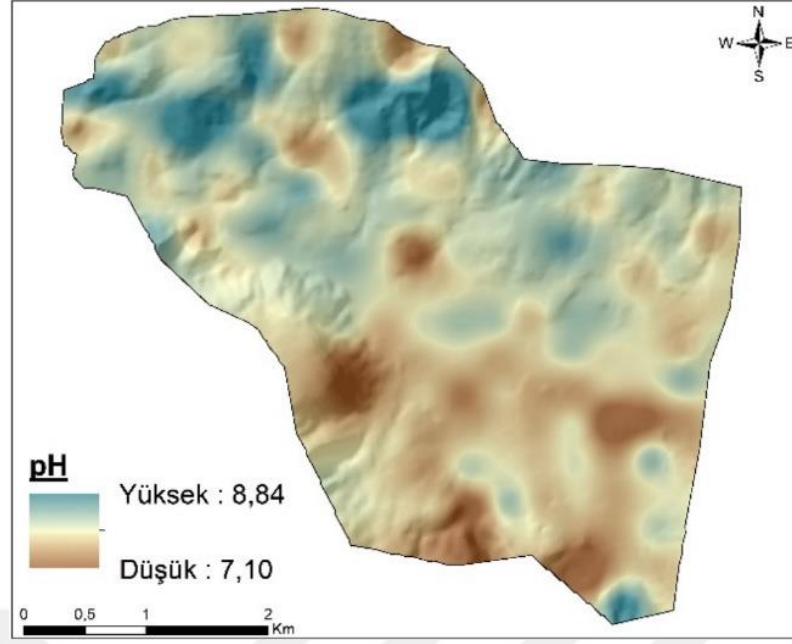
parametrelerinden su dolu gözenek hacmi incelendiğinde, bitkisel üretim fonksiyonu için düşük su dolu gözenek hacmi seviyelerinin, suyun mevcut durumunu sınırlandırarak biyolojik aktiviteyi etkilediği ve solunum ve nitrifikasyon oranlarını azalttığı gözlemlenmektedir. Su dolu gözenek hacmi arttıkça, solunum ve nitrifikasyon optimum düzeye yükselmektedir. Su dolu gözenek hacmindeki daha fazla artış, oksijen mevcudiyetini, solunum ve nitrifikasyon oranlarını azaltarak aerobik biyolojik aktiviteyi sınırlamaktadır (Wienhold ve ark., 2009). Çalışma alanında su dolu gözenek hacmi değerleri 0.160 ile 0.477 arasında dağılım göstermekte olup, Şekil 4.5'deki su dolu gözenek hacmi dağılım haritası incelendiğinde hacim ağırlığının da yüksek olduğu kaba bünyeli topraklara sahip olan alanlar başta olmak üzere alanın kuzey batı ve güney batısının su dolu gözenek hacmi düşük olduğu belirlenmiştir. Bunun sebebi, ince bünyeli toprakların sahip olduğu mikro gözeneklerde su daha rahat tutulurken, kaba bünyeli makro gözeneklere sahip topraklarda su daha zor tutulması ve yer çekiminin de etkisiyle su sızarak topraktan uzaklaşmasıdır. Kurak şartlara dayanıklı olan ayçiçeği bitkisinin toprak isteği özellikleri dikkate alınarak hesaplanan yarayışlı su içeriği kalite skoru, 28 ile 78 arasında değişiklik göstermektedir. Ortalama 69 kalite skoru ile alanın yarayışlı su içeriği kalite skoru, ayçiçeği bitkisinin yetiştirilmesi için orta kalite olarak belirlenmiştir. Kök sistemi 2 metre kadar derinlere inebilen toprakta bulunan suyu en iyi değerlendiren bitkilerden biri olan ayçiçeğinin toprak isteği özellikleri dikkate alınarak hesaplanan su dolu gözenek hacmi kalite skoru, 25 ile 96 arasında değişiklik göstermektedir. Ortalama 73 kalite skoru ile alanın su dolu gözenek hacmi kalite skoru, ayçiçeği bitkisinin yetiştirilmesi için yüksek kalite olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.5. Toprakların su dolu gözenek hacmine yönelik dağılım haritası.

#### 4.3.5. Toprak Reaksiyonu (pH)

Toprakların kimyasal özelliğini tayin eden en önemli faktörlerden birisi de toprak reaksiyonu olup, topraktaki tüm jeo-kimyasal, biyolojik ve fiziksel süreçler ile toprak özellikleri üzerinde çok sayıda önemli role sahiptir (Brady ve Weil, 2008). Toprak pH'sı; toprak ortamında bulunan OH<sup>-</sup> ve H<sup>+</sup> iyonlarının miktarlarının logaritmik bir ifadesidir. pH 1 ile 14 aralığında değişmektedir. pH=7 olması halinde ortam nötr kabul edilir. pH değerinin 7'nin altında olması halinde asitlik; pH değerinin 7'nin üzerinde olması halinde ise alkalilik söz konusudur. Toprakların önemli bir kimyasal fonksiyonu olan pH; toprakların diğer kimyasal, biyolojik, fiziksel fonksiyonlarını ve bitki besin elementlerinin bitkiler tarafından alınıp alınamayacağını doğrudan veya dolaylı olarak etkilemektedir (Bilen ve Sezen 1993). Toprak reaksiyonu değerlerinin 7.10 ile 8.84 arasında değiştiği çalışma alanına ait pH dağılım haritası (Şekil 4.6) incelendiği zaman alanın kuzeyinde yer yer düşük pH sahip olan bölgeler olsa da alanın büyük çoğunluğu yüksek pH skoruna sahip olduğu görülmektedir.

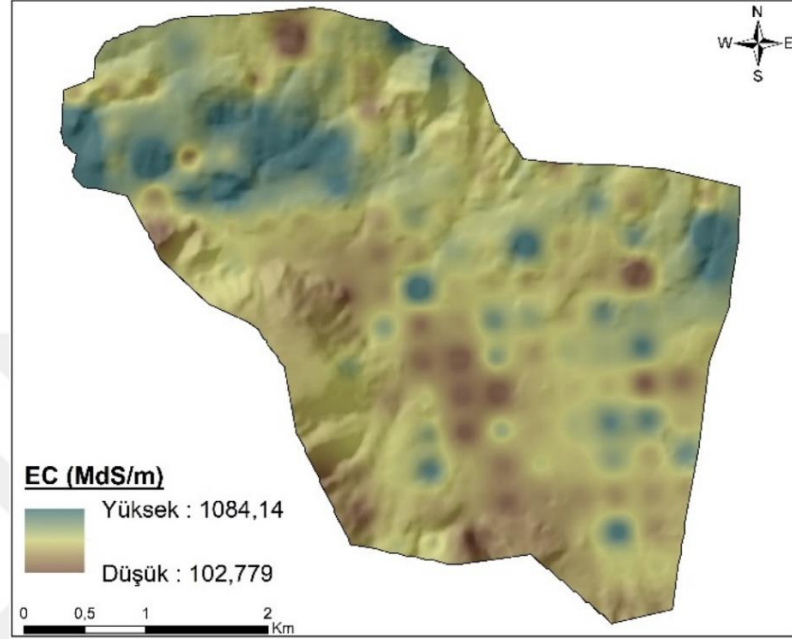


Şekil 4.6. Toprakların pH dağılım haritası.

#### 4.3.6. Elektriksel İletkenlik (EC)

Bitkilerin fenolojik dönemlerine bağlı olarak topraktaki tuz oranının etkileri farklılık göstermektedir. Örneğin, şeker pancarı çimlenme döneminde tuzluluğa karşı aşırı hassasiyet gösterirken gelişmesinin diğer dönemlerinde tuzluluğa karşı oldukça dayanıklıdır. Buna rağmen çeltik, buğday, arpa bitkilerinin tuzluluğa karşı olan dayanıklılığı çimlenmeden sonraki gelişim dönemlerinde giderek azalmaktadır (Güneş vd. 2010). Tuz stresi ciddi fizyolojik fonksiyon bozukluklarına sebep o bitkinin olduğu için vejetatif büyümesini sınırlandırmakta, döllenme bozukluklarına, meyvelerin ufak olmasına ve ileri seviyelerde bitkinin ölmesine sebebiyet verebilmektedir. Bitkilerin tuz konsantrasyonuna karşı gösterdikleri hassasiyet değişebilmektedir. Buna bağlı olarak tuzluluk problemi olan bir bölgede yetiştirilecek mahsulde tuzluluk hassasiyeti düşük olan türler seçilmelidir. Bitkilerin tuza dayanıklılıkları, iklim koşulları, toprağın nem durumu, tuz çeşidi ve ortamdaki diğer tuzlara göre farklılık göstermektedir (Dölarslan ve Gül 2012). Bitkilerin tuz direnci büyüme mevsiminin sonuna doğru artmaktadır. Birkaç bitki bu kuralın dışına çıksa da hemen hemen tüm bitkiler ekim ve ilk gelişme dönemlerinde tuza karşı çok hassasdırlar (Kanber vd. 1992). EC değerleri 102.779 ile 1084.14 mmhos/cm arasında değişen çalışma alanına ait EC dağılım haritası (Şekil 4.7) incelendiğinde özellikle alanın kuzeybatısı ve kuzeydoğusunun EC değerlerinin yüksek, alanın büyük çoğunluğunun orta ve alanın orta ve güneyininse

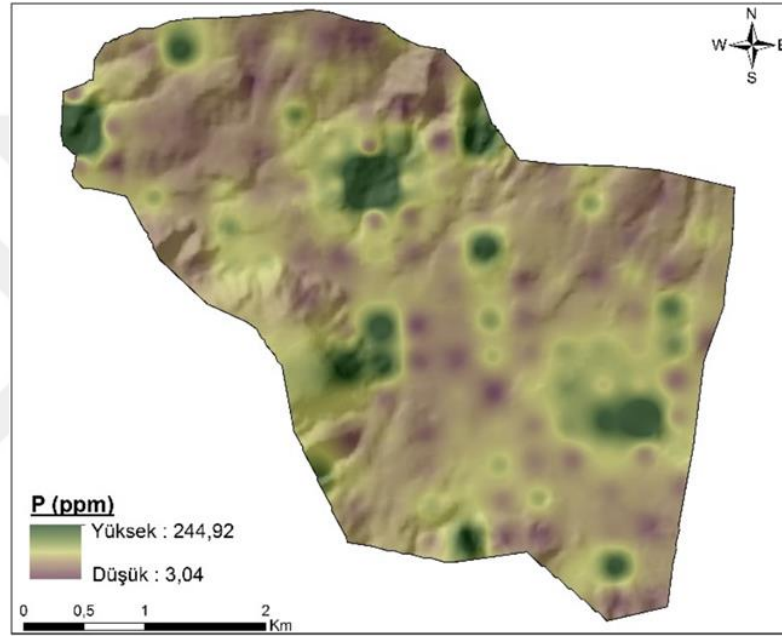
düşük olduğu görülmektedir. Tuzluluğa karşı toleransı fazla yüksek olmayan ayçiçeği bitkisinin toprak isteği özellikleri dikkate alınarak hesaplanan EC kalite skoru, 15 ile 100 arasında değişiklik göstermekte ve ortalama 57 kalite skoru ile EC kalite skoru, ayçiçeği bitkisinin yetiştirilmesi için orta kalite olarak belirlenmiştir.



#### 4.3.7. Bitkiye Yararışlı Fosfor

Topraktaki fosforun ana kaynağını topraktaki kayaç ve mineraller oluşturmaktadır. Toprakların fosfor düzeyi farklı seviyelerdedir fakat bunun çok az bir kısmı bitkiler tarafından alınabilir. Fosforu diğer besin elementlerinden ayıran özellik çok zor ve geç çözünmesidir. Buna rağmen toprakta fosfor önemli işlevlere sahiptir. Bunlar; bitkide iyi bir kök gelişimi, çiçeklenmeyi, meyve tutumu ve olgunlaşması, ürün kalitesinin artması ve bunlara bağlı olarak verimliliğin artmasıdır. SMAF, özellikle eğim derecesi arttıkça fosfor indikatörü daha düşük skor değeri vermektedir. Sims ve ark. (1998), topraktan fosfor kaybının asıl sebebinin yüzey akışı olduğunu ve genellikle fosforun toprakta hareketsiz olduğunu belirtmişlerdir. Toprağa uygulanan fosforun topraktaki hareketi diğer besin elementlerine göre daha yavaştır. Bu sebepten fosforun kök bölgesinin altına inmesi beklenmez ve bitkiler tarafından kullanılamayan fosfor yüzey toprağında birikir (Günel ve ark., 2008). Bitkiye yararışlı fosfor içeriği 3.04 mg/kg ile 244.92 mg/kg arasında değişen çalışma alanına ait Şekil 4.8'deki

bitkiye yarayışlı fosfor düzeyi dağılım haritası incelendiğinde yer yer yüksek fosfor içeriğine sahip bölgeler olsa da alanın büyük çoğunluğunun bitkiye yarayışlı fosfor içeriğinin alanın ortalama fosfor değerine göre daha düşük dağılım gösterdiği görülmektedir. Ayçiçeği bitkisinin toprak isteği özellikleri dikkate alınarak hesaplanan bitkiye yarayışlı fosfor kalite skoru, 9 ile 100 arasında büyük değişiklik göstermekte ve ortalama 91 kalite skoru ile bitkiye yarayışlı fosfor kalite skoru, ayçiçeği bitkisinin yetiştirilmesi için çok yüksek kalite olarak belirlenmiştir.

