


Mera Arazilerinde Yer Alan Toprakların SMAF Modeli Yardımıyla Toprak Kalite Durumlarının Değerlendirilmesi (Ulaş-Acıyurt Örneği)

Fikret SAYGIN^{1*} , Orhan DENGİZ² , Sena PACCİ² 

¹Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Tarım Bilimleri ve Teknoloji Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Sivas

²Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Samsun

Geliş Tarihi: 30.05.2024 Düzeltme Geliş Tarihi: 12.06.2024 Kabul Tarihi: 03.07.2024

ÖZ

Toprak kalitesi toprağın içerdiği fiziksel, kimyasal ve biyolojik karakteristiklerinin bir arada değerlendirildiği bütüncül bir yaklaşımı esas almaktadır. Sivas İli Ulaş İlçesi Acıyurt kötü mera alanlarında yapılan bu çalışmada fiziksel (4 adet), kimyasal (7 adet) ve biyolojik (2 adet) olmak üzere 13 toprak karakteristik özelliği dikkate alınarak, SMAF (Toprak Yönetimi Değerlendirme Çerçevesi) modeli yardımıyla toprak kalite durumları belirlenmiştir. Çalışma alanının fiziksel toprak kalite özelliği 65 kalite skoru ile "orta", kimyasal toprak kalite özelliği 74 kalite skoru ile "yüksek", biyolojik toprak kalite özelliği ise 54 kalite skoru ile "düşük" olarak belirlenmiştir. Genel toprak karakteristik özelliği ise, ortalama 64 kalite skoru ile "orta" kalitede değerlendirilmiştir. Toprakların genel kalite durumları üzerinde organik madde içeriği olumlu etki yaparken, biyolojik kalite indikatörleri azaltıcı yönde etki etmiştir. Dağılım haritaları araştırmacılar tarafından sıklıkla tercih edilen çok değişkenli enterpolasyon yöntemi olan IDW metodu ile üretilmiştir. Yapılan genel toprak kalite dağılım haritasına göre, çalışma alanının batısında yer alan mera toprakların kalite durumlarının doğusuna göre daha yüksek seviyede olduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Sivas, mera, toprak kalitesi, SMAF, coğrafi bilgi sistemleri

Evaluation of Soil Quality Status of Soils in Pasture Lands with the Help of SMAF Model (Ulaş-Acıyurt Case)

ABSTRACT

Soil quality is based on a holistic approach in which the physical, chemical and biological characteristics of the soil are evaluated together. In this study conducted in the poor pasture areas of Acıyurt, Ulaş District of Sivas Province, soil quality status was determined with the help of the SMAF (Soil Management Assessment Framework) model, taking into account 13 soil characteristics, including physical (4), chemical (7) and biological (2). The physical soil quality feature of the study area was determined as "medium" with a quality score of 65, the chemical soil quality feature was determined as "high" with a quality score of 74, and the biological soil quality feature was determined as "low" with a quality score of 54. The general soil characteristic was evaluated as "medium" quality with an average quality score of 64. While organic matter content had a positive effect on the general quality status of soils, biological quality indicators had a decreasing effect. Scatter maps were produced with the IDW method, which is a multivariate interpolation method frequently preferred by researchers. According to the general soil quality distribution map, it was determined that the quality of the pasture soils in the west of the study area was at a higher level than in the east.

Key words: Sivas, pasture, soil quality, SMAF, geographic information systems

GİRİŞ

Son yıllarda artan nüfusa bağlı olarak, arazi kullanım dinamiklerinde meydana gelen değişiklikler ekosistem içerisinde yer alan yapıların; hizmetlerini ve işlevlerini önemli ölçüde etkilemektedir (Adeel et al., 2005; Paz-Kagan et al., 2014). Yaşanan bozulum süreci; biyolojik çeşitliliği, üretkenliği ve toprak kalitesini düşürerek ekosistemin yapısını bozmaktadır (Vitousek et al., 1997; Metzger et al., 2006; Paz-Kagan et al., 2014).

Toprak sağlığının korunması ya da iyileştirilmesi amacıyla tarımsal yönetim uygulamalarına ait bilgileri detaylı olarak ele almak ve çiftçilerin üretilen bilgi ve araçlara erişim kolaylığı sağlanmalıdır (Page et al, 2020). Modern tarım teknolojilerinde toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini içeren modeller yardımıyla toprak sağlığının değerlendirilmesi gerekmektedir (Bünemann et al., 2018; Williams et al., 2020).

Geçmişten günümüze toprak kalite indeks kavramı, toprakların kalitesini belirlemek amacıyla bilimsel bir araca duyulan ihtiyaçtan ileri gelmiştir (Armenise et al., 2013; Sargın ve Karaca., 2023). Toprak kalitesi kavramı, topraklara yönelik arazi kullanımı ve ekosistem içerisinde biyolojik üretkenliği ve çevre kalitesini sürdürmenin yanı sıra bitki, hayvan ve insan sağlığını geliştirme kapasitesi olarak ifade edilmektedir (Doran ve Parkin, 1994). Bitkiler için yetiştirme, insanlar ve hayvanlar için ise gıdanın temini açısından büyük öneme sahip toprakların, kalitesine yönelik yapılan çalışmalar birçok bileşkeyi içerisine almaktadır. Herhangi bir toprak özelliğinin toprak kalite göstergesi olarak kabul edilmesinin temel şartı, toprak fonksiyonunda meydana gelebilecek değişikliklere karşı gösterdiği tepkiye bağlıdır (Armenise et al., 2013).

Son yıllarda toprak kalitesinin izlenmesi amacıyla çeşitli modeller önerilmektedir (Black, 1965, Andrews et al., 2004, Stevenson, 2005, Viscarra Rossel et al., 2006). Bu modellerin birçoğu toprağın işleyişi açısından fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerin birlikte değerlendirildiği minimum veri kümesinin (MDS) seçim işlemi esas almaktadır (Rezaei et al., 2006).

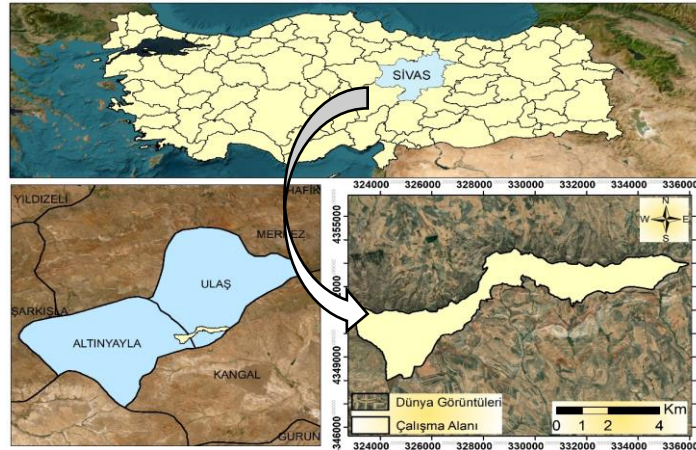
Arazi kullanımı ve tarımsal uygulamalar nedeniyle toprak sağlığında meydana gelen değişiklikleri ölçmek ve değerlendirmek amacıyla Toprak Yönetimi Değerlendirme Çerçevesi (SMAF) (Cherubin et al., 2017), birçok araştırmacı tarafından tercih edilmektedir (Nunes et al., 2020; Alaboz et al., 2022; Pacci et al., 2022; Jimenez et al., 2022; Gyawali et al., 2023; de Andrade Bonetti et al., 2023). SMAF modelinde arazi yönetimi ve ekosistem hizmetleriyle ilgili toprak sağlığını değerlendirmek amacıyla birden fazla dinamik fiziksel, kimyasal ve biyolojik toprak özelliğini sahaya özgü bilgilerle entegre etmek için doğrusal olmayan puanlama eğrileri ele alınmaktadır (Karlen et al., 2019).

