

ARAZİ TAHRİBATI ÇERÇEVESİNDE TOPRAK ORGANİK KARBON STOKLARINDAKİ DEĞİŞİMİN KONUMSAL BİLGİ SİSTEMLERİYLE MODELLENMESİ

Tuğba AKIN¹, Prof. Dr. Süha BERBEROĞLU²,

¹Yüksek Peyzaj Mimarı Tuğba AKIN, Çukurova Üniversitesi, Peyzaj Mimarlığı, 55300, Sarıçam, Adana, tugbaakin21@gmail.com

²Prof. Dr., Çukurova Üniversitesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, 55300, Sarıçam, Adana, suha@cu.edu.tr

ÖZET

Küresel karbon döngüsünün önemli bir parçası olan toprakta bulunan organik karbon, toprak işlevlerini ve arazi tahribatını belirleyen önemli bir bileşendir. İklim değişikliği gibi olumsuz faktörler, topraktaki organik karbon içeriğinde değişikliklere yol açmaktadır. Toprak organik karbonunun ve değişiminin haritalanması; toprak yönetimi, hassas tarım, karbon dinamikleri araştırmaları ve çevre bilimi gibi çeşitli alanlar için kritik bir öneme sahiptir. Çalışmanın amacı RothC modeli kullanarak elde edilen toprak organik karbonu değişim haritalamasıyla; toprak sağlığının, besin döngüsünün ve arazi kullanımıyla iklim değişikliğinin etkilerinin anlaşılması ve topraktaki organik karbon içeriğinin haritalanmasıdır. RothC modeli, çeşitli koşullar altında toprak organik karbon dinamiklerinin modellenmesini sağlamaktadır. Model; iklim ve arazi yönetimi değişikliği senaryoları altında toprak karbon dinamiklerini simüle etme kabiliyeti, çok yönlülüğü ve güvenilirliği dünyanın çeşitli bölgelerindeki uygulamalarda gösterilmiştir. Yaygın uygulaması ve çeşitli senaryolara uyulanabilirliği, sürdürülebilir arazi kullanımı uygulamaları için toprak organik karbon seviyelerinin anlaşılması ve yönetilmesinde önemli bir yaklaşım haline gelmiştir. RothC modeli ile toprak ve iklim koşulları altında model kalibrasyonu ve model koşturma sonucunda, toprak organik karbon dinamikleri başarılı bir şekilde tahmin edilmiştir. RothC modelinde ulusal iklim verileri, toprak kaynakları (örneğin kil içeriği, başlangıç organik karbon seviyesi) ve arazi örtüsü/kullanım verilerinden yararlanılmıştır. Çalışma alanı olarak seçilen Seyhan Havzası, Türkiye'nin güneyinde önemli bir su kaynağı olarak öne çıkmaktadır. Havza, Seyhan ve Ceyhan nehirleri ile beslenen geniş bir sulama ağına sahiptir ve bu özelliğiyle tarım açısından büyük önem taşımaktadır. Son yıllarda, havzadaki toprak organik karbon miktarının azaldığı gözlemlenmektedir. Bu azalma, yoğun tarımsal kullanım, ormansızlaşma, erozyon, yanlış toprak yönetimi ve iklim değişikliği gibi faktörlerden kaynaklanmaktadır. Topraktaki organik karbonu artırmak, toprak sağlığını korumak ve ürün verimliliğini yükseltmek amacıyla sürdürülebilir toprak yönetimi (STY) uygulamaları kaçınılmazdır; aynı zamanda arazi ve toprak tahribatını tersine çevirmek için gerekmektedir. STY, toprak sağlığının korunmasıyla birlikte gıda güvenliği ile sosyo-ekonomik ve çevresel sorunların çözümünde kilit bir rol oynamaktadır. Bu çalışmada; 2022 ile 2070 arasındaki zaman diliminde, iklim değişikliği ve STY uygulamalarına bağlı olarak farklı senaryolar altında toprak organik karbon tutma potansiyeli ve değişimi ortaya konulmuştur. Toprak organik karbon değişiminin ortaya konulması için RothC modeli girdi verileri; iklim (Aylık yağış (1980-2000/2001-2022), aylık evapotranspirasyon (1980-2000/2001-2022), aylık ortalama sıcaklık (1980-2000/2001-2022)), toprak (toprak kil içeriği (2017), mevcut Toprak Organik Karbon (2022), Farklı Havuzların ilk C stokları: ayrıştırılabilir bitki malzemesi (DPM), dirençli bitki malzemesi (RPM), mikrobiyal biyokütle (BIO), nemiendirilmiş organik madde (HUM) ve inert organik madde (IOM), 2000-2022 yıllarındaki arazi örtüsü/kullanım sınıflaması, 2000-2022 yıllarındaki aylık bitki örtüsü (NDVI) kullanılmıştır. Model R Studio yazılımı kullanılarak 3 aşamada çalıştırılmıştır. Modelin başlangıcını içeren Spin-up (Stabilizasyon Aşaması), Warm-up-Short Spin-up (Ön Isıtma Aşaması) ve Forward- (İleri Aşama) (2022-2070) şeklindedir. Çalışmada farklı STY senaryolarında 48 yıl sonraki toprak organik karbon tutma oranları tahmin edilmiştir ve modelde 4 senaryo çalıştırılmıştır. STY Senaryoları; STY1: Düşük C girişi, STY 2: Orta C girişi, STY 3: Yüksek C girişi ifade etmektedir. STY senaryolarının C girdisi, BAU C girdisine göre yüzdesel bir artış olarak tahmin edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Toprak organik karbon, iklim değişikliği, arazi tahribatı, sürdürülebilir toprak yönetimi