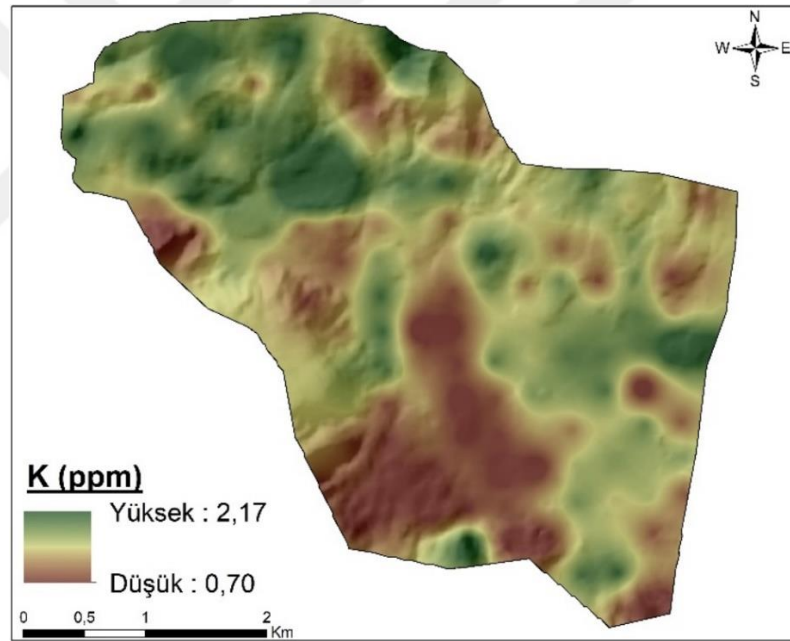


Şekil 4.8. Toprakların bitkiye yarayışlı fosfor içeriğine yönelik dağılım haritası.

#### 4.3.8. Bitkiye Yarayışlı Potasyum

Potasyum elementi, yerkabuğunda kaya ve minerallerin yapı maddesi olarak fazla miktarda bulunmaktadır. Potasyum göstergesi, bitki büyümesi için gerekli bir bitki besin maddesidir ve ekilebilir arazilerde temel bileşen analizine göre toprak kalitesi göstergelerinden biri olarak kabul edilmektedir (Budak ve ark., 2018). Bitkilerde su dengesini ve fotosentez ürünlerinin üretimini ve taşınmasını sağlayan potasyum bazı enzim sistemlerini etkinleştirir, ürünün miktar ve kalitesine etki eder. Çalışma alanında (Şekil 4.9) bitkiye yarayışlı potasyum değerleri 0.70 mg/kg ile 2.17 mg/kg arasında değişiklik göstermekte olup, çalışma alanının kuzeybatısı yüksek potasyum içeriğine sahipken alanın kuzeydoğusu orta-düşük ve güneyi düşük

potasyum içeriğine sahiptir. Yoğun tarımsal faaliyetler ile yüksek miktarda topraktan kaldırılan potasyumun ülkemizde gübre olarak kullanımı azot ve fosfor kadar yaygın olmadığından yem bitkileri gibi topraktan oldukça yüksek miktarda biyokütle kaldıran ürünlerin bulunduğu arazilerde yarıyıllı formdaki potasyum hızla azalmaktadır. Ürünler ile topraktan kaldırılan miktarın rezerv olarak depolanmış potasyumun yarıyıllı hale geçme hızından daha yüksek olması kalite skorunun da düşmesine yol açtığı söylenebilir. Bu da potasyum skorunun düşük olduğu arazilerde bitkisel üretimde verimi kısıtlayan bir etmen olarak algılanmalıdır. Çalışma alanında ise ayçiçeği bitkisinin toprak isteği özellikleri dikkate alınarak hesaplanan bitkiye yarıyıllı potasyum kalite skoru, 91 ile 100 arasında büyük değişiklik göstermekte ve ortalama 100 kalite skoru ile bitkiye yarıyıllı fosfor kalite skoru, ayçiçeği bitkisinin yetiştirilmesi için çok yüksek kalite olarak belirlenmiştir.

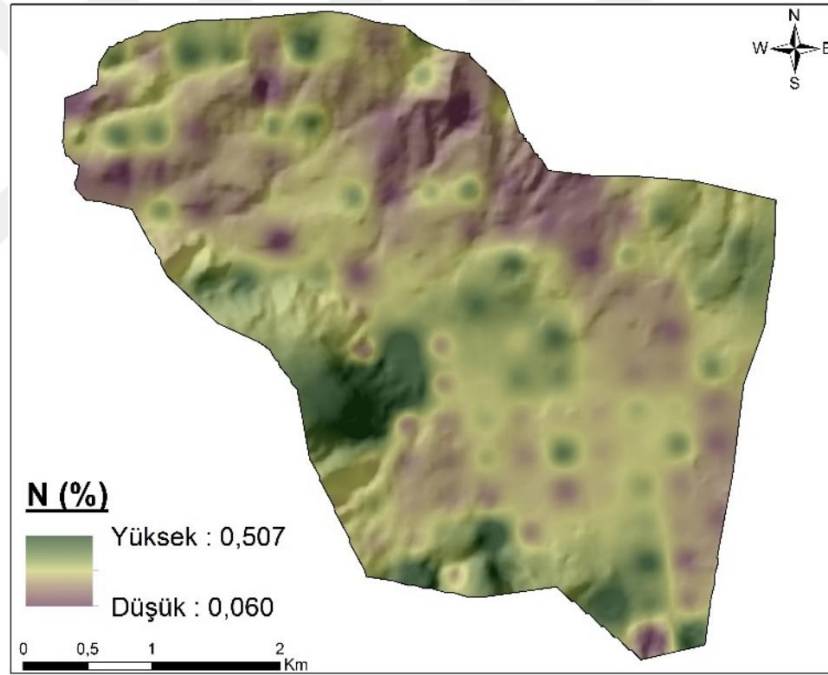


Şekil 4.9. Toprakların bitkiye yarıyıllı potasyum içeriğine yönelik dağılım haritası.

#### 4.3.9. Toplam Azot

Potansiyel olarak azot, toprak sağlığının önemli bir göstergesi olarak kabul edilir ve uygulanan tarımsal aktivitelerden çok etkilenir (Mahal ve ark., 2018). Azot, canlıların temel yapı taşlarından biridir. Topraktaki azotun kaynağı, genellikle organik maddedir. Toprak organik maddesinin çürüyüp parçalanması sonucunda meydana gelen azot, bitkiler tarafından kullanılır. Azot, bitkilerin genç ve büyüyen kısımlarında

daha çok bulunur ve vejetatif aksamın (dal, sürgün, yaprak) gelişimini sağlar. Potansiyel olarak mineralize olabilen azot ise bitki tarafından kullanılabilir durumda azot miktarını ifade etmektedir. Bu nedenle toprak kalitesinin bir göstergesi olarak azot miktarı önerilmiştir ve modern toprak sağlığı değerlendirme çalışmalarına dahil edilmiştir (Gregorich ve ark., 1994; Moebius-Clune ve ark., 2016). Çalışma alanına ait Şekil 4.10 incelendiği zaman alandaki azot düzeyinin %0.060 ile %0.507 arasında değişmekte olup, alanın güneybatısı yüksek azot içeriğine sahipken alanın geri kalan kısmının orta - düşük seviyede azot içeriğine sahip olduğu görülmektedir. Ayçiçeği bitkisinin toprak isteği özellikleri dikkate alınarak hesaplanan potansiyel mineralize olabilir azot kalite skoru, 65 ile 100 arasında değişiklik göstermekte ve ortalama 98 kalite skoru ile azot kalite skoru, ayçiçeği bitkisinin yetiştirilmesi için çok yüksek kalite olarak belirlenmiştir.

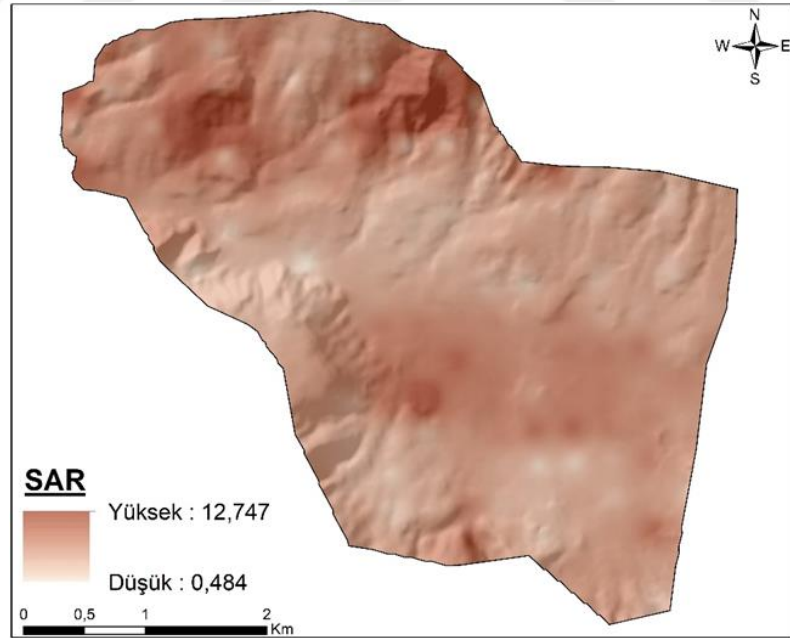


Şekil 4.10. Toprakların azot içeriğine yönelik dağılım haritası.

#### 4.3.10. Sodyum Adsorpsiyon Oranı

Yüksek sodyum içeriği toprakların sürdürülebilirliğine engel olan öğelerden birisidir. Bu nedenle toprak kalitesi üzerine etkisi olan önemli bir parametredir. Toprakta değişebilir katyonlar içerisinde sodyum artışı ile, özellikle de fiziksel özelliklerin bozulması sebebiyle bitki gelişmesi büyük ölçüde zarar görür (Işık, 2004). Hidrate çapı en yüksek element olan sodyum toprak taneciklerinin arasına girerek

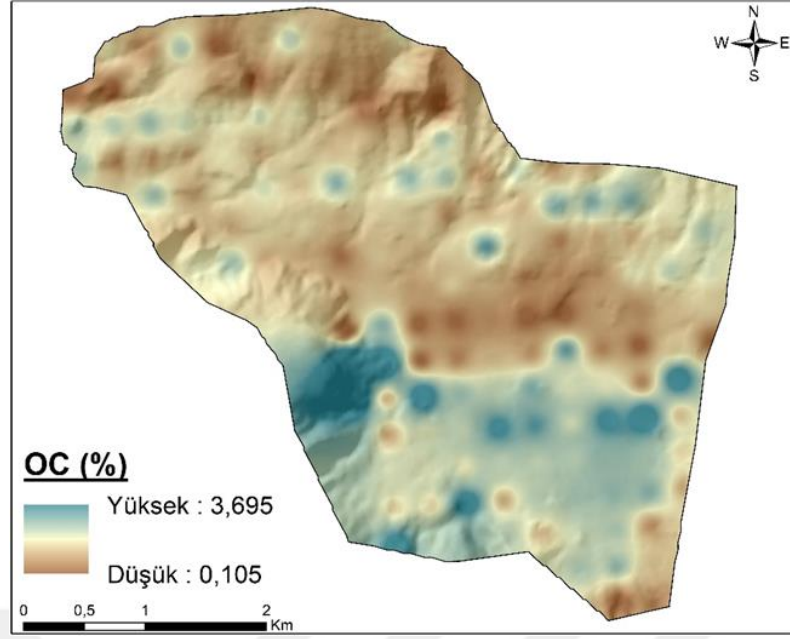
toprak taneciklerinin birbirinden uzaklaşmasına sebep olur. Toprak kolloidleri dispers olarak su ve havanın toprak içindeki hareketini oldukça yavaşlatır, toprakların hidrolik iletkenliği azalır, infiltrasyon hızı düşer ve geç tava gelir. Bu sebeplerle bitki kökleri anormal derecede kalınlaşır, kısalır ve bitki kurur. Ayrıca kuruyan sert toprak kabukları çimlenen tohumların çıkışlarını engeller (Abrol ve ark. 1988, Sönmez 1990, Usta 1995). Organik madde, SAR düşük olduğunda geçirgenlik kaybını önleyebilir. Fakat organik madde ilaveleri, organik madenin yüksek negatif yük içerikleri nedeniyle yüksek SAR değerine sahip toprakların dispers oluşunu arttırırken, bu topraklardan uzaklaştırılması sodyumca doymuş toprakların dispersiyonunu azaltmıştır (Churchman ve ark., 1993). Elde edilen sonuçlara göre sodyum adsorbsiyon oranı 0.48-12.74 arasında değişmekte ve çalışma alanının (Şekil 4.11) Kuzey batısında ve alanın orta kısımlarında yüksek dağılım gösterirken alanın büyük çoğunluğunda düşük seviyelerdedir. Ayçiçeği bitkisinin toprak isteği özellikleri dikkate alınarak hesaplanan sodyum adsorbsiyon oranı kalite skoru, 1 ile 93 arasında değişiklik göstermekte ve ortalama 73 kalite skoru ile sodyum adsorbsiyon oranı kalite skoru, ayçiçeği bitkisinin yetiştirilmesi için yüksek kalite olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.11. Toprakların SAR değerlerine yönelik dağılım haritası.