Bu çalışmanın amacı, Sivas ili Ulaş İlçesi Acıyurt köyüne ait mera alanlarından alınan 152 adet toprak örneklerini inceleyerek SMAF modeli yardımıyla alan içerisindeki toprak kalitesindeki değişikliği değerlendirmektir. Çalışmada Toprak kalite göstergesi fiziksel, kimyasal, biyolojik olarak toplam 13 parametre ele alınmıştır. Parametreler SMAF eğrileri kullanılarak ayrı ayrı puanlandırılmış ve kimyasal, fiziksel ve biyolojik sektörlere odaklanan genel bir Toprak Kalitesi İndeksine entegre edilmiştir. Bu sayede, mera kullanımı ve yönetiminde yaşanan hatalar nedeniyle toprak kalitesinde yaşanan değişikliklerin ortaya konması amaçlanmıştır.

MATERYAL ve METOT

Çalışma Alanının Genel Özellikleri

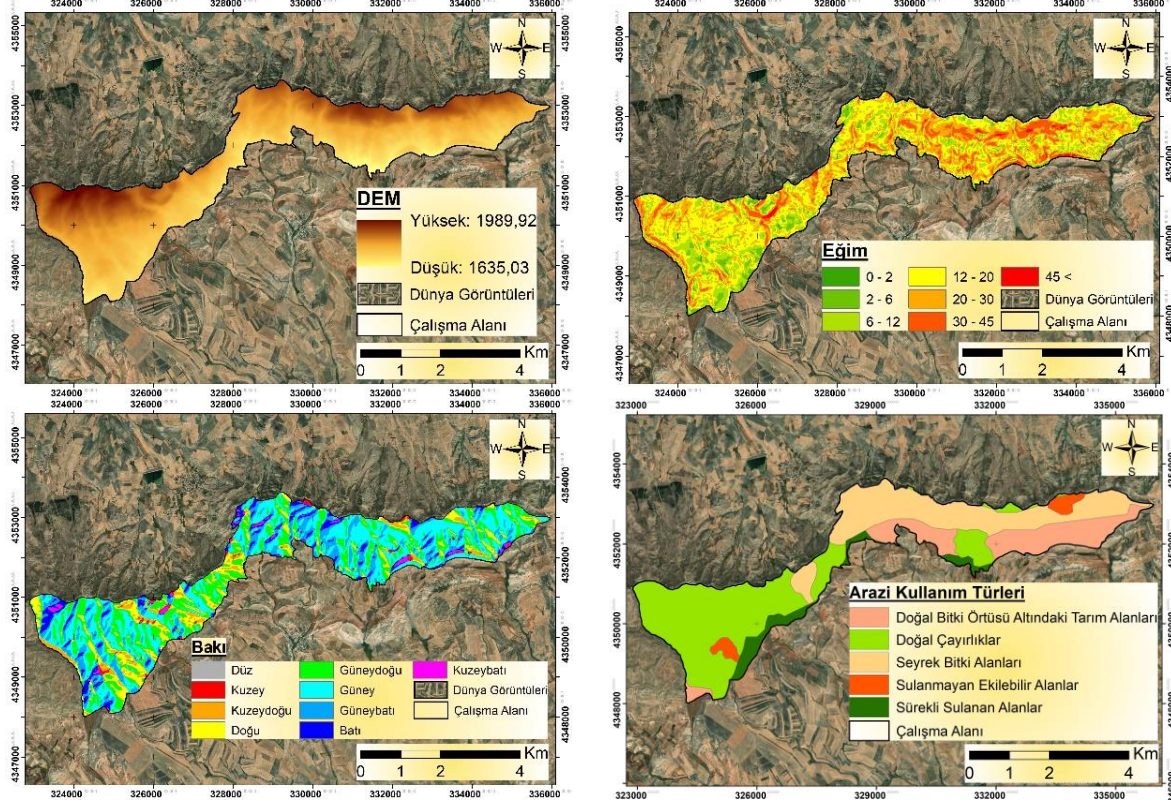
Sivas ili Ulaş ve Altınyayla ilçe sınırları içerisinde yer alan çalışma alanının, çoğunluğu Ulaş ilçesinde bağlı Acıyurt köyü merası olup, 323000-336000 B-D ve 4348000-4353800 G-K (WGS84, Zone 37, UTM m) koordinatları arasında yer almaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanı lokasyon haritası

Büyük bir kısmı İç Anadolu Bölgesi'nde bulunan Sivas İli, aynı zamanda Karadeniz Bölgesi ve Doğu Anadolu Bölgesi'nde de topraklara sahiptir. Topraklarının çoğunluğu ise Kızılırmak, bir kısmı da Fırat ve Yeşilirmak havzalarında yer almaktadır. Yüz ölçümü olarak ise Konya'dan sonra Türkiye'nin 2. büyük ilidir. Deniz seviyesinden ortalama yüksekliği 1000 metrenin üzerinde olan Sivas'ta, dağlar, dağlar arasında uzanan vadiler, çukur alanlardaki ovalar ve yüksek kesimlerdeki platolar şehrin yeryüzü şekillerini meydana getirmektedir.

Çalışma alanı yaklaşık olarak 1849,21 ha olup, deniz seviyesinden yüksekliği 1635 m ile 1938 m arasında değişmektedir (Şekil 2).



Şekil 2. Çalışma alanına ait sayısal yükselti modeli, yükselti, baki ve eğim haritaları

Sert bir karasal iklim yapısına sahip olan Sivas ilinde, kışları soğuk ve sert geçmesinin yanında bol kar yağışlıdır. Yaz ayları ise kısa süreli sıcak ve kuraktır. Bunun yanında ilkbahar ve sonbahar aylarında ise yağmurlar etkili olmaktadır. Uzun yıllık iklim verileri incelendiğinde en soğuk ay -34.6°C ile Ocak ayıdır. En sıcak ay ise 38.3°C ile Temmuz ayı olarak gözlemlenmiştir. Aylık yağış ortalamasının en yüksek olduğu ay Mayıs, en düşük olduğu ay ise Ağustos olarak kaydedilmiştir. Ayrıca yıllık ortalama yağış miktarı 460-470 mm arasında değişirken, yıllık ortalama sıcaklık değeri ise $8-12^{\circ}\text{C}$ arasında değişmektedir (Anonim, 2024). Arazi örtüsü/arazi kullanım türünü belirlemek üzere Corine (2018) verisinden yararlanılarak elde edilen haritada, alan içerisinde en fazla yayılım gösteren kullanım biçimini doğal çayırliklar ve seyrek bitki alanları oluşturmaktadır. Alana ait sayısal yükselti modeli, eğim, baki ve arazi kullanım türlerine ait haritalar sırasıyla Şekil 2 'de gösterilmiştir.

SMAF (Soil Management Assessment Framework) Modeli

Sürdürülebilir tarım ve çevre koruma alanında, toprakların sürdürülebilir yönetimi temel ve önemli bir unsurdur. Karmaşık ve dinamik bir sisteme sahip olan toprak, biyoçeşitlilik ve ekolojik dengiyi korumada kritik bir role sahiptir. Ancak, artan çevresel baskılar arasında yükselen gıda talepleri, toprak kalitesini kapsamlı bir şekilde değerlendirmek ve yönetmek için toprak kalite modellerine olan ihtiyacı vurgular. Toprak Yönetimi Değerlendirme Çerçevesi (SMAF), toprak kalitesini ve verimliliğini değerlendirmek, izlemek ve artırmak için önemli bir modeldir (Smith ve Jones, 2023). En iyi bilimsel prensipleri, veri odaklı metodolojileri ve uygulamaları birleştirerek, paydaşların toprak yönetimi uygulamaları hakkında bilinçli kararlar vermelerini sağlar.

SMAF, sadece bir tarımsal araç değildir. Çevre koruma, arazi kullanım planlaması ve politika geliştirmede önemli düzeyde etki potansiyeline sahiptir. Toprak sağlığı ve performansının göstergelerini entegre ederek, uzun vadeli sürdürülebilirliği teşvik eden, olumsuz çevresel etkileri azaltan uygulamaların benimsenmesini kolaylaştırır (Garcia ve Patel, 2021; Brown ve White, 2022). Ayrıca yenilik ve disiplinler arası yaklaşımları benimseyerek, yeni

zorluklara uyum sağlar; hassas tarım, uzaktan algılama ve dijital toprak haritalama gibi alanlarda da kullanılabilir (Pacci ve Dengiz, 2023).

SMAF modeli toprak kalitesini belirlerken şu adımları izler (Pacci ve ark, 2021);

- Gösterge Seçimi:** SMAF, toprak kalitesini belirlemek amacıyla uygun parametreleri seçer. Bu parametreler, agregat stabilitesi, su tutma kapasitesi, organik madde içeriği, pH değeri, besin elementleri, mikrobiyal aktivite gibi özellikleri içerebilir.
- Değerlendirme:** Seçilen parametreler, arazi çalışmaları veya laboratuvar analizleri yapılarak toprak örnekleri kullanılarak belirlenir. Bu değerlendirme, her parametre için belirli bir değer aralığını belirlemeye yardımcı olur.
- Skorlama:** Analiz sonuçlarına dayanarak, her parametre için bir kalite skoru belirlenir. Skorlar, toprağın o özelliği için kalitesini gösterir. Örneğin, yüksek organik madde içeriği daha yüksek bir skora sahip olabilirken, toprak asitliği yüksekse daha düşük bir kalite skoruna sahip olabilir (Karlen ve Stott, 1994).
- Toplam Puanın Hesaplanması:** Her parametre için belirlenen kalite skorları kullanılarak, toplam bir toprak kalite puanı hesaplanır. Bu puan, toprağın genel sağlığını ve kalitesini yansıtır ve belirli bir zaman dilimindeki değişiklikleri izlemeye yardımcı olur.
- Yorumlama:** Elde edilen toprak kalite puanı, toprağın mevcut durumu hakkında bilgi verir. Bu bilgi, toprak yönetimi stratejileri belirlemede ve toprak ıslah çalışmalarında kullanılabilir.

Toprağın genel kalitesini ortaya koyma amacı ile indikatörlerin aldığı değerlerin tek bir indekse dâhil edilmesi amacıyla SMAF modeli, eklemeli indeks yöntemini kullanmaktadır. Eklemeli indeks hesabında söz konusu indikatörlerin tümünden ayrı ayrı gelen değer toplanmakta ve indikatör sayısına bölünerek ortalaması belirlenmekte, elde edilen sonuç 100 ile çarpılarak toprağın toprak kalitesi yüzde olarak ifade edilmektedir. Toprak kalite indeksi aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır.

$$TKI = \left[\frac{\sum_{i=1}^n Xi}{n} \right] \times 100$$

Toprak kalite skorlamasına yönelik sınıflarda elde edilen değerler 40'ın altında ise söz konusu toprakların kalitesi çok düşük, 40-55 arasında ise düşük, 55-70 arasında ise orta, 70-85 arasında yüksek ve > 85 ise çok yüksek olarak değerlendirilmektedir (Gugino ve ark., 2009).

Dağılım Haritalarının Oluşturulması

Dağılım haritaları ArcGIS 10.8.2 programı kullanılarak üretilmiştir. Haritalama öncesi toprak kalite verileri üzerinde normal dağılım göstermeyen parametrelere uygun dönüşümler yapılmış ve haritalama aşamasında Ters Mesafe Ağırlıklandırma (Inverse Distance Weighting /IDW) metodu kullanılmıştır.

En fazla kullanılan çok değişkenli enterpolasyon metotlarından biri olan IDW'nin esası değeri bilinen örneklem noktayı kullanarak, değeri bilinmeyen alanların ağırlıklı ortalama değerlerinin tahmin edilmesine dayanır; bunu yaparken ise uzaklıkların ters mesafe fonksiyonlarından yararlanılmaktadır.

$$\lambda = \frac{1/d_i^p}{\sum_{i=1}^n 1/d_i^p}$$

Buradaki varsayım değeri bilinen noktadan hedeflenen noktaya olan uzaklık arttıkça benzerliklerin azaldığı mantığıdır (Li & Heap, 2008).