#### 4.3.11. Toprak Organik Karbon İçeriği

Topraklardaki organik karbon miktarı ne kadar fazla ise l örtü ayrışması o kadar iyidir demektir (Karaöz, 1993). Toprak solunumu da topraklardaki karbon değişiminde önemli bir unsurdur. Araştırmalar her bitki türünün, farklı toprak solunum miktarlarına sahip olduğunu ortaya koymuştur. Toprak solunumu toprağa düşen bitki artıklarındaki organik maddenin parçalanmasıyla daha da hızlanmaktadır. Bu da toprağa dökülen l örtünün etkisiyle toprak solunumunun arttığını ve topraktaki organik maddenin de dolaylı olarak artmasına sebep olduğunu göstermektedir (Raich ve Nadelhoffer, 1989). Organik karbon toprakta uzun bir süre muhafaza edilebilse de toprak işleme, erozyon, arazi kullanım değişiklikleri vb. sebepler ile toprakta karbon stoğu zamansal ölçekte büyük değişiklikler gösterebilmektedir (Başaran, 2004). Organik karbon miktarı fazla olan st toprağın erozyon ile taşınması karbonun depolamasında azalmaya sebep olmaktadır. Ana materyalin ve toprağın özellikleri de l örtü ve toprakta stoklanan karbon miktarını etkilemektedir. Örneğin atlaklı yapıdaki ana kayada kökler çok daha iyi gelişim göstereceği için topraktaki organik madde miktarı da daha fazla olabilir (Tolunay ve mez, 2008). OC içeriği %0.10-3.69 arasında değişiklik gösteren çalışma alanının kuzeyi, kuzeydoğusu ve kuzey batısı yer yer yüksek OC içeriğine sahip olsa da çok büyük bir kısmı OC içeriği bakımından zayıftır (Şekil 4.12). Öte yandan alanın güneyi, güneydoğusu ve güney batısı ise OC içeriği bakımından oldukça iyi durumdadır. Organik karbon içeriği yüksek alanlarda daha iyi gelişim gösterebilen ayeği bitkisinin toprak isteği özellikleri dikkate alınarak hesaplanan organik karbon kalite skoru, 3 ile 100 arasında değişiklik göstermekte ve ortalama 76 kalite skoru ile organik karbon kalite skoru, ayeği bitkisinin yetiştirilmesi için yüksek kalite olarak belirlenmiştir. Topraktaki stok halinde bulunan karbon miktarını etkileyen önemli özellikler toprak tekstürü, derinliği, taşlılık miktarı, toprak nemi, toprak reaksiyonu, baz doygunluğu, toprak infiltrasyonudur. Toprak tekstürü karbon moleküllerinin kararlı bir şekilde bağlanmasında ve toprakta karbonun daha fazla depolanmasında önemlidir. Örneğin killi topraklar kumlu topraklara kıyasla daha fazla kararlı organik karbon depolayabilmektedir. Taşlılık oranı yüksek olan topraklarda ise organik karbon daha az bağlanabildiği için karbon depolama oranı daha düşüktür (Sl, F., 2020).

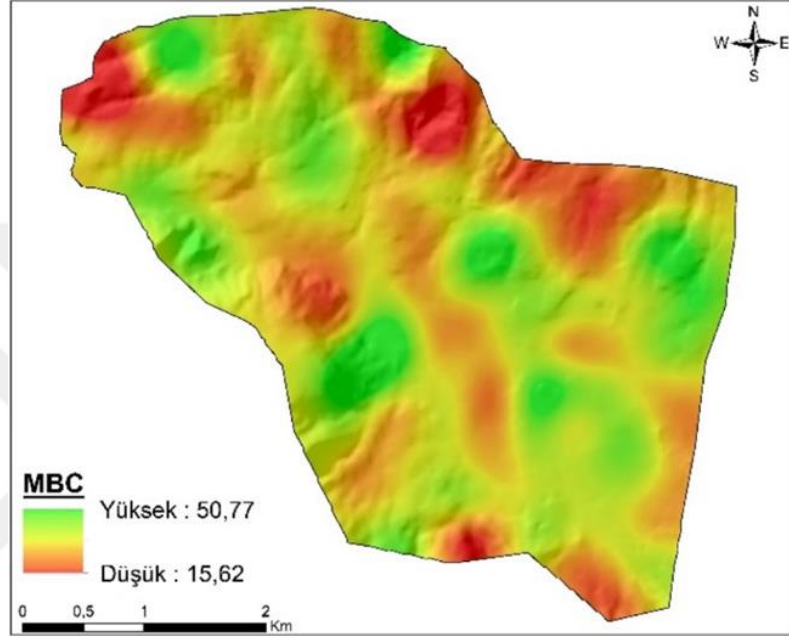


Şekil 4.12. Toprakların organik karbon (OC) içeriğine yönelik dağılım haritası.

#### 4.3.12. Mikrobiyal Biyokütle Karbonu

Topraklardaki mikrobiyal biyokütle düzeyi ve aktivitesi toprak verimliliğinin önemli bir belirteçidir. Organik sistem etkisindeki topraklarda normale oranla daha yüksek mikrobiyal biyokütle ve solunum saptayan Dilly (2001); bu durumun organik maddenin içeriğindeki ve bunun kalitesindeki farklılıktan kaynaklandığını ileri sürmüştür. Büyük bir bölümü bakteri ve mantarlardan oluşan toprak mikrobiyal biyokütlesi,  $5 \times 10^{-3}$   $\mu\text{m}$ 'den daha büyük bitki kökleri ve toprak içerisinde yaşayan canlılar hariç toprak organik maddesinin canlı birer parçası olarak tanımlanmaktadır (Jenkinson ve Ladd 1981). Toprak mikrobiyal biyokütlesi karbon (C) depo etmesi, parçalama ve küçük miktarda da olsa gaz akışı gibi ekosistem işlemlerini düzenleyen çok önemli bir yapıdır. Mikroorganizmalar, toprakta meydana gelen değişikliklere çok çabuk tepki gösterirler ve çevresel faktörlere hızlı bir şekilde uyum gösterirler. Bu canlıların uyum yetenekleri toprak sağlığının ve kalitesinin değerlendirilmesinde çeşitli mikrobiyal analizlerin kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Bu sebeple mikrobiyal populasyon ve faaliyetlerdeki farklılıklar toprak sağlığı ve kalitesindeki değişikliklerin iyi bir göstergesi olarak görev almaktadır (Kennedy ve Papendick 1995, Pankhurst ve ark. 1995). Şekil 4.13 incelendiğinde çalışma alanının mikrobiyal biyokütle karbonu içeriğinin alanda 15.62-50.77 arasında değişiklik gösterdiği; alanın kuzeyinde, kuzeybatısında ve güneyinde özellikle çok düşük olduğu görülmektedir.

Bunun yanında, çalışma alanının genelinde mikrobiyal biyokütle karbon içeriğinin orta ve yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayçiçeği bitkisinin toprak isteği özellikleri dikkate alınarak hesaplanan mikrobiyal biyomas karbon kalite skoru, 59 ile 100 arasında değişiklik göstermekte ve ortalama 88 kalite skoru ile mikrobiyal biyomas karbon kalite skoru, ayçiçeği bitkisinin yetiştirilmesi için çok yüksek kalite olarak belirlenmiştir.

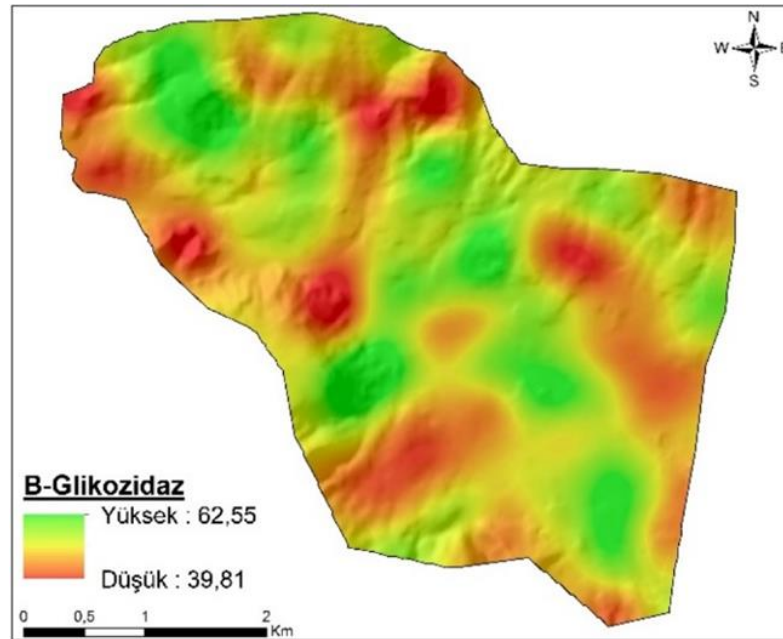


Şekil 4.13. Toprakların mikrobiyal biyokütle karbon (MBC) içeriğine yönelik dağılım haritası.

#### 4.3.13. $\beta$ -Glukozidaz Enzim Aktivitesi

Toprak enzimleri azot (üreaz, proteaz), fosfor (fosfatazlar) ve karbon ( $\beta$ -glukozidaz) döngülerinde yer aldıkları için toprağın biyolojik verimliliğinin iyi bir göstergesi olarak kabul edilirler (Dindar ve ark., 2017).  $\beta$ -glukozidaz enzimi topraklarda  $\beta$ -glukosidlerin hidrolizini katalizleyen bir enzimdir ve bu enzimin aktivitesi organik maddenin parçalanmasına dair fikir vermektedir (Ndiaye ve ark., 2000).  $\beta$ -glukozidaz enzimi toprak kalitesinin tayin edilmesinde kullanılan bir indikatör olup, geçmiş biyolojik aktiviteler hakkında bilgi edinilmesine olanak sağlamaktadır. Organik maddenin hidrolizini kapsamaması sebebi ile toprak kalitesi üzerinde önemli bir role sahiptir. Toprak çözeltisi içerisinde gerçekleşen reaksiyonlar sonucu meydana gelen son ürün glikoz olması sebebi ile toprak mikroorganizmaları için önemli bir karbon enerji kaynağıdır (Esen, 2010). Son zamanlarda toprak

kalitesinin biyolojik göstergeleri olarak hücre dışı enzimlerin kullanımı konusuna büyük bir ilgi vardır, çünkü bunların belirlenmesi nispeten basittir, ekolojik öneme sahiptir, çevresel strese karşı hassastır ve arazi yönetimindeki değişikliklere hızla tepki verirler (Dick, 1997; Yakovchenko ve ark., 1996).  $\beta$ -Glukozidaz aktivitesi, genellikle toprak kalitesinin önemli bir bileşeni olarak kabul edilen toprak organik maddesinin döngüsündeki önemli rolü sebebiyle, toprakların kalite durumunun takip edilmesi için özellikle faydalı bir enzim olabilir. Çalışma alanının  $\beta$ -glukozidaz enzim aktivitesi dağılım haritası (Şekil 4.14) incelendiğinde aktivitenin 39.81-62.55 arasında değişmekte olduğu görülmektedir. Alanın kuzeybatı, güneybatı, güneydoğu ve iç kısımlarında yüksek  $\beta$ -glukozidaz enzim aktivitesi görülse de, alanın büyük çoğunluğunun orta ve düşük enzim aktivitesine sahip olduğu görülmektedir. Bu duruma rağmen, ayçiçeği bitkisinin toprak isteği özellikleri dikkate alınarak hesaplanan  $\beta$ -glukozidaz enzim aktivitesi kalite skoru, 55 ile 100 arasında değişiklik göstermekte ve ortalama 92 kalite skoru ile  $\beta$ -glukozidaz enzim aktivitesi kalite skoru, ayçiçeği bitkisinin yetiştirilmesi için çok yüksek kalite olarak belirlenmiştir. Araştırmalar,  $\beta$ -glukozidazın toprakta selülozun parçalanmasında rol oynayan üç enzim arasında en fazla bulunan ve en kolay belirlenen olduğunu ve nadiren substratla sınırlı olduğunu ortaya koymuştur, bu sebeple toprakta organik bileşiklerinin dönüşümü hakkında fiziko-kimyasal durumları incelemek için idealdir (Debosz ve ark., 1999; Eivazi ve Tabatabai, 1988; Monreal ve Bergstrom, 2000).