BULGULAR ve TARTIŞMA

Sentinal 2A uydu görüntüsünün 2021 yılının Nisan ve Mayıs aylarına ait görüntülerinin incelenmesi sonucunda farklı vejetasyon yoğunluğuna toplam 152 noktadan alınan toprak örneğinde kimyasal, fiziksel ve biyolojik olmak üzere on üç toprak kalite parametresi incelenmiş olup Çizelge 1' de tanımlayıcı istatistikleri ortaya koyulmuştur. Toprakların pH içerikleri 6.93-8.34 arasında değişkenlik göstermekle birlikte, ortalama 7.80 ile hafif-orta alkalın reaksiyonlu sınıf içerisinde yer almaktadır. Çalışma alanı toprak örneklerinde kum, silt ve kil içeriklerine göre killi, killi tın, tın, kumlu killi tın, kumlu kil, kumlu tın olmak üzere 6 çeşit tekstür sınıfı belirlenmiştir. Toprakların organik madde içerikleri ise en düşük %0.36 ve en yüksek %17.22 değerleri arasında olmak üzere %7,76 ile Olsen ve Dean (1965)'a göre >%4 ile yüksek sınıfta olarak belirlenmiştir.

toprakların verimlilik parametreleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olan organik madde; topraklarda agregatların oluşumu ve dayanıklılığına önemli düzeyde katkı sağlamaktadır (Saygın vd., 2019). Çalışmada toprakların agregat stabiliteyi de organik madde ve içeriğindeki durumlara göre %9.51 ve %87.25 arasında değişiklik göstermek üzere ortalama %58.26 olarak belirlenmiştir. Wagner ve ark. (2000) tarafından gerçekleştirilen çalışmada agregat stabilitesi ile kil içeriği arasında pozitif bir ilişki olduğu ortaya konmuştur, çalışmaya göre toprak içerisinde kil içeriği arttıkça özgül yüzey alanı da artmakta ve bu durum beraberinde agregat stabilitesini de artırmaktadır (Gümüş ve ark., 2016).

Çalışma alanı MBC içerikleri en düşük 5.88 ve en yüksek 72.99 arasında değişiklik göstererek ortalama 38.19 olarak, β -glukozidaz enzim aktiviteleri ise en düşük 4.09 ve en yüksek 132.21 olmak üzere ortalama 60.94 olarak belirlenmiştir. Toprak içerisindeki mikrobiyal popülasyon ve faaliyetlerdeki farklılıkların toprak sağlığı ve kalitesindeki değişikliklerin iyi bir göstergesi olarak görev aldığı daha önce yapılan çalışmalarla da ortaya konmuştur (Kennedy ve Papendick 1995, Pankhurst ve ark. 1995).

Çizelge 1. Çalışma alanı topraklarına ait tanımlayıcı istatistik değerleri

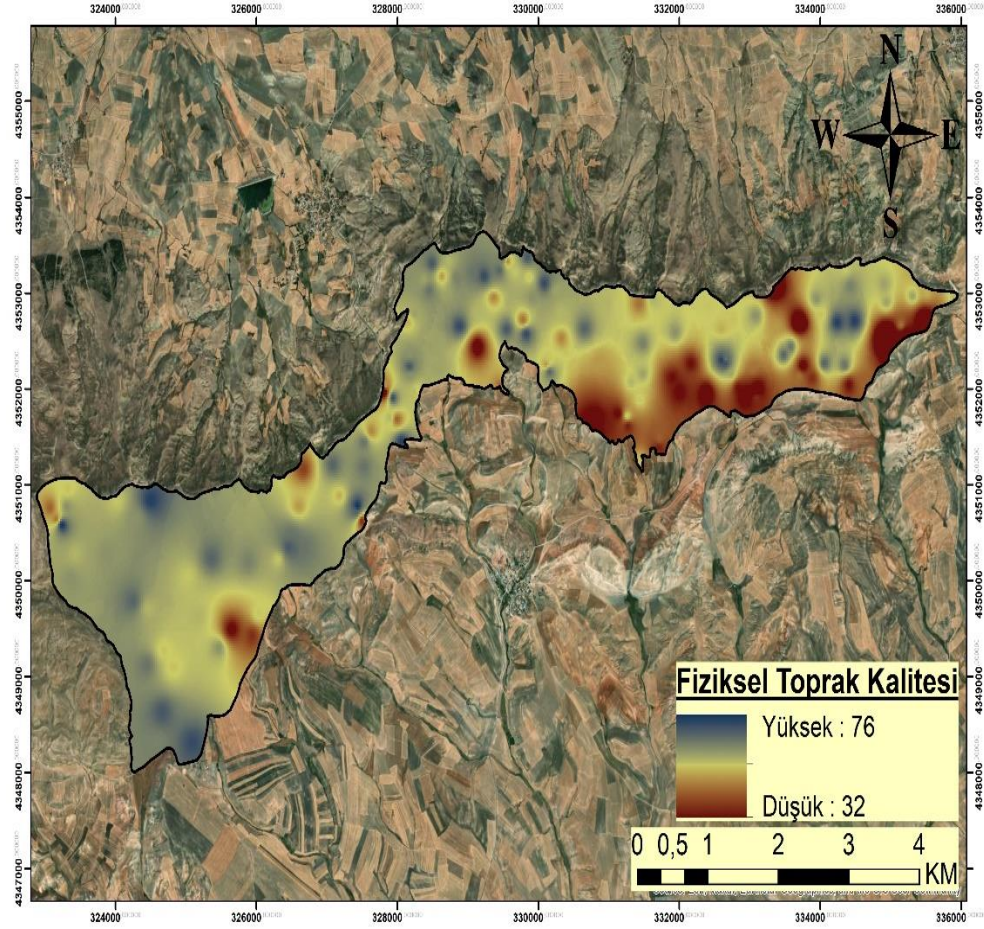
| Toprak Özellikleri | Ort. | SS | DK | Varyans | EDD | EYD | Çar. | Bas |
|---------------------|-------|-------|--------|---------|-------|--------|-------|-------|
| %Kum | 41.80 | 9.87 | 23.61 | 97.54 | 14.74 | 81.86 | 0.10 | 1.41 |
| %Silt | 23.90 | 5.84 | 24.43 | 34.22 | 3.64 | 43.29 | -0.18 | 1.64 |
| %Kil | 34.28 | 9.29 | 27.10 | 86.42 | 10.48 | 67.83 | 0.47 | 0.80 |
| %OM | 7.76 | 3.63 | 46.77 | 13.17 | 0.36 | 17.22 | 0.32 | -0.32 |
| HA | 1.26 | 0.09 | 7.142 | 0.00 | 1.06 | 1.56 | 0.26 | 0.16 |
| %AS | 58.26 | 19.35 | 33.21 | 374.46 | 9.51 | 87.25 | -0.53 | -0.83 |
| pH | 7.80 | 0.28 | 3.58 | 0.08 | 6.93 | 8.34 | -0.85 | 0.75 |
| EC(ds/m) | 0.54 | 0.16 | 29.62 | 0.02 | 0.13 | 1.00 | 0.004 | -0.22 |
| MBC | 38.19 | 12.95 | 33.90 | 167.80 | 5.88 | 72.99 | -0.19 | -0.62 |
| β -glukozidaz | 60.94 | 35.95 | 58.99 | 1292.64 | 4.09 | 132.21 | 0.24 | -1.22 |
| K mek/100g | 0.66 | 0.45 | 68.18 | 0.21 | 0.09 | 1.89 | 0.87 | -0.33 |
| P mg/k g | 3.55 | 3.91 | 110.14 | 15.36 | 0.01 | 24.28 | 2.60 | 8.74 |
| SAR | 0.83 | 0.16 | 19.27 | 0.02 | 0.57 | 1.89 | 2.23 | 10.91 |

Ort.: Ortalama, SS.: Standart sapma, DK.: Değişkenlik katsayısı, EDD: En Düşük Değer, EYD: En Yüksek Değer, Çar: Çarpıklık, Bas: Basıklık, OM: Organik madde, HA: Hacim ağırlığı, AS: Agregat stabilitesi, MBC: Mikrobiyal biyokütle karbonu, SAR: Sodyum adsorbsiyon oranı.

Wilding (1985) varyasyon katsayısını (değişkenlik katsayısı); düşük (<%15), orta (%15-35) ve yüksek (> %35) olarak sınıflandırmıştır. Sınıflandırma sonuçları dikkate alındığında, çalışma alanının toprak özelliklerinden toprak hacim ağırlığı ve pH ortalamaya göre <%15 değişkenlik ile “düşük” varyasyon sergilerken kum, silt, kil, AS, EC, MBC ve SAR ortalamaya göre %15-35 değişkenlik ile “orta” varyasyon sergilemiş; OM, β -glukozidaz, K ve P ise ortalamaya göre >%35 değişkenlik ile “yüksek” varyasyon sergilemiştir. Silt, AS, pH ve MBC değerleri normal dağılıma göre sola çarpık (-) diğer özellikler ise sağa çarpık (+) bir dağılım göstermektedir. Sağa çarpık bir dağılımda özellikler ortalamadan daha düşük seviyelerde dağılım sıklığına sahip iken sola çarpık durumda bunun 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 (3.55 mg/kg) daha düşük seviyede olmasının bir sonucudur. Toprak özelliklerinden OM, AS, EC, MBC, β -glukozidaz ve K değerlerinin eğrileri normal dağılıma göre daha basık (-) bir dağılım gösterirken, diğer parametreler ise daha dik (+) bir dağılım göstermektedir.

Doğal ekosistemdeki değişim ve insan etkisinden dolayı; toprakların, bitkilerin yetişebilmesi için gerekli olan tüm fonksiyonları sağlayabilmesi gün geçtikçe daha da imkânsız bir hal almaktadır (Govaerts ve ark., 2006). Bu durum sonucunda hali hazırda doğal fonksiyonlarını sağlayabilme potansiyeli düşük olan mera arazilerinde de arazi bozulması ve biyolojik üretkenliğin geri dönüşü olmayacak bir hal alarak çölleşmeye maruz kalması kaçınılmaz bir hal almaktadır (Acar, 2023). Bu durumu kontrol altına almak amacıyla toprak kalitesinin izlenmesi ve meydana gelen değişimin takip edilmesi, toprakların sürdürülebilir kullanılmasına ve üretkenliğinin korunarak iyileştirilmesine olanak sağlamaktadır.

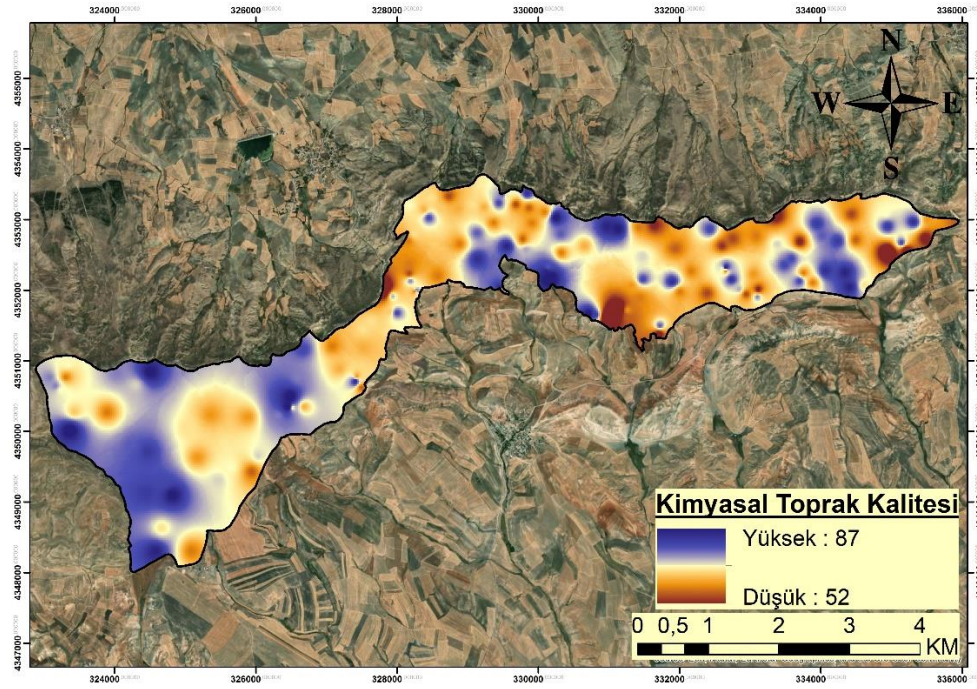
Çalışma alanına ait fiziksel toprak kalitesi haritası Şekil 3’ te verilmiştir. Alanın toprak kalitesi 32-76 arasında değişiklik göstermekle beraber ortalama 65 kalite skoru ile, 55-70 kalite skorları arasında olmasından dolayı ‘orta kalite’ olarak belirlenmiştir. Alanın güneydoğusunun toprak kalite durumunun alanın diğer kısımlarına göre daha düşük olduğu gözlemlenmektedir. Alanın batısında da yine yer yer düşük kaliteye sahip alanlar olmakla beraber genel olarak ‘orta’ ve ‘yüksek’ kaliteye sahip olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 3. Fiziksel toprak kalitesi dağılım haritası

Söz konusu alanlarda kalite skorunun düşük olma sebebi tekstürde meydana gelen değişikliklere bağlı olarak, kum ve kil içeriğinin yüksek olmasından dolayı; toprakta kum içeriğinin yüksek olduğu kısımlarda agregat yapısının iyi gelişim gösterememesi ve yarayılı su içeriğinin az olması, kil içeriğinin yüksek olduğu kısımlarda ise hidrolik iletkenliğin düşük olmasıdır. Agregatlaşma; tohum ve toprak arasındaki ilişki, bitkinin kök geliştirmesi ve solunumu, hidrolik iletkenlik ve sonuç olarak bitkinin gelişimini devam ettirebilmesi açısından önemli role sahiptir (Dinel ve ark., 1991). Toprakların geçirgenlik özelliklerini, dolayısıyla topraklarda tuz ve kimyasalların taşınma ve yıkanmasını kontrol eden önemli fiziksel bir özellik olan hidrolik iletkenlik, topraklar içinde büyük farklılık göstermektedir (Kırda ve Sariyev 2002, Sariyev ve ark., 2020). Ayrıca suya dayanıklı agregatların oranının yüksek olması, toprakların bozulmasındaki ana sebeplerden birisi olarak bilinen toprak erozyonunu engellemektedir (Dinel ve ark., 1991).