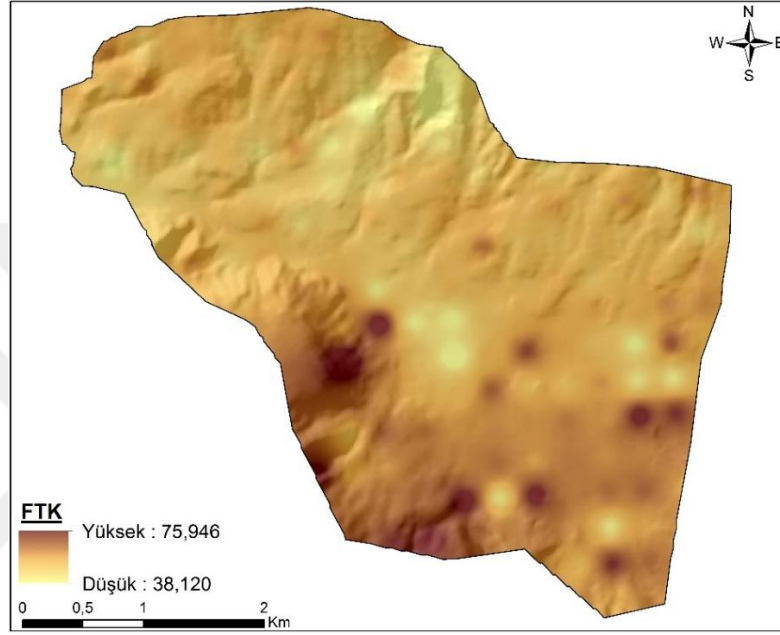
Şekil 4.14. Toprakların  $\beta$ -glukozidaz enzim aktivitesine yönelik dağılım haritası.

#### **4.4. SMAF Modeli Yardımıyla Toprak Kalitesi**

##### **4.4.1. Fiziksel Toprak Kalitesi**

SMAF model yardımıyla çalışma alanında dağılım gösteren toprakların fiziksel toprak kalite durumlarının belirlenmesinde agregat stabilitesi, yarayışlı su içeriği, hacim ağırlığı ve su dolu gözenek hacmi kullanılmıştır. Şekil 4.15’de bu parametrelerden elde edilen sonuçların ortalaması alınarak hesaplanan fiziksel kalite skorunun haritası görülmektedir. Elde edilen sonuca göre, alanın güneybatısının fiziksel kalite değerleri alanın geneline göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bunun sebebi, bu bölgedeki agregat stabilitesinin ve yarayışlı su içeriğinin diğer bölgelere göre daha yüksek olmasıdır. Agregat stabilitesi, toprak içerisinde taneciklerin dizilimini, stabilitesini, boşluklar arasındaki büyüklüğü ve bunların devamlılığını sağlaması sebebi ile toprak kalitesi için çok önemlidir (Altıkat ve Çelik, 2009). Agregat stabilitesi toprak taneciklerini dispers ederek birbirinden uzaklaştıran güçlere karşı tanecikler arasındaki kohezif güçlerin bir fonksiyonudur. Toprak tanecikleri arasındaki bu kohezif güçler silika killeri, karbonatlar, ve organik bileşiklerdir (Kemper ve Rosenau, 1986). Ayrıca toprakta suya dayanıklı agregatların varlığı, toprakların erozyona karşı dirençli olması, bitki büyümesi ve biyo-çeşitlilik üzerine olan pozitif etkilerinden dolayı önemli bir toprak kalitesi göstergesi olarak kabul edilmektedir (Budak ve ark., 2018). Aynı zamanda, fiziksel toprak kalitesinin yüksek bölgelerde hacim ağırlığı değerinin de düşük ve orta düzeyde oluşu toprakta suyun tutulmasını artırdığı için yarayışlı su miktarını ve dolayısıyla bu bölgelerdeki fiziksel kalite skorunu da artırmaktadır. Toprakta agregasyon olayı zamanla değişim gösterebilmekte ve bu değişim kısa bir sürede veya bir gözlem süresi boyunca meydana gelebilmektedir. Oluşan agregatlar belirli bir zaman içerisinde devamlı olarak parçalanıp tekrar oluşabilmektedir (Hillel, 1982). Toprak tekstürü, su ve su içerisinde çözünen besin elementlerinin hareketi ve toprak gözenekliliği için toprağın fonksiyon gösterme yeteneğini ortaya koyan hacim ağırlığı; toprak kalitesinin önemli göstergelerinden birisi olarak da kabul edilir (Andrews ve ark., 2004) Ayrıca, toprağın dinamik özelliklerinden biridir ve toprak sıkışmasının da önemli göstergelerindendir (De Souza Lima ve ark., 2017). Alanın kuzeyinde, eğimin de yüksek olduğu alanlar incelendiğinde hacim ağırlığının yüksek, kum içeriğinin fazla olduğu görülmektedir. Bu bölgelerde toprak gözeneklerinin büyük oluşu suyun toprakta tutulmasını engellediği için suyun sızarak uzaklaşmasına neden olur. Aynı zamanda toprak tanecikleri arasındaki agregatlaşma da düşüktür ve bu durum toprak kalitesinin düşük

olmasına sebep olmaktadır. Genel olarak, fiziksel toprak özelliklerinin çok da iyi olmadığı zorlu koşullarda da tarımının yapılması mümkün olan ayçiçeği bitkisinin toprak isteği özellikleri dikkate alınarak hesaplanan, alana ait fiziksel toprak kalitesi haritası incelendiğinde; yer yer düşük ve yüksek toprak kalitesine sahip olan bölgeler olmakla beraber, çalışma alanı ortalama 56 kalite puanı ile ayçiçeği yetiştirilmesi için orta kalite olarak belirlenmiştir.

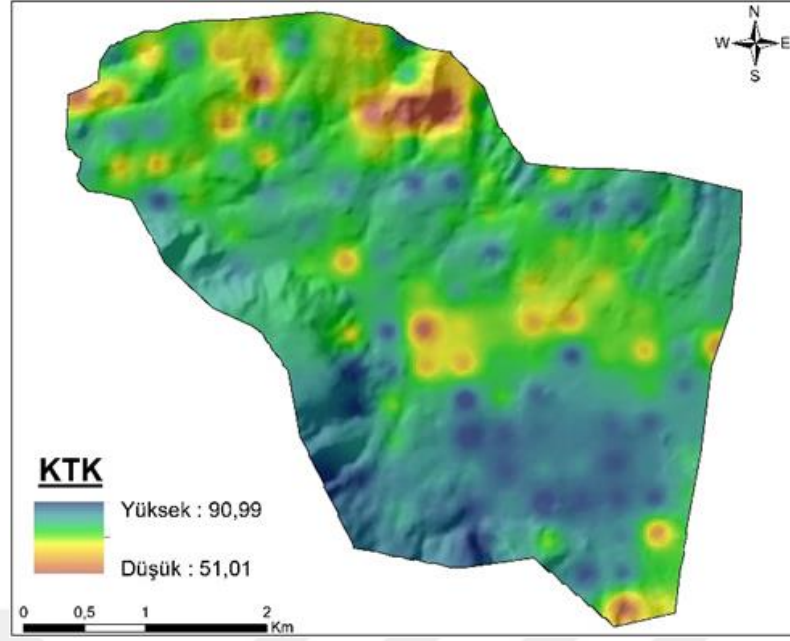


Şekil 4.15. Çalışma alanına ait fiziksel toprak kalitesi dağılım haritası

#### 4.4.2. Kimyasal Toprak Kalitesi

Kimyasal toprak kalite skorunun belirlenmesinde toprak reaksiyonu (pH), elektriki iletkenlik (EC), sodyum adsorbsiyon oranı (SAR), toprak organik karbonu, potansiyel mineralize olabilir azot, bitkiye yararlı fosfor ve bitkiye yararlı potasyum olmak üzere 7 toprak kalite indikatörü kullanılmıştır. Bu indikatörlerden elde edilen kalite skorlarının ortalaması alınarak elde edilen kimyasal kalite skoruna ait dağılım haritası Şekil 4.16'da görülmektedir. Toprakların ekstrem kimyasal özelliklerine karşı dayanıklı olmayan ayçiçeği bitkisinin toprak isteği özellikleri dikkate alınarak hesaplanan, alana ait kimyasal toprak kalite skoru 81 ile ayçiçeği bitkisi yetiştirmek için yüksek kalite olarak belirlenmiştir. Kimyasal toprak kalite dağılım haritası incelendiğinde, en yüksek kalite skorlarının elde edildiği bölgelerin alanın kuzeyinde olduğu, en düşük kalite skorlarının ise alanın kuzeyi, kuzeybatısı,

güneydoğusu ve iç kesimlerinde olduğu görülmektedir. Kimyasal kalite skoru düşük olan bölgeler incelendiği zaman; bu bölgelerde mineralize olabilir azot, organik karbon, bitkiye yararışlı azot ve bitkiye yararışlı fosfor içeriklerinin de yine aynı bölgelerde düşük olduğu görülmektedir. Bu durum; bu kalite parametrelerinin, toprakların kimyasal kalite skoru üzerine çok önemli etkileri olduğunu koymaktadır. Toplam azot toprak içerisinde bulunan organik azotu bitkinin kullanabileceği formlara dönüştürebilme kapasitesinin bir göstergesidir (Moebius-Clune ve ark., 2016). Ayrıca azot; bitki artıkları, toprak organik maddesi ve mikrobiyal toplulukta depolandığı için bitkilerin büyüme ve gelişmesi için en sınırlayıcı besindir (Negiş, 2019). Bu nedenle de toprak üretkenliği ve kalitesi bakımından önemli bir parametredir. Alan içerisinde kimyasal toprak kalite durumu yüksek olmasına karşın bitkiye yararışlı fosfor, bitkiye yararışlı potasyum ve azot içeriğine ait parametrelerinin düşük olduğu da gözlemlenmektedir. Bu durumda toprakların asitlik ve bazlık durumunu ortaya koyan pH dağılım haritası incelendiğinde sözü geçen bölgelerde toprak reaksiyonunun nötre daha yakın olduğu ve besin elementlerinin miktarı az da olsa uygun pH'da ayçiçeği bitkisi için kullanılabilirliklerinin daha fazla olduğu, dolayısıyla kimyasal kalite skorunun pozitif yönde etkilendiğini söylemek mümkündür. Ayrıca, çalışma alanı içerisinde sodyum adsorbsiyon oranının yüksek olduğu bölgelerde organik karbon içeriğinin düşük ve kimyasal kalite skorunun düşük olduğu görülmektedir. Bunun nedeni toprak içerisindeki sodyumun organik maddenin parçalanmasını destekleyerek organik karbonun kaybına sebep olmasıdır.

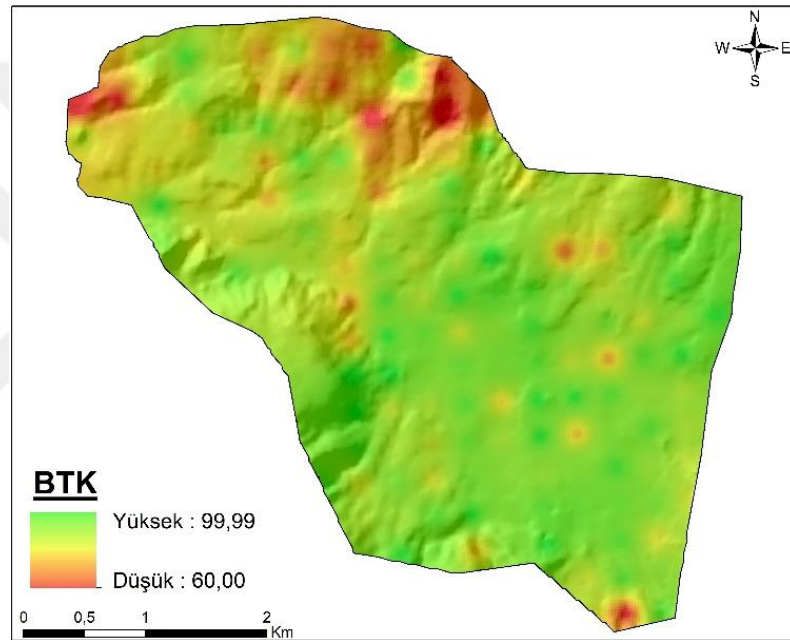


Şekil 4.16. Çalışma alanına ait kimyasal toprak kalitesi dağılım haritası

#### 4.4.3. Biyolojik Toprak Kalitesi

Biyolojik toprak kalite skorunun belirlenmesinde mikrobiyal biyokütle karbonu ve  $\beta$ -glukozidaz enzim aktivitesi kullanılmış olup, ayçiçeği bitkisinin toprak isteği özellikleri dikkate alınarak hesaplanan alana ait biyolojik kalite skoru 90 ile ayçiçeği bitkisi yetiştirilmesi için çok yüksek sınıfa girmektedir (Şekil 4.17). Alanın iç kısımlarında yer yer düşük kaliteye sahip bölgeler vardır ancak; alanın kuzeyinde, kuzey batısında ve güney doğusunda biyolojik kalite skorunun alanın genel kalite skoruna göre daha düşük olduğu alanlar bulunmaktadır. Bu bölgelerdeki kalite skorunun düşük oluşu o bölgede mikrobiyal biyokütle karbonu ve  $\beta$ -glukozidaz enzim aktivitesi değerlerinin ikisinin de düşük oluşundan kaynaklanmaktadır.  $\beta$ -glukozidaz enzim aktivitesi en yaygın, önemli ve yaygın olarak kullanılan toprak kalite göstergelerinden birisidir (Bandick ve Dick, 1999). Ağırlıklı olarak bitkiler, hayvanlar, bakteriler, mantarlar ve mayalar arasında bulunan ve bunların kalıntılarındaki  $\beta$ -glukozitlerin hidrolizini sağlayarak biyolojik parçalanmasını katalize etmede rol oynayan  $\beta$ -glukozidazın toprak mikroorganizmaları için önemi büyüktür. Çünkü toprakta meydana getirdiği reaksiyonlar mikroorganizmaların büyümeleri ve aktivitelerini devam ettirebilmeleri için gerekli olan önemli bir karbon enerji kaynağı olan glikozu üretir (Adetunji ve ark., 2017). Açığa çıkan bu enerji kaynağını kullanan mikrobiyal biyokütle; toprak içerisinde yaşamını sürdüren mikroorganizmalar,

hayvanlar ve bitki köklerini kapsamaktadır. Ayrıca mikrobiyal biyokütle toprak ekosisteminde besin maddelerinin hem kaynağı hem de kullanıcısı olarak görev yapmakta; C, N, P ve S elementlerinin dönüşümlerine katılarak toksik organik maddelerin bozunmasında ve ağır metallerin absorbe edilmesinde görev yapmaktadır (Özulu ve ark., 2006). Dolayısıyla  $\beta$ -glukozidaz enzim aktivitesi ve mikrobiyal biyokütle karbonu arasında pozitif bir ilişki görülmektedir. Toprakta organik madde döngüsü, mikrobiyal biyokütlenin aktivitesi ve büyüklüğü ile kontrol edilmektedir. Bu sebepten dolayı, toprağın biyokimyasal ve biyolojik parametrelerinin toprağın ekolojik olarak şekil almasında rolü çok önemlidir (Rolda'n ve ark. 2003).



Şekil 4.17. Çalışma alanına ait biyolojik toprak kalitesi dağılım haritası

#### 4.4.4. SMAF Toplam Toprak Kalitesi

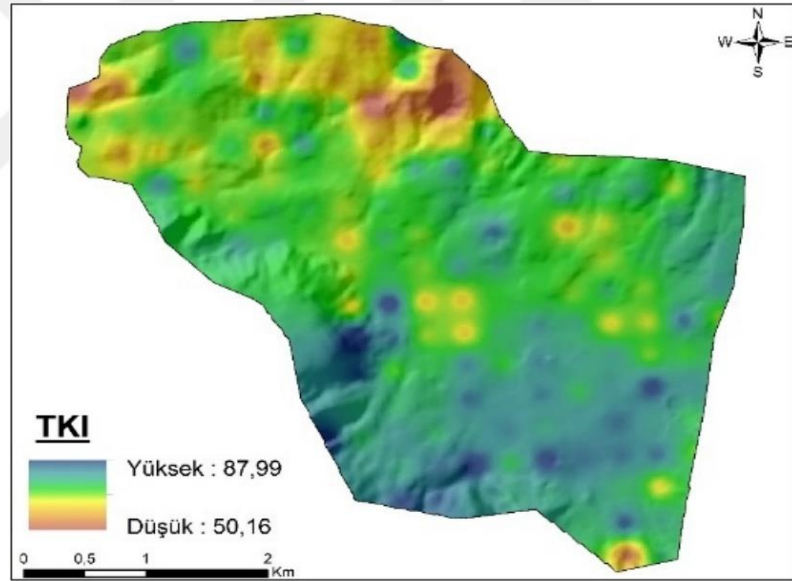
Toprak kalitesinin en iyi şekilde tespit edilmesi için toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik fonksiyonlarını bir arada kullanmak üzere oluşturulan; SMAF modelindeki 13 toprak parametresinden hesaplanan skorların birleştirilmesi ile elde edilen, çalışma alanına ait genel toprak kalitesinin haritası Şekil 4.18’de verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, çalışma alanı içerisinde dağılım gösteren topraklar yer yer düşük ve orta kaliteye sahip olsa da ayçiçeği bitkisinin toprak isteği özellikleri dikkate alınarak hesaplanan, alana ait toprak kalite skoru 75 ile ayçiçeği tarımı yapılması için yüksek sınıfa girmektedir.

Çalışma alanına ait toprak kalitesinin dağılım haritası incelendiği zaman en düşük kaliteye sahip bölgenin alanın kuzeyindeki dağlık kısımda olduğu görülmektedir. Bunun en önemli sebeplerinden biri, söz konusu bölgedeki toprak hacim ağırlığının yüksek olmasıdır. Toprakların hacim ağırlığı arttıkça, bitki kök gelişimi azalmakta bu nedenle hacim ağırlığı toprak kalitesinin önemli bir göstergesi olarak dikkate alınmaktadır (USDA-NRCS, 1996). Çünkü hacim ağırlığı; topraktaki su içeriği ve toprak gözenekliliği gibi toprak bünyesi ile çok yakından ilişkili özellikleri doğrudan etkilemektedir (Da Silva ve Kay, 1997). Ayrıca, hacim ağırlığı, toprak organik maddesi ve toprak organik karbonu hakkında da önemli bilgi vermektedir. Şöyleki, topraklarda organik madde ve organik karbon içeriği arttıkça hacim ağırlığı azalmakta; gözeneklilik, yarayışlı su içeriği, agregat stabilitesi ve tüm bunlara bağlı olarak mikrobiyal aktivite artmaktadır. Bu durumu çalışma alanının güney kesimlerinde rahatlıkla görebilmekteyiz. Ayrıca yüksek organik karbon içeriğine sahip olan güney kesimleri organik karbon içeriğinin yüksek olması ile beraber, pH'nın nötre yakın ve EC nin düşük oluşu da  $\beta$ -glukozidaz enzim aktivitesi ve mikrobiyal biyomas karbonun yükselerek mikrobiyal aktivitenin artışına uygun ortam hazırlamıştır. Resck ve ark. (1999), toprak organik maddesi ve organik karbon içeriğinin topraktaki nitrojen döngüsünü, biyolojik aktiviteyi, kation değişim kapasitesini ve agregat stabilitesini büyük ölçüde etkileyen önemli bir toprak bileşeni olduğu belirtmişlerdir.

Toprak tekstürü ve organik madde içeriğiyle yakından ilişkili olan agregat stabilitesi toprakların verimliliğini etkileyen en önemli özelliklerden biridir (Xiao ve ark., 2019; Tang ve ark., 2020) ve alanın yüksek kaliteye sahip olmasında önemli rol oynamaktadır. Çünkü agregat stabilitesi iyi düzeyde olan topraklarda gözeneklilik fazla, toprak nemi fazla, hacim ağırlık düşük, organik madde içeriği fazla, toprak strüktürü iyi, ve toprakların erozyona duyarlılıkları düşüktür. Bu nedenle alana dağılım gözteren bu topraklar bitki gelişimi için uygun ortama sahiptirler. Toprak kalitesine ait dağılım haritasını incelendiğinde, kuzey kesimlerde görülen düşük kalite skorunun sebeplerinden diğerleri ise söz konusu bölgede düşük olan mikrobiyal biyokütle karbon, agregat stabilitesi,  $\beta$ -glukozidaz enzim aktivitesi, düşük azot içeriği, organik karbon, bitkiye yarayışlı fosfor, bitkiye yarayışlı potasyum, yarayışlı su içeriği ve suyla dolu gözenek miktarı değerleri ile yüksek olan pH ve SAR değerleridir. Ayrıca, topraklarda SAR değerinin yüksek olması stabilize olmuş durumdaki agregatlar arası bağı zayıflatarak, agregat stabilitesinin düşmesine neden

olabilmektedir (Ben-Hur ve ark., 1985). Yoğun toprak işleme uygulamaları da agregatların parçalanmasına sebep olabilmekte ve agregatlar içerisinde tutulmakta olan organik maddenin de mikroorganizmalar tarafından mineralize edilmesine sebep olmaktadır (Polat ve ark., 2012).

Çalışma alanının kuzey batısına ait toprak parametrelerin dağılım haritaları ile genel toprak kalitesine ait harita karşılaştırıldığında ise bu bölgede birçok ele alınan toprak parametresinin düşük kalite skoruna sahip düzeyde olmasına rağmen, toprak kalite haritasında orta kalitede olduğu görülmektedir. Bunun sebebi diğer parametreler düşük skora sahip olsa bile toprak kalitesini yakından etkileyen ve azaldıkça toprak kalitesini artıran hacim ağırlığı değerinin düşük olması ve bitkiye yararışlı potasyum içeriğinin yüksek olmasıdır. Yine aynı bölgede  $\beta$ -glukozidaz enzim aktivitesi ve mikrobiyal biyomas karbon içeriği de diğer parametrelere göre nispeten daha yüksek bulunmuştur.



Şekil 4.18. Çalışma alanına ait toprak kalitesi dağılım haritası

Çalışma alanında hesaplanan toprak kalite değerleri kullanılarak oluşturulan Cornell kalite kartı (Moebius-Clune, 2016) Şekil 4.19’da verilmiştir. Elde edilen sonuçlar <30 ise düşük, 30-50 orta ve 50> yüksek olarak değerlendirilmek üzere agregat stabilitesi ve hacim ağırlığı değerleri orta kalite olarak sınıflandırılmıştır.

|  |                                  | Tokat / Zile<br>Ayçiçeği |             |                                                        |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------|-------------|--------------------------------------------------------|
|                                                                                   |                                  | Toprak Kalite Sonuçları  |             |                                                        |
|                                                                                   | İndikatör                        | Değer                    | Puan        | Kısıt                                                  |
| Fiziksel                                                                          | Agregat Stabilitesi              | 0,465                    | 46          | Havalandırma, Sızma, Köklenme, Kabuk Oluşumu, Erozyon  |
|                                                                                   | Yarayışlı Su İçeriği             | 0,685                    | 68          |                                                        |
|                                                                                   | Hacim Ağırlığı                   | 0,356                    | 36          | Havalandırma, Sızma, Köklenme, Kabuk Oluşumu, Hard Pen |
|                                                                                   | Su Dolu Gözenek Hacmi            | 0,726                    | 72          |                                                        |
|                                                                                   | Toprak Reaksiyonu (pH)           | 0,875                    | 88          |                                                        |
| Kimyasal                                                                          | Elektriksel İletkenlik (EC)      | 0,567                    | 57          |                                                        |
|                                                                                   | Bitkiye Yarayışlı Fosfor         | 0,911                    | 91          |                                                        |
|                                                                                   | Bitkiye Yarayışlı Potasyum       | 1,00                     | 100         |                                                        |
|                                                                                   | Toplam Azot                      | 0,98                     | 98          |                                                        |
|                                                                                   | Sodyum Adsorpsiyon Oranı         | 0,728                    | 73          |                                                        |
| Biyolojik                                                                         | Organik Karbon                   | 0,579                    | 58          |                                                        |
|                                                                                   | Mikrobiyal Biyokütle Karbonu     | 0,918                    | 92          |                                                        |
|                                                                                   | βeta-Glukozidaz Enzim Aktivitesi | 0,877                    | 88          |                                                        |
| Ortalama Kalite Skoru                                                             |                                  | 75                       | Orta Kalite |                                                        |

Şekil 4.19. Çalışma alanına ait Cornell kalite kartı

## 5. SONUÇ VE ÖNERİ

Bitki büyüme ve gelişmesine uygun ortam sağlayan, yeterli düzeyde su, hava ve bitki besin elementine sahip, bozunmaya karşı direnç kapasitesi yüksek olan topraklar; kalitesi yüksek topraklar olarak bilinmektedir. Toprak kalitesi; toprakların sahip olduğu fiziksel, kimyasal ve biyolojik parametrelerinin tümünü yerine getirebilme kapasitesidir. Toprakların bozulmasına veya fonksiyonel özelliklerinin kaybolmasına neden olmayacak şekilde, tarım arazilerinin en uygun kullanım şeklini belirlemek üzere kullanım ve koruma verileri bir araya getirilerek; temel toprak özelliklerinin incelenmesi ve iklim şartlarına bağlı olarak yapılan planlamalara yönelik çalışmaların yapılması gerekmektedir. Son yıllarda toprak kalitesi, sürdürülebilir tarımın uygulanabilmesi için dünya genelinde önemli bir konu haline gelmiş ve bu konuda birçok çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmalara göre ise toprak kalitesinin her an değişebilecek dinamik bir faktör olduğu anlaşılmıştır.