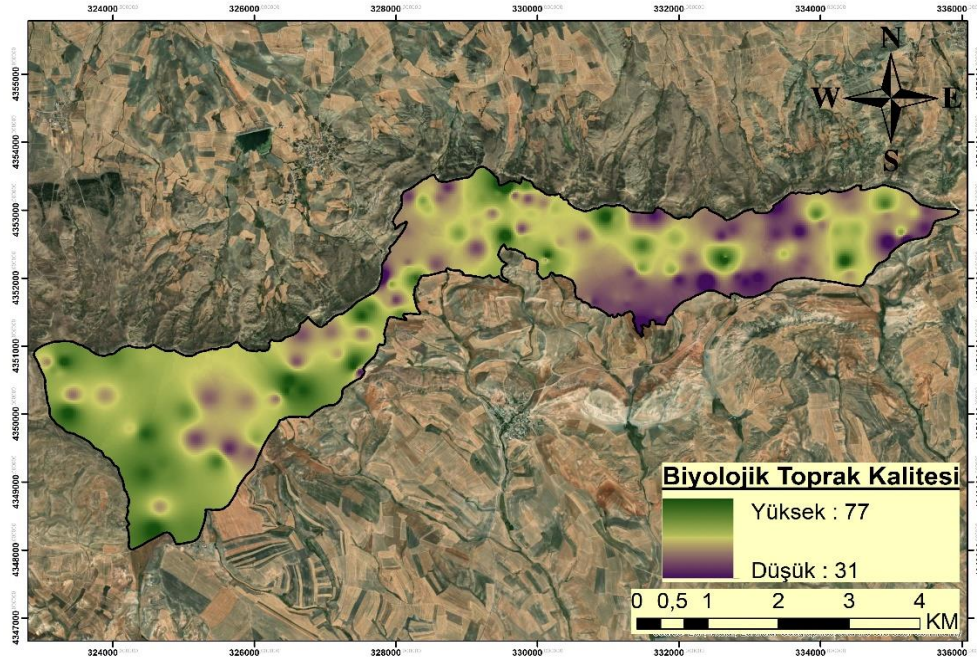
Çalışma alanına ait kimyasal toprak kalitesi haritası Şekil 4' te verilmiştir. Alanın kimyasal toprak kalitesi 52-87 arasında değişiklik göstermekle beraber ortalama 74 kalite skoru sonucu ile 70-85 kalite skorları arasında olması nedeni ile kimyasal toprak kalitesi 'yüksek kalite' olarak belirlenmiştir.



Şekil 4. Kimyasal toprak kalitesi dağılım haritası.

Alanın geneli yüksek ve orta kaliteye sahipken alanın doğusunun kalite durumu batısına göre nispeten daha düşük olarak belirlenmiştir. Bu alanlarda kaliteyi düşüren en önemli parametrenin ise yarıyıllı fosfor içeriği olarak gözlemlenmiştir. Fosforun çok zor ve geç çözünmesi, onu diğer besin elementlerinden ayıran özelliktir (Bircikligil ve ark., 2016). Toprakta fosfor önemli işlevlere sahip olan fosfor; bitkide iyi bir kök gelişimi, çiçeklenmeyi, meyve tutumu ve olgunlaşması, ürün kalitesinin artması ve bunlara bağlı olarak verimliliğin artmaktadır. Pacci ve ark. (2022), Bafra Ovasında yer alan topraklarda çeltik yetiştirilen alanların toprak kalite durumunun SMAF (Soil Management Assessment Framework) modeli ile değerlendirdikleri çalışmada toprakların fiziksel kalite indikatörlerinin düşük (% 50.38) ve yüksek (% 82.12), kimyasal kalite indikatörlerinin ise çok düşük (% 36.50) ve orta (% 66.69) sınıfları arasında değişiklik gösterdiğini belirtmişlerdir.

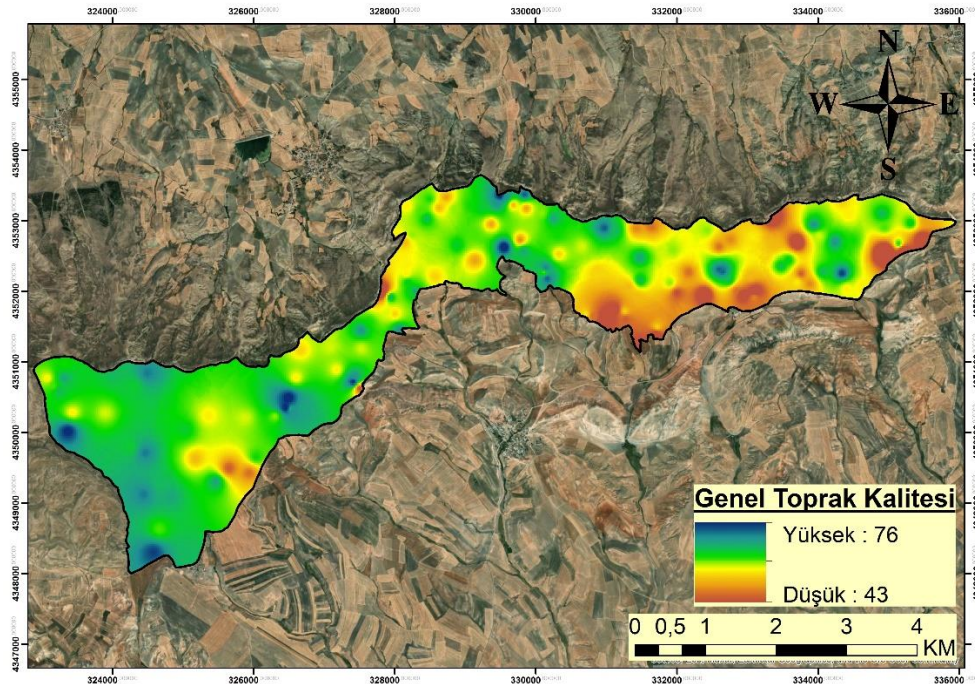
Çalışma alanına ait biyolojik toprak kalitesi haritası Şekil 5' te verilmiştir. Alanın biyolojik toprak kalitesi 31-77 arasında değişiklik göstermekle beraber, ortalama 54 kalite skoru ile 40-55 kalite skorları arasında olduğu için 'düşük kalite' olarak belirlenmiştir.



Şekil 5. Biyolojik toprak kalitesi dağılım haritası.

Harita incelendiğinde çalışma alanının batısının güneyine göre daha yüksek kaliteye sahip olduğu, ancak genel olarak çalışma alanının biyolojik kalitesinin düşük-orta sınıflarda olduğu gözlemlenmektedir. Bunun nedeninin, çalışma alanının biyolojik kalite durumunu SMAF modeli ile ortaya koymada kullanılan iki biyolojik toprak parametresinden biri olan β -glukozidaz enzim aktivitesinin aldığı düşük kalite skorları olduğu belirlenmiştir. β -glukozidaz enzimi topraklarda β -glukosidlerin hidrolizini katalize eden bir enzimdir. Söz konusu bu enzimin aktivitesi, organik maddenin ayrışması hakkında fikir vermektedir ve organik maddenin hidrolizini kapsamaması sebebi ile toprak kalitesi üzerinde önemli bir role sahiptir (Ndiaye ve ark., 2000). Alaboz ve ark. (2022), Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi kampüsü içerisinde yer alan çalışma alanında, SMAF modelinden yararlanarak toprakların fiziksel, kimyasal, biyolojik ve genel kalite durumlarını belirledikleri çalışma kalite skorlarındaki düşüklüğün en önemli etkeninin biyolojik kalite indikatörlerinden kaynaklandığını, bunun yanında organik atıkların toprakların kalite durumları üzerinde olumlu etkiye sahip olduğunu ifade etmişlerdir.

Çalışma alanına ait genel toprak kalitesi haritası Şekil 6' da verilmiştir. Alanın toprak kalitesi 43-76 arasında değişiklik göstermekle beraber ortalama 64 kalite skoru ile 55-70 kalite skorları arasında olduğu için 'orta kalite' olarak belirlenmiştir.



Şekil 6. Genel toprak kalitesi dağılım haritası.

Alanın batısının toprak kalite durumunun alanın doğusuna göre daha iyi olduğu ancak genel olarak tüm alanın orta kaliteye sahip olduğu haritada da gözlemlenmektedir. Bu durum çalışma alanının doğusundaki fiziksel, kimyasal ve biyolojik toprak parametrelerinin, meraların sürdürülebilirliğini devam ettirebilmesi için gerekli toprak şartlarını sağlayamayacak; fonksiyonlarını yerine getiremeyecek oluşundan kaynaklanmaktadır. Pacci ve Dengiz (2023), SMAF modelinden yararlanarak toprak kalite özelliklerini belirledikleri çalışmada inceledikleri alana ait toprakların ayçiçeği tarımı için kimyasal kalite indeksinin düşük, fiziksel toprak kalite orta, biyolojik kalite indeksinin ise yüksek, toplam kalite indeks değerlerinin ise yüksek düzeyde olduğunu belirlemişlerdir.

SONUÇ ve ÖNERİLER

Sivas İli Ulaş İlçesi Acıyurt köyüne ait mera alanlarının toprak kalite durumlarını ortaya koyma amacıyla çalışmada, toprak kalitesinin en iyi şekilde belirlenmesi için toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik fonksiyonlarını birbirine entegre ederek kullanmak amacı ile oluşturulan SMAF modeli kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar; çalışma alanı olan meranın genel toprak istek özellikleri dikkate alınarak hesaplanan fiziksel kalite skorunun orta, kimyasal kalite skorunun yüksek, biyolojik kalite skorunun düşük ve sonuç olarak genel kalite skorunun da orta olduğunu ortaya koymuştur. Fiziksel toprak parametreleri içerisinde yüksek kum içeriği, kimyasal toprak kalitesi üzerinde yarıyıllı fosfor içeriği, biyolojik toprak kalitesi üzerinde β -glukozidaz enzim aktivitesi olumsuz etki yaptığı ortaya konulmuştur. Genel kalite değerlendirmesine göre orta kalite sınıfında değerlendirilen topraklar, mera alanlarının sürdürülebilir olarak kullanımının sağlanması açısından kalitesinin

yıllar içerisinde değişimini izlenmesi, kalitesinin yükseltilmesi ve sürdürülebilirliğinin sağlanması açısından teşvik edecek uygulamalar yapılması gerekmektedir. Kalite içeriğinin düşük olarak tanımlandığı alanlarda mera kullanımının belirli bir planlamaya tabi tutulması, kontrollü otlatma faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi ile mümkündür. Aksi takdirde yapılacak bilinçsiz ve kontrolsüz olarak aşırı otlatılması, meraların orta ve zayıf olan özelliklerinin çok daha kötüye gitmesine neden olacaktır.

Pilot alan olarak seçilmiş alanda yapılan bu çalışma, SMAF modelinin toprak kalitesinin değerlendirilmesinde önemli bir araç olarak kullanılabileceği ve böylelikle çiftçilerin, arazi yöneticilerinin ve politikacıların sürdürülebilir arazi kullanımı ve yönetim uygulamalarına dair daha iyi ve etkin kararlar alması açısından yardımcı bir kaynak olarak değerlendirilebilecek niteliktedir.

Teşekkür: Bu çalışma, Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinatörlüğü tarafından “2022-GENL-TBT-0006” proje numarası ile desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederiz.

Çıkar Çatışması Beyanı: Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti: Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

YAZAR ORCID NUMARALARI

Fikret SAYGIN  <http://orcid.org/0000-0001-7771-806X>

Orhan DENGİZ  <http://orcid.org/0000-0002-0458-6016>

Sena PACCİ  <http://orcid.org/0000-0001-6661-4927>

KAYNAKLAR

- Acar, M. 2023. Aşağı seyhan ovasında toprak kalitesinin değerlendirilmesi ve izlenmesinde amenajmana hassas indikatörlerin belirlenmesi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Ana Bilim Dalı, Adana.
- Adeel, Z., Safriel, U., Niemeijer, D. ve White, R., 2005. Millennium Ecosystem Assessment, Ecosystems and Human Well-Being: Desertification Synthesis. World Resources Institute, Washington, DC.
- Alaboz, P., Dengiz, O., Pacci, S., Demir, S. ve 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.
- Andrews, S. S., Karlen, D. L. ve Cambardella, C. A. 2004. The soil management assessment framework: a quantitative soil quality evaluation method. Soil Science Society of America Journal, 68(6), 1945-1962.
- Anonim, 2024. Sivas İli iklim ve Bitki örtüsü, <https://tr.wikipedia.org/wiki/Sivas> Erişim Tarihi: 02.05.2024
- Armenise, E., Redmile-Gordon, M. A., Stellacci, A. M., Ciccacese, A. ve Rubino, P. 2013. Developing a soil quality index to compare soil fitness for agricultural use under different managements in the Mediterranean environment. Soil and Tillage Research, 130, 91-98.
- Birecikligil, M. S., Ok, D. ve Öcal, O. 2016. Nevşehir ilinde alternatif mücadele yöntemleri ile organik tarımının yaygınlaştırılması.
- Black, C.A. 1965. Methods of Soil Analysis: Part I Physical And Mineralogical Properties. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
- Brown, A. R. ve White, L. E. 2022. Enhancing Soil Quality Through Effective Management: Insights from the Soil Management Assessment Framework. Journal of Environmental Management, 35(3), 567-580.
- Bünemann, E.K., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R.E., De Deyn, G., de Goede, R., Flesskens, L., Geissen, V., Kuyper, T.W., Mader, P., Pulleman, M., Sukkel, W., van Groenigen, J.W., Brussaard, L. 2018. Soil quality – a critical review. Soil biology and biochemistry. 120, 105–125. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.030>.
- Cherubin, M. R., Tormena, C. A. ve Karlen, D. L. 2017. Soil quality evaluation using the Soil Management Assessment Framework (SMAF) in Brazilian Oxisols with contrasting texture. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 41, e0160148.
- de Andrade Bonetti, J., Nunes, M. R., Fink, J. R., Tretto, T. ve Tormena, C. A. 2023. Agricultural practices to improve near-surface soil health and crop yield in subtropical soils. Soil and Tillage Research, 234, 105835.
- Dinel, H., Mehuys, G. R. ve Levesque, M. 1991. Influence of humic and fibric materials on the aggregation and aggregate stability of a lacustrine silty clay. Soil Science, 151(2), 146-158.