Yapılan bu çalışmada, toprak örnekleri İç Anadolu bölgesinde yer alan Tokat ilinin Zile ilçesinde ayçiçeği tarımı yapılan tarım arazilerinden toplanmıştır. Çalışma alanından ayçiçeği tarımı yapılan tarım arazilerinin toprak kalitesini belirlemek amacıyla toplam 175 adet toprak örneği alınmıştır. Elde edilen sonuçlara göre bölge topraklarının kum silt ve kil içeriklerine göre tekstür sınıfları; killi tın (%14.85), kumlu killi tın (%18.28), kil (%52), kumlu tın (%3.42), kumlu kil (%9.75), tın (%1.14) ve tınlı kumdur (%0.57). Çalışma alanında ayçiçeği tarımı yanı sıra arpa, buğday, şeker pancarı ürünleri yetiştirmekte olup, yapılan toprak kalite hesaplamaları ayçiçeği bitkisinin toprak isteklerine göre yapılmış ve haritalandırılmıştır.

Toprak amenajmanı değerlendirme çerçevesi (SMAF), toprak kalite skorlarının hesaplanması için fiziksel, kimyasal ve biyolojik olmak üzere 3 ana başlık altında incelenen 13 indikatörden oluşur.

Çalışmada toprak kalitesi Toprak Amenajmanı Değerlendirme Çerçevesi (SMAF) modeline göre belirlenmiş olup, çalışmada fiziksel, kimyasal ve biyolojik toprak indikatörleri olarak; yarayışlı su içeriği, su dolu gözenek hacmi, hacim ağırlığı, agregat stabilitesi, toprak organik karbon içeriği, toprak pH'sı, elektriksel iletkenlik, sodyum adsorpsiyon oranı, bitkiye yarayışlı fosfor ve potasyum, potansiyel mineralize olabilir azot, mikrobiyal biyokütle karbonu ve beta-Glukozidaz enzim aktivitesi olmak üzere 13 adet toprak kalite parametresi kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre kullanılan bu parametreler arasında beta-Glukozidaz enzim aktivitesi, toprak pH'sı,

mikrobiyal biyokütle karbonu, agregat stabilitesi, hacim ağırlığı, bitkiye yarayışlı fosfor, bitkiye yarayışlı potasyum ve potansiyel mineralize olabilir azot parametreleri çalışma alanının toprak kalitesini doğrudan etkileyen en önemli parametreler olarak belirlenmiştir.

SMAF modeli ile yapılan toprak kalite skorlamalarında arazinin fiziksel kalite skoru 56 ile orta kalite olarak belirlenmiş olup fiziksel kalite indikatörleri; agregat stabilitesi 46 ile düşük, yarayışlı su içeriği 69 ile orta, hacim ağırlığı 36 ile çok düşük, su dolu gözenek hacmi 73 ile yüksek kalite olarak hesaplanmıştır. SMAF modeline göre yükseldikçe toprak kalite değerinin düşmesine sebep olan hacim ağırlığı değerinin, alan içerisinde bazı bölgelerde çok yüksek olması sebebi ile fiziksel kalite skorunu düşürdüğü gözlemlenmektedir.

Kimyasal kalite skoru 81 ile yüksek kalite olarak belirlenmiş olup kimyasal kalite indikatörleri; elektriksel iletkenlik 57 ile orta, bitkiye yarayışlı potasyum 100 ile çok yüksek, toprak pH'sı 88 ile çok yüksek, potansiyel mineralize olabilir azot 98 ile çok yüksek, bitkiye yarayışlı fosfor 91 ile çok yüksek, sodyum adsorbsiyon oranı 73 ile yüksek ve toprak organik karbonu 58 ile orta kalite olarak belirlenmiştir.

Biyolojik kalite skoru ise 90 ile çok yüksek kalite olarak belirlenmiş olup biyolojik kalite indikatörleri  $\beta$ -Glukozidaz enzim aktivitesi 92 ile çok yüksek ve mikrobiyal biyokütle karbonu 88 ile çok yüksek kalite olarak belirlenmiştir.

Çalışma alanına ait genel toprak kalite skoru ise ayçiçeği bitkisi için 75 ile yüksek kalite olarak belirlenmiştir. Fiziksel toprak kalitesinin kimyasal ve biyolojik toprak kalite durumlarına göre daha düşük olması çalışma alanının kalite skorunu da düşürmüştür. Bu durum çalışma alanının büyük bir kısmının kum bünyeli tekstüre sahip olup toprakların hacim ağırlığı değerinin yüksek oluşundan kaynaklanmaktadır. Ayrıca tarım arazilerine uygulanan yoğun işlemeli tarım sebebi ile toprakta dağılım gösteren agregatlar parçalanmakta ve kümelenmiş yapıda bulunan kil ve silt tanecikleri dispers olarak hacim ağırlığını artırmaktadır. Öte yandan agregatlar dispers olduğu zaman toprak organik maddesi de mikroorganizmalar tarafından parçalanarak kaybolmaktadır.

Çalışma alanında gerekli önlemler alınıp yoğun işlemeli tarımdan kaçınılmadığı takdirde, ilerleyen dönemlerde çalışma alanının fiziksel kalitesindeki bu bozunumun artacağı ve bu durumun beraberinde getirdiği organik madde kaybının toprakların kimyasal ve biyolojik fonksiyonlarına da olumsuz etki oluşturarak çalışma alanının toprak kalitesini düşüreceği düşünülmektedir.

Toprak kalite durumu yapılan bu çalışma baz alınarak çalışma alanında yoğun işlemeli tarımın azaltılması ve topraklara organik madde ilavesi ile agregatlaşmanın desteklenmesi tavsiye edilmektedir. Alanın toprak kalite durumunun belirli aralıklarla kontrol edilerek, iyi durumda olan toprak kalite parametrelerinin korunması ve meydana gelebilecek olası kalite düşüşlerine karşı önlemler alınması gerekmektedir. Kötü durumda olan toprak kalite parametrelerinin ise düzeltilmesi için amenajman çalışmaları yapılması tavsiye edilmektedir. Ayrıca yapılacak olan bu amenajman çalışmaları ile topraklar meydana gelebilecek erozyon tehdidine karşı da dirençli hale getirilmiş olacaktır.



## KAYNAKLAR

- ABROL, I. P., YADAV, J. S. P., and MASSOUD, F. I., 1988. Salt-Affected Soils and Their Management, Rome: FAO Soils Bulletin 39.
- Adetunji, A.T., Lewu, F.B., Mulidzi, R., Ncube, B. The biological activities of  $\beta$ -glucosidase, phosphatase and urease as soil quality indicators: a review. *Journal of soil science and plant nutrition*, 17(3): 794-807, 2017.
- Alaboz, P., Dengiz, O., Demir, S. Barley yield estimation performed by ANN integrated with the soil quality index modified by biogas waste application. *Zemdirbyste-Agriculture*, 108(3), 2021.
- Altıkat, S., Çelik, A. Toprak İşleme Sistemlerinin Önemli Bazı Toprak Kalite Kriterlerine Olan Etkileri. *Alinteri Journal of Agriculture Science*, 16(1): 33-41, 2009.
- Amezket E. Soil Aggregate Stability: A Review, *Journal of Sustainable Agriculture*, 4:2-3, 83-151, 1999.
- Anderson, J.P.E., Domsch, K.H. Mineralization of bacteria and fungi in chloroform-fumigated soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 10(3): 207-213, 1978.
- Andrews, S.S., Karlen, D.L., Mitchell, J.P.A Comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California. *Agriculture, ecosystems & environment*, 90(1), 25-45, 2002a.
- Andrews, S.S., Mitchell, J.P., Mancinelli, R., et al. On-farm assessment of soil quality in California's Central Valley. *Agronomy Journal*, 94(1): 12-23, 2002b.
- Andrews, S.S., Karlen, D., Cambardella, C.A. The soil management assessment framework: a quantitative soil quality evaluation method. *Soil Science Society of America Journal*, 68(6): 1945-1962, 2004.
- Bandick, A. K., & Dick, R. P. (1999). Field management effects on soil enzyme activities. *Soil biology and biochemistry*, 31(11), 1471-1479.
- Başaran, M. Türkiye'nin organik karbon stoğu. *Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 8(3-4): 31-36, 2004.
- Bayramın, İ. Beypazari topraklarının MEDALUS metoduna göre toprak kalite indekslerinin belirlenmesi. 29344: 0-100, 2003.
- Bellocchi, G., Acutis, M., Fila, G., Donatelli, M. An Indicator of Solar Radiation Model Performance Based on a Fuzzy Expert System. *Agronomy Journal* 94:1222-1233, 2002.
- Bending, G.D., Turner, M.K., Rayns, F., Marx, M.C., Wood, M. Microbial and biochemical soil quality indicators and their potential for differentiating areas under contrasting agricultural management regimes. *Soil Biology and Biochemistry*, 36(11): 1785-1792, 2004.
- Bennett, H.H. Soil erosion a national menace. Circular No. 33. USDA. Bliss, N.B. and W.U. Reybold. 1989. Small-scale digital soil maps for interpreting natural resources. *J. Soil Water Cons.* 44:30-34, 1928.
- Ben-Hur, M., Shainberg, I., Keren, R., Gal, M. Effect of Water Quality and Drying on Soil Crust Properties<sup>1</sup>, *Soil Science Society of America Journal*, 49 (1): 191-196, 1985.

- Bilen, S., Sezen, Y. Toprak reaksiyonunun bitki besin elementleri elverişliliği üzerine etkisi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 24(2): 1993.
- Biswas, T.D., Roy, M.R., Sahu, B.N. Effect of Different Sources of Organic Manures on the Physical Properties of the Soil Growing Rice. *Indian Soc. of Soil Sci.*, 18 (3): 233-242, 1970.
- Biswas, S.; Hazra, G.C.; Purakayastha, T.J.; et al. Establishment of critical limitsof indicators and indices of soil quality in rice-rice cropping systems under different soil orders. *Geoderma*, 292: 34–48, 2017.
- Blake, G. R., & Hartge, K. H. Particle density. *Methods of soil analysis: Part 1 physical and mineralogical methods*, 5: 377-382, 1986.
- Bouyoucos, G. J. A recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of soil. *Agronomy Journal*, 43: 434-438, 1951.
- Brady, N.C., Weil, R.R., Weil, R.R. *The nature and properties of soils*. Volume 13: pp. 662-710). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2008.
- Bremner, J.M. Total Nitrogen. *Methods of Soil Analysis*. (Editor: Black, C.A.) Part 2. Agronomy Series No: 9, 1179-1237, 1965.
- Budak, M., Günal, H., Çelik, İ., Acir, N., Sirri, M. Dicle havzası toprak özelliklerinin yersel değişimlerinin jeoistatistik ve coğrafi bilgi sistemleri ile belirlenmesi ve haritalanması. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 5(2): 103-115, 2018.
- Bünemann, E.K., Bongiorno, G., Bai, Z.G., et al. Soil quality – a review *Soil Biol. Biochem.*, 120: pp. 105-125, 2018.
- Cebel, N. Toprak Kalitesinin Korunması ve Geliştirilmesi, *Bilim ve Aklın Aydınlığında Eğitim*, S. 134, Nisan 2011, ss. 34-38.
- Cevheri, C., Küçük, Ç. The floristic composition, some soil microbiological and development stages properties of the natural pasture plants of Şanlıurfa (Akabe position). *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Doğa Bilimleri Dergisi*, 20(3): 292-304, 2017.
- Churchman, G. J., Skjemstad, J.O., Oades J.M. Influence of clay minerals and organic matter on effects of sodicity on soils. *Aust. J. Soil Res.* 31:779-800, 1993.
- Da Silva, A.P., Kay, B.D. Estimating the least limiting water range of soils from properties and management. *Soil Science Society of America Journal*, 61(3): 877-883, 1997.
- Da Silva, A.P., Kay, B. Effect of soil water content variation on the least limiting water range. *Soil Science Society of America Journal*. 61 (3): 884-888, 1997.
- De la Rosa, D., Sobral, R., 2008. "Soil quality and methods for its assessment." Land use and soil resources. Springer, Dordrecht, 167-200.
- De Paul Obade, V., Lal, R. Towards a standard technique for soil quality assessment. *Geoderma* 265: 96–102, 2016.
- De Souza Lima, E., Montanari, R., Lovera, L.H., Teixeira Filho, M.C.M., da Silva, V.E., da Rocha Lima, C.G. Spatial variability of eucalyptus and physical attributes of soil fertilized with lime mud and mineral fertilizer. *Brazilian Journal Of Agriculture-Revista de Agricultura*, 92(2): 132-146, 2017.

- Debosz, K., Rasmussen, P.H., Pedersen, A.R. Temporal variations in microbial biomass C and cellulolytic enzyme activity in arable soils: effects of organic matter input. *Applied Soil Ecology*, 13(3): 209-218, 1999.
- Dedeoğlu, M., Başayığit, L., Yüksel, M. Çok Kriterli Karar Verme Analizine Dayalı Tarımsal Amaçlı Arazi Kalite İndisi Uygulaması. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 6(3): 295-307, 2019.
- Dengiz, O., Sarioğlu, F.E. Arazi değerlendirme çalışmalarında parametrik bir yaklaşım olan doğrusal kombinasyon tekniği. 2013.
- DENGİZ, O., BAYRAMİN, İ., & Mustafa, U. S. U. L. (2005). Kahramanmaraş tarım işletmesi topraklarının parametrik yöntemle kalite durumlarının belirlenmesi. *Journal of Agricultural Sciences*, 11(01), 45-50.
- Dick, R.P. Soil enzyme activities as integrative indicators of soil health. In: Pankhurst, C.E., Doube, B.M., Gupta, V.V.S.R. (Eds.). *Biological Indicators of Soil Health*, CAB International, Wellingford, pp: 121–156, 1997.
- Dilly, O. Metabolic and anabolic responses of four arable and forest soils to nutrient addition. *Z. Pflanzenernähr Bodenkd.*, 164:29-34, 2001.
- Dinel, H., Mehuys G. R. and Levesque. M. Influence of Humic Acid and Fibric Materials on the Aggregation and Aggregat Stability of a Lacustrine Siltly Clay. *Soil Science*, 2: 146-157, 1991.
- Dindar, E., Şağban, F., Başkaya, H.S. Ham petrol ve atık yağ ile kirlenmiş topraklarda arıtma çamuru uygulamasının enzim aktivitelerine etkisi. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 22(1): 81-94, 2017.
- Doran, J.W., Parkin, T.B. Defining and assessing soil quality. In: Doran, J.W., Coleman, D.C., Bezdicek, D.F., Stewart, B.A. (Eds.), *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. SSSA, Madison, WI, pp: 3–21, 1994.
- Doran, J.W., Sarrantonio, M., Janke, R. Strategies to promote soil quality and soil health. P: 230-237, 1994. In: C.E. Pankhurst, B.M. Doube, V.V.S.R. Gupta, and P.R. Grace (eds.), *Soil Biota: Management in Sustainable Farming Systems*. Proc. OECD Intern. CSIRO, Melbourne, Victoria, Australia.
- Doran, J.W., Parkin, T.B. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In: Doran, J.W., Jones, A.J. (Eds.), *Methods for Assessing Soil Quality*. *Soil Science Society of America*, pp: 25–37, 1996.
- Doran, J. W. (2002). Soil health and global sustainability: translating science into practice. *Agriculture, ecosystems & environment*, 88(2), 119-127.
- Dölarslan, M., Gül, E. Naturel ornamental plants and soil properties of Çankırı-Yapraklı-Hazım Dağlı Nature Park. *TABAD, Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 5(2): 76-80, 2012.
- Durmuş, M., Erkoçak, A., Kızılkaya, R., Dengiz, O. Alüviyal araziler üzerinde oluşan farklı toprakların katalaz enzim aktivitelerindeki değişimin belirlenmesi. *Prof. Dr. Nuri Munsuz Ulusal Toprak ve Su Sempozyumu*. 25-27 Mayıs 2011, Ankara, s.153-159.
- Eivazi, F., Tabatabai, M.A. Glucosidases and galactosidases in soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 20(5): 601-606, 1988.

- Esen, A.  $\beta$ -Glucosidases, overview. In: ESEN, A. (Ed),  $\beta$ -Glucosidase: Biochemistry and Molecular Biology. *American Chemical Society*, Washington, DC, pp: 1-13, 2010.
- Everest, T., Sungur, A., Özcan, H. MEDALUS Yöntemi Kullanılarak Karacabey Tarım İşletmesi Toprak Kalite İndeksinin Değerlendirilmesi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 7(1): 120-131, 2020.
- Flader, S. Aldo Leopold and the evolution of a land ethic. p. 3-24, 1995. In: T. Tanner (ed.) Aldo Leopold The Man and His Legacy. *Soil and Water Conservation Society*, Ankeny, IA.
- Gregorich, E.G., Carter, M.R., Angers, D.A., Monreal, C.M. ve Ellert, B.H. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. *Can. J. Soil Sci.*, 74: 367–385, 1994.
- Gomez-Paccard, C., Hontoria, C., Mariscal-Sancho, I. et al. Soil–water relationships in the upper soil layer in a Mediterranean Paleixerult as affected by no-tillage under excess water conditions–Influence on crop yield. *Soil and Tillage Research*, 146: 303-312, 2015.
- Gupta, S.C., Dowdy, R.H., Larson, W.E. Hydraulic And Thermal Properties Of A Sandy Soil As Influenced By Incorporation Of Sewage Sludge. *Soil Sci. Soc. Amer.J.*, 41:601- 605, 1977.
- GÜLSER, C. Tarla kapasitesi ve devamlı solma noktasının toprakların fiziksel ve kimyasal özellikleri ile ilişkili pedotransfer eşitliklerle belirlenmesi. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi ( Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi)*, 19(3): 19-23, 2004.
- Gülser, C. Effect of forage cropping treatments on soil structure and relationships with fractal dimensions. *Geoderma*, 131(1-2): 33-44, 2006.
- Günel, H., Saltalı, K., Kutlu, T., Yetgin, B., Er, F., Sönmez, F., ... & Erşahin, S. (2008). Vertical transport of water and chemicals as affected by soil layering: a model study.
- Güneş A., A.İnal ve M. Alpaslan. Effect of Salinity on Stomal Resistance, Proline, and Mineral Composition of Pepper. *Journal of Plant Nutrition* 19 (2): 389-396, 1996.
- Güneş, A., Alpaslan, M., & İnal, A. Bitki besleme ve gübreleme (V. Baskı). *Ankara Üniv. Ziraat Fakültesi Yayın*, 2010.
- Hillel, D. Introduction to Soil Physics. 2nd ed. Academic Press, San Diego, CA, 1982.
- Hurni, H., Giger, M., Liniger, H. Soils, agriculture and food security: the interplay between ecosystem functioning and human well-being. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 15, 25–34, 2015.
- Isik, E., USTA, S. Ankara-Polatlı Sulu Tarım Arazilerinde Değişebilir Sodyum Yüzdesi, Sodyum Adsorbsiyon Oranı ve Gapon Katsayısı ilişkileri. 2004.
- Jackson, M.L. Soil Chemical Analysis. Prentice Hall Inc. 183 p, 1962.
- Jenkinson D. S. and Ladd J. N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. *In Soil Biochemistry* (E. A. Paul and J. N. Ladd, Eds), Vol. 5: pp, 415-471, 1981. Marcel Dekker, New York.

- Johnson, D.L., Ambrose, S.H., Bassett, T.J. et al., Meanings of environmental terms. *J. Environ. Qual.*, 26 pp. 581-589, 1997.
- Kacar, B. Toprak analizleri p. 467s, 2009. Ankara: *Nobel Yayın Dağıtım*.
- Kalembasa, D. Wpływ werminkompostów na plon i skład chemiczny owoców pomidora. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 437, 1996.
- Kanber, R., Kırdar, C. ve Tekinel, O. Sulama Suyu Niteliği ve Sulamada Tuzluluk Sorunları. *Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Genel Yayın No:21, Ders Kitapları Yayın No:6*, 1992. Adana.
- Karaöz, M.Ö. Bazı Yerli ve Yabancı İğne Yapraklı Ağaç Türlerine Ait Plantasyonlarda Ölü Örtü Miktarı ve Bunlardaki Besin Maddesi Rezervleri Üzerine Araştırmalar, *İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi* Seri A, Cilt 43, Sayı 1, Sayfa 93-115, 1993.
- Karlen, D.L. and D.E. Stott. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. P: 53-72, 1994. In: J.W. Doran, D.C. Coleman, D.F. Bezdicek, and B.A. Stewart (eds.) *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. SSSA Spec. Pub. No. 35. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.
- Karlen, D.L., Gardner, J.C., Rosek, M.J. A soil quality framework for evaluating the impact of CRP. *J. Prod. Agric.* 11:56–60, 1998.
- Karlen, D.L., Ditzler, C.A., Andrews, S.S. Soil quality: why and how? *Geoderma* 114: 145–156, 2003.
- Karlen, D. L., Tomer, M. D., Neppel, J., ve Cambardella, C. A. A preliminary watershed scale soil quality assessment in north central Iowa, USA. *Soil and Tillage Research*, 99(2): 291-299, 2008.
- Karlen, D. L., Birell, S. J., & Hess, J. R. A five-year assessment of corn stover harvest in central Iowa, USA. *Soil and Tillage Research*, 115: 47-55, 2011.
- Karlen, D.L., Rice, C.W. Soil degradation: will humankind ever learn? *Sustainability* 7, 12490–12501, 2015.
- Kemper, W. D., & Rosenau, R. C. Aggregate stability and size distribution. *Methods of soil analysis: Part 1 Physical and mineralogical methods*, 5, 425-442, 1986.
- Kennedy, A. C., & Papendick, R. I. Microbial characteristics of soil quality. *Journal of soil and water conservation*, 50(3), 243-248, 1995.
- Kızılkaya, R., & Hepşen, S. Effect of biosolid amendment on enzyme activities in earthworm (*Lumbricus terrestris*) casts. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 167(2), 202-208, 2004.
- Klute, A. Water retention: laboratory methods. *Methods of soil analysis: part 1 physical and mineralogical methods*, 5: 635-662, 1986.
- Koçyiğit, R. Karasal ekosistemde karbon yönetimi ve önemi. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, (1): 81-85, 2008.
- Lal, R., Cummings, D. J. Clearing a tropical forest I. Effects on soil and micro-climate. *Field crops research*, 2: 91-107, 1979.
- Larson, W.E., Pierce, F.J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. p. 37-51, 1994. In: J.W. Doran, D.C. Coleman, D.F. Bezdicek, and B.A. Stewart (eds.) *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. SSSA Spec. Pub. No. 35. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.

- Lewandowski, A.M., Zumwinkle, M., Fish, A. Assessing the soil system. 1999.
- Li, J., Heap, A.D. A Review of Spatial Interpolation Methods for Environmental Scientists. *Geoscience Australia*, Record:23, GPO Box 378, 137 pp. 2008.
- Lowdermilk, W.C. Conquest of the Land Through Seven Thousand Years. Agriculture Information Bulletin No. 99. USDA, *Soil Conservation Service*, Washington, D.C. 30 pp. 1953.
- Mahal, N.K., Castellano, M.J., Miguez, F.E. Conservation Agriculture Practices Increase Potentially Mineralizable Nitrogen: A Meta-Analysis, *Soil Science Society of America Journal*, 82(5): 1270-1278, 2018.
- Maikhuri, R.K., Rao, K.S. Soil quality and soil health: A review. *International Journal of Ecology and Environmental Sciences*, 38(1): 19-37, 2012.
- Mausel, P.W. Soil quality in Illinois—an example of a soils geography resource analysis. *The Professional Geographer* 23: 127–136, 1971.
- Moebius-Clune, B.N. *Comprehensive assessment of soil health: The Cornell framework manual*. Cornell University. 2016.
- Moebius-Clune, B.N., Moebius-Clune, D.J., Gugin, B.K. et al. *Comprehensive assessment of soil health—The Cornell framework manual*. Edition 3.1, Cornell University, Geneva, NY. 2016.
- Monreal, C. M., Bergstrom, D. W. Soil enzymatic factors expressing the influence of land use, tillage system and texture on soil biochemical quality. *Canadian Journal of Soil Science*, 80(3): 419-428, 2000.
- MÜFTÜOĞLU, N. M., & DEMİRER, T. Toprakta azot bilançosu. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 29(1), 1998.
- National Research Council. Soil and Water Quality: An Agenda for Agriculture. *National Academy Press*, Washington, D.C., 516 pp., 1993.
- Negiş, H. Çumra Ovası, Çumra serisinin toprak kalite indislerinin belirlenmesi. Doktora tezi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. 2019.
- Nethra, N.N., Jayaprasad, K.V., Kale, R.D. China aster (*Callistephus chinensis* L.) cultivation using vermicomposts as organic amendment, *Crop Res. Hisar*. 17(2): 209-215, 1999.
- Ndiaye, E.L., Sandeno, J.M., McGrath, D., Dick, R.P. Integrative biological indicators for detecting change in soil quality. *American Journal of Alternative Agriculture*, 15(1): 26-36, 2000.
- Norgaard, R. B. 1994. Ecology, politics, and economics: finding the common ground for decision making in conservation. Pages 439–465 in G. K. Meffe and C. R. Carroll, editors. *Principles of conservation biology*. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts, USA.
- Nortcliff, S. Standardisation of soil quality attributes. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 88: 161–168, 2002.
- Oades, J.M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. *Plant and soil*, 76(1): 319-337, 1984.