- Doran, J.W., Parkin, T.B. 1994. 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 Special Publication no. 35. ASA and SSSA, Madison, WI, pp. 3–21.
- Garcia, M. C. ve Patel, S. 2021. Soil Health Assessment for Sustainable Agriculture: Integrating the Soil Management Assessment Framework with Agroecological Practices. *Sustainability*, 13(2), 345-358.
- Govaerts, B., Sayre, K. D., ve Deckers, J. 2006. A minimum data set for soil quality assessment of wheat and maize in the highlands of Mexico. *Soil and Tillage Research*, 87: 163–174.
- Gugino B K, Abawi G S, Idowu O J, Schindelbeck R R, Smith L L, Thies J E, Wolfe D W, ve Van Es H M, 2009. Cornell soil health assessment training manual. Cornell University College of Agriculture and Life Sciences.
- Gümüş, İ., Şeker, C., Negiş, H., Özaytekin, H. H., Karaarslan, E. ve Çetin, Ü. 2016. Buğday ekili alanlarda agregat stabilitesine etki eden faktörlerin belirlenmesi. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5, 236-242.
- Gyawali, A. J., Neely, H. L., Foster, J. L., Neely, C. B., Lewis, K. L., Bodine, G., ... ve Smith, A. P. 2023. Assessing soil health in a thermic region of the southern great plains, using the soil management assessment framework (SMAF). *Soil Security*, 13, 100115.
- Jimenez, L. C. Z., Queiroz, H. M., Cherubin, M. R. ve Ferreira, T. O. 2022. Applying the soil management assessment framework (SMAF) to assess mangrove soil quality. *Sustainability*, 14(5), 3085.
- Karlen, D. L., ve Stott, D. E. 1994. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. *Defining soil quality for a sustainable environment*, 35, 53-72.
- Karlen, D. L., Veum, K. S., Sudduth, K. A., Obrycki, J. F. ve Nunes, M. R.(2019). Soil health assessment: Past accomplishments, current activities, and future opportunities. *Soil and Tillage Research*, 195, 104365.
- Kennedy, A. C. ve Papendick, R. I. 1995. Microbial characteristics of soil quality. *Journal of soil and water conservation*, 50(3), 243-248.
- Kırda, C. ve Sarıyev, A. 2002. Toprak Fiziği. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Genel yayın No: 245, Ders Kitapları Yayın No: A-79, Adana.
- Metzger, M.J., Rounsevell, M.D.A., Acosta-Michlik, L., Leemans, R., Schroter, D., 2006. The vulnerability of ecosystem services to land-use change. *Agric. Ecosyst. Environ.* 114, 69-85.
- Ndiaye, E. L., Sandeno, J. M., McGrath, D. ve Dick, R. P. 2000. Integrative biological indicators for detecting change in soil quality. *American Journal of Alternative Agriculture*, 15(1), 26-36.
- Nunes, M. R., Karlen, D. L., Veum, K. S. ve Moorman, T. B. 2020. A SMAF assessment of US tillage and crop management strategies. *Environmental and Sustainability Indicators*, 8, 100072.
- Pacci, S., Kaya, N. S., Dengiz, O. ve Turan, İ. D. 2021. Van havzası içerisinde smaf modeli kullanılarak toprak kalitesinin değerlendirilmesi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 36(2), 301-316.
- Pacci, S., Dengiz, O., Saygın, F. ve Alaboz, P. 2022. Soil quality assessment of paddy cultivation lands in the bafra plain based on the SMAF model. *Turk J Agric Res.* 9(2):164–174. doi:10.19159/tutad.1067105.
- Pacci, S. ve Dengiz, O. 2023. Ayçiçeği tarımı yapılan toprakların SMAF modeli ile toprak kalite indislerinin belirlenmesi: Tokat Zile İlçesi örneği. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 11(1), 54-66.
- Page, K.L., Dang, Y.P. ve Dalal, R.C., 2020. The ability of conservation agriculture to conserve soil organic carbon and the subsequent impact on soil physical, chemical, and biological properties and yield. *Front. Sustain. Food Syst.* 4, 1–17. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00031>.
- Pankhurst, C. E., Hawke, B. G., McDonald, H. J., Kirkby, C. A., Buckerfield, J. C., Michelsen, P., ... ve Doube, B. M. 1995. Evaluation of soil biological properties as potential bioindicators of soil health. *Australian journal of experimental Agriculture*, 35(7), 1015-1028.
- Paz-Kagan, T., Shachak, M., Zaady, E. ve Karnieli, A. 2014. A spectral soil quality index (SSQI) for characterizing soil function in areas of changed land use. *Geoderma*, 230, 171-184.
- Rezaei, S.A., Gilkes, R.J. ve Andrews, S.S. 2006. A minimum data set for assessing soil quality in rangelands. *Geoderma* 136 (1–2), 229–234.
- Saygın, F., Dengiz, O., İç, S., İmamoğlu, A. 2019. Bazı fiziko-kimyasal toprak özellikleri ile bazı erodibilite parametreleri arasındaki ilişkilerin mikro havza ölçeğinde değerlendirilmesi. *Artvin Çoruh Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi*, 20 (1): 82-91.
- Sarğın, B., & Karaca, S. (2023). Land suitability assessment for wheat-barley cultivation in a semi-arid region of Eastern Anatolia in Turkey. *PeerJ*, 11, e16396.
- Sarıyev, A., Sesveren, S., Tülün, Y., Kaman, H., ve Acar, M. 2020. Determination of unsaturated hydraulic conductivity at field conditions and mathematical modeling.
- Smith, J. D., & Jones, K. L. (2023). Assessing Soil Management Practices: A Comprehensive Review of the Soil Management Assessment Framework. *Environmental Science and Technology*, 47(5), 1234-1256.
- Stevenson, F.J. 2005. Nitrogen-Organic Forms. In *Methods of Soil Analysis, Part 3; Chemical Methods*, 4th edn. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA.

- Viscarra Rossel, R.A., Walvoort, D.J.J., McBratney, A.B., Janik, L.J. ve Skjemstad, J.O. 2006. Visible, near infrared, mid infrared or combined diffuse reflectance spectroscopy for simultaneous assessment of various soil properties. *Geoderma* 131 (1–2), 59–75.
- Vitousek, P.M., Mooney, H.A., Lubchenco, J. ve Melillo, J.M. 1997. Human domination of Earth's ecosystems. *Science* 277, 494–499.
- Wagner, S., Cattle, S.R., Scholten, T. ve Felix-Henningsen, P. 2000. Observing the Evolution of Soil Aggregates From Mixtures of Sand, Clay and Organic Matter In Soil. *New Zealand Society of Soil Science*. 3: 217-218.
- Williams, H., Colombi, T. ve Keller, T. 2020. The influence of soil management on soil health: An on-farm study in southern Sweden. *Geoderma* 360. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.114010>.