- Olsen, S.R., Cole, C.V., Deah, L.A. Estimation of available phosphorus in soil by extraction with NaHCO<sub>3</sub>. *U.S. Dept. of Agr. Cic.* 939, 1954. Washington, DC. USA.
- Özulu, M., Özaytekin, H. H., Uyanöz, R. Toprak Kalitesinin Değerlendirilmesinde Farklı Yaklaşımlar. *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 20(40), 1-8, 2006.
- Pacci, S., Dengiz, O., Saygın, F., Alaboz, P. SMAF Modeline Göre Çeltik Tarımı Yapılan Bafra Ovası Arazilerinin Toprak Kalite Özelliklerinin Değerlendirilmesi. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 9(2), 164-174, 2022.
- PACCI, S., KAYA, N. S., DENGİZ, O., & TURAN, İ. D. (2021). Van Havzası İçerisinde Yer Alan Mera Arazilerinde SMAF Modeli Kullanılarak Toprak Kalitesinin Değerlendirilmesi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 36(2), 301-316.
- Pankhurst, C.E., Hawke, B.G., McDonald, H.J. E valuation of soil biological properties as potential bioindicators of soil health. *Australin Journal of Experimental Agriculture* 35: 1015- 1028, 1995.
- Parr, J.F., Papendick, R.I. Soil quality: relationships and strategies for sustainable dryland farming systems. *Annals of Arid Zone*, 36(3): 181-191, 1997.
- Polat, T., Budak, S., Akkaya, G. Adıyaman ili Kuyulu köyü doğal meralarının kuru ot verimi, kalitesi ve botanik kompozisyonu üzerine bir araştırma. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 22(3): 348-354, 2018.
- Raich, J.W., Nadelhoffer, K.J. Belowground carbon allocation in forest ecosystems: global trends. *Ecology*, 70(5), 1346-1354, 1989.
- Resck, D.V.S., Vasconcellos, C.A., Vilela, L., Macedo, M.C.M. Impact of conversion of Brazilian Cerrados to cropland and pasture land on soil carbon pool and dynamics. *Global Climate Change and Tropical Ecosystems*. Adv. Soil Sci. CRC Press, Boca Raton, FL, s: 169–196, 1999.
- Rhoades, J.D., Oster, J.D. Solute content. *Methods of Soil Analysis: Part 1 Physical and Mineralogical Methods*, 5, 985-1006, 1986.
- Richards, L.A. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils* Vol. 78, No. 2, p. 154, 1954. LWW.
- Rolda'n, A., Caravaca, F., Herná'ndez, M.T., Garcí'a, C., Sa'nchez- Brito, C., Vela'squez, M. ve Tiscaren'õ, M. No-tillage, crop residue additions, and legume cover cropping effects on soil quality characteristics under maize in Patzcuaro watershed (Mexico). *Soil & Tillage Research* 72, 65–73, 2003.
- Seybold, C.A., Mausbach, M.J., Karlen, D.L., Rogers, H.H. Quantification of soil quality. p. 387–404, 1997. *CRC Press, Boca Raton, FL*.
- Schadt, S., Knauer, F., Kaczensky, P., Revilla, E., Wiegand, T., Trepl, L. Rule-based assessment of suitable habitat and patch connectivity for the Eurasian lynx. *Ecological applications*, 12(5): 1469-1483, 2002.
- Schiller, G. Biometeorology and recreation in east Mediterranean forests. *Landscape and Urban Planning*, 57(1), 1-12, 2001.
- Schwilch, G., Hessel, R., Verzandvoort, S., 2012. Desire for Greener Land. Options for Sustainable Land Management in Drylands. Bern: University of Bern—

- CDE, Alterra—Wageningen UR, ISRIC—World Soil Information and CTA—Technical Centre for Agriculture and Rural Cooperation.
- Sims, J.T., Simard, R.R., Joern, B.C. Phosphorus loss in agricultural drainage: Historical perspective and current research. *Journal of environmental quality*, 27(2), 277-293, 1998.
- Six J., Elliott E.T., Paustian K. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil Biology and Biochemistry*, 32(14), 2099-2103, 2004.
- Soil Survey Staff. Soil survey laboratory methods manual. *Soil Surv. Invest. Rep. 42. Version 3.0.* 1996.
- Sojka, R.E., Upchurch, D.R. Reservations regarding the soil quality concept. *Soil Science Society of America Journal*, 63, 1039-1054, 1999.
- Sonneveld, M.P.W., Hack-ten Broeke, M.J.D., van Diepen, C.A., Boogaard, H.L. Thirty years of systematic land evaluation in The Netherlands. *Geoderma* 156, 84-92, 2010.
- Sönmez, B. Tuzlu ve sodyumlu topraklar. *Köy Hizmetleri Şanlıurfa Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları*. Genel Yayın No:62, Teknik Yayın No:17, Şanlıurfa. 1990.
- Sülü, F. *Farklı meşcerelerde toprak organik karbonu ve toprak üstü bitki özellikleri arasındaki ilişkilerinin belirlenmesi*. Yüksek lisans tezi. İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü. 2020.
- Tabatabai, M. A. Soil enzymes. *Methods of soil analysis: Part 2 Microbiological and biochemical properties*, 5, 775-833, 1994.
- Tang, S., She, D., Wang, H. Effect of salinity on soil structure and soil hydraulic characteristics. *Canadian Journal of Soil Science*. 1-10, 2020.
- Tolunay, D., & Çömez, A. Türkiye ormanlarında toprak ve ölü örtüde depolanmış organik karbon miktarlar. *Hava Kirliliği ve Kontrolü Ulusal Sempozyumu*, 22-25, 2008.
- TOVEP Türkiye Toprakları Verimlilik Envanteri. T.C. Tarım ve Orman Köy İşleri Bakanlığı, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, 1991.
- TUNÇAY, T., BAYRAMIN, İ., ERPUL, G., & KİBAR, M. (2010). KIRŞEHİR ÇİÇEKDAĞ TARIM İŞLETMESİ TOPRAKLARI I KALİTE DURUMLARI I. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 25(3), 185-191.
- USDA-NRCS. Soil Quality Resource Concerns: Compaction. USDA-NRCS Soil Quality Inst., Ames, IA. 1996. <http://www.statlab.iastate.edu/survey/SQI/sqihome.shtml>.
- Usta, S. Toprak Kimyası. Ankara Üniversitesi Ziraat Fak. Yayınları, No: 1387, Ders Kitabı No: 401, Ankara, 1995.
- Warkentin, B.P., Fletcher H.F. Soil quality for intensive agriculture. Intensive Agriculture Society of Science, Soil and Manure. Proceedings of the International Seminar on Soil Environment and Fertilizer Management, *National Institute of Agricultural Science*, Tokyo, pp. 594-598, 1977.

- Wienhold, B.J., Andrews, S.S., Kuykendall, H., Karlen, D.L. Recent advances in soil quality assessment in the united states. *Journal of the Indian Society of Soil science*, Vol. 56, No:3, 2008.
- Wienhold, B. J., Karlen, D. L., Andrews, S. S., & Stott, D. E. (2009). Protocol for indicator scoring in the soil management assessment framework (SMAF). *Renewable agriculture and food systems*, 24(4), 260-266.
- Wilding, L.P. Spatial variability: its documentation, accomodation and implication to soil surveys. In *Soil spatial variability*, Las Vegas NV, 30 November-1 December 1984 pp. 166-194, 1985.
- Xiao, S. S., Ye, Y. Y., Xiao, D., Chen, W. R., Zhang, W., Wang, K. L. (2019). Effects of tillage on soil N availability, aggregate size, and microbial biomass in a subtropical karst region. *Soil and Tillage Research*. 192, 187–195.
- Yakovchenk, V.I., Sikora, L.J., Rauffman, D.D. A biologically based indicator of soil quality. *Biology and Soils* 21, 245-251, 1996.
- Yemefack, M., Jetten, V.G., Rossiter, D.G. Developing a minimum data set for characterizing soil dynamics in shifting cultivation systems. *Soil and Tillage Research*. Volume 86, Issue 1, March 2006, Pages 84-98, 2006.
- Yılmaz, E., Alagöz, Z., Öktüren, F. Toprakta agregat oluşumu ve stabilitesi. *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 19(36), 78-86, 2005.
- <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/etae/Belgeler/EgitimBrosur/2482012115736884.pdf>

## ÖZ GEÇMİŞ

Sena Pacci, Adıyaman Besni Mustafa Erdemoğlu Anadolu Lisesi'ni bitirdikten sonra Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme bölümünden 13.01.2020 tarihinde mezun oldu. 2020 yılında OMÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans programına girdi. İyi/orta derecede İngilizce bilmektedir.

### İletişim Bilgileri

ORCID ID : 0000-0001-6661-4927

### Yayınlar:

1. Pacci, S., Kaya, N. S., Dengiz, O., Turan, İ. D. 2021. Van Havzası İçerisinde Yer Alan Mera Arazilerinde SMAF Modeli Kullanılarak Toprak Kalitesinin Değerlendirilmesi. Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi, 36(2), 301-316.
2. Pacci, S., Kaya, N. S., Turan, İ. D., Odabas, M. S., & Dengiz, O. (2022). Comparative approach for soil quality index based on spatial multi-criteria analysis and artificial neural network. Arabian Journal of Geosciences, 15(1), 1-15.
3. ALABOZ, P., DENGİZ, O., PACCİ, S., DEMİR, S., & TÜRKAY, C. (2022). Determination of the Effect of Different Organic Fertilizers Applications on Soil Quality Using the SMAF Model. Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences, 32(1), 21-32.
4. PACCİ, S., DENGİZ, O., SAYGIN, F., & ALABOZ, P. (2022). SMAF Modeline Göre Çeltik Tarımı Yapılan Bafra Ovası Arazilerinin Toprak Kalite Özelliklerinin Değerlendirilmesi. Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi, 9(2), 164-174.
5. Dede, V., Dengiz, O., Demirağ Turan, İ., Zorlu, K., Pacci, S., & Serin, S. (2022). Ilgar Dağı periglasyal şekilleri üzerinde oluşmuş toprakların erozyon duyarlılıklarının belirlenmesi ve yapay sinir ağı (YSA) ile tahmin edilmesi. International Journal of Geography and Geography Education (IGGE), 47, 1-22. <http://dx.doi.org/10.32003/igge.1097942>.
6. Dede, V., Turan, İ. D., Dengiz, O., Serin, S., & Pacci, S. (2022). Effects of Periglacial Landforms on Soil Erosion Sensitivity Factors and Predicted by Artificial Intelligence Approach in Mount Cin, NE Turkey. Eurasian Soil Science, 55(12), 1857-1870.

7. Pacci, S., Dengiz, O. (2021). Soil management assessment framework (SMAF) in assessment soil quality. International symposium on 'Soil Science and Plant Nutrition' Federation of Eurasian Soil Science Societies Cooperation with Erasmus Mundus Joint Master Degree in Soil Science (emiSS) Programme. 18-19 December 2021/Samsun, Turkey. (Uluslararası Kongre Metni)
8. Pacci, S., Saflı, M. E., Dengiz, O., Turan, İ. D. (2022). Determination of Desertification Risk for Agricultural Areas Under Semi-arid Ecological Conditions Using DIS4ME Model and Estimation with Artificial Intelligence. ISPEC 10th International Conference on Agriculture, Animal Science and Rural Development. 18-19 July 2022. Sivas/ Turkey. (Uluslararası Kongre Metni)
9. Alaboz, P., Dengiz, O., Pacci, S. (2022). Carbon sequestration potential of soils in different land use types. 2nd International Global Climate Change Congress. 14-16 September 2022. Plovdiv/ Bulgaria. (Uluslararası Kongre Metni)
10. Dengiz, O., Pacci, S., Alaboz, P. (2022). Evaluation of carbon sequestration potential and some erodibility characteristics under tea cultivated soil. 2nd International Global Climate Change Congress. 14-16 September 2022. Plovdiv/ Bulgaria. (Uluslararası Kongre Metni)
11. Saflı, M. E., Pacci, S., Dengiz, O., (2022). Determination of desertification risk for pasture areas under semi- arid ecological conditions using DIS4ME model and estimation with artificial neural network. International symposium on 'Soil Science and Plant Nutrition' Federation of Eurasian Soil Science Societies Cooperation with Erasmus Mundus Joint Master Degree in Soil Science (emiSS) Programme. 2-3 December 2022/Samsun, Turkey. (Uluslararası Kongre Metni)