ABSTRACT

MODELING CHANGES IN SOIL ORGANIC CARBON STOCKS IN THE CONTEXT OF LAND DEGRADATION WITH SPATIAL INFORMATION SYSTEMS

Soil organic carbon, an important part of the global carbon cycle, is an important determinant of soil function and land degradation. Adverse factors such as climate change are leading to changes in soil organic carbon content. Mapping soil organic carbon and its change is critical for various fields such as soil management, precision agriculture, carbon dynamics research and environmental science. The aim of this study is to understand the effects of soil health, nutrient cycling, land use and climate change on soil health and to map soil organic carbon content by mapping soil organic carbon change using the RothC model. The RothC model enables the modeling of soil organic carbon dynamics under various conditions. The model's ability to simulate soil carbon dynamics under climate and land management change scenarios, its versatility and reliability have been demonstrated in applications in various regions of the world. Its widespread application and adaptability to various scenarios has become an important approach to understanding and managing soil organic carbon levels for sustainable land use practices. With the RothC model, soil organic carbon dynamics have been successfully predicted through model calibration and model running under soil and climate conditions. The RothC model utilized national climate data, soil resources (e.g. clay content, initial organic carbon level) and land cover/use data. The Seyhan Basin, selected as the study area, is an important water source in southern Turkey. The basin has an extensive irrigation network fed by the Seyhan and Ceyhan rivers and is of great importance for agriculture. In recent years, the amount of soil organic carbon in the basin has been decreasing. This decrease is due to factors such as intensive

agricultural use, deforestation, erosion, improper soil management and climate change. Sustainable soil management (SLM) practices are inevitable to increase soil organic carbon, maintain soil health and increase crop productivity; they are also needed to reverse land and soil degradation. Along with the protection of soil health, SIL plays a key role in solving food security and socio-economic and environmental problems. In this study, soil organic carbon sequestration potential and its change under different scenarios depending on climate change and NRI practices in the time period between 2022 and 2070. RothC model input data to reveal soil organic carbon change are climate (monthly precipitation (1980-2000/2001-2022), monthly evapotranspiration (1980-2000/2001-2022), monthly average temperature (1980-2000/2001-2022)), soil (soil clay content (2017), available Soil Organic Carbon (2022), initial C stocks of different pools: decomposable plant material (DPM), resilient plant material (RSM), microbial biomass (BIO), humified organic matter (HUM) and inert organic matter (IOM), land cover/use classification in 2000-2022, monthly vegetation cover (NDVI) in 2000-2022. The model was run in 3 stages using R Studio software. Spin-up (Stabilization Phase) including the beginning of the model, Warm-up-Short Spin-up (Pre-Warming Phase) and Forward- (Forward Phase) (2022-2070). In the study, soil organic carbon sequestration rates after 48 years in different SSM scenarios were estimated and 4 scenarios were run in the model. SSM Scenarios; SSM 1: Low C input, SSM 2: Medium C input, SSM 3: High C input. The C input of the SSM scenarios was estimated as a percentage increase compared to the BAU C input.

Keywords: Soil organic carbon, climate change, land degradation, sustainable soil management

1. GİRİŞ

Arazi tahribatı, toprak sağlığı ve verimliliğinin korunması için hayati önem taşıyan toprak organik karbon (TOK) stoklarını önemli ölçüde etkilemektedir. Çeşitli çalışmalar arazi kullanım değişiklikleri ve TOK dinamikleri arasındaki ilişkiyi ispatalmış, sürdürülebilir olmayan tarımsal uygulamaların ve ormansızlaşmanın zararlı etkilerini vurgulamıştır. Ormanlar gibi doğal ekosistemlerin tarım arazilerine dönüştürülmesinin TOK seviyelerini önemli ölçüde düşürdüğü gösterilmiştir. Örneğin, ormanların daha yoğun arazi kullanımlarına dönüştürülmesinin TOK'de belirgin bir düşüşe yol açtığını ve değerlerin tropikal topraklar için kritik eşiklerin altına düştüğünü bildirmektedir (Joseph vd., 2019). Benzer şekilde, sürekli ekim ve sürdürülebilir olmayan tarım uygulamalarının toprak organik maddesini tükettiğini, dolayısıyla toprak kalitesini ve verimliliğini azalttığını vurgulamaktadır (Adebo vd., 2020). Bu tahribat, özellikle monokültür ve kimyasal girdilere bağımlılığın TOK kaybını şiddetlendirdiği ekilebilir arazilerde daha belirgin olarak görülmektedir (Adebo ve ark., 2020). Dahası, arazi kullanım değişikliğinin TOK üzerindeki etkileri farklı ekosistemler arasında aynı olmamaktadır. Örneğin Kavukattu Sreekumar'ın araştırması, Hindistan'ın Batı Ghats bölgesinde kahve yetiştiriciliğinin farklı TOK stoklarına yol açabileceğini ve bazı bölgelerde gelişmiş yönetim uygulamaları nedeniyle önemli artışlar görülebileceğini göstermektedir (Kavukattu Sreekumar, 2024). Buna karşılık, orman topraklarının tipik olarak ekili arazilere kıyasla daha yüksek TOK stokları sergilediği, bunun da altlıktan daha fazla organik girdiye ve daha az toprak tahribatına atfedildiği bulunmuştur (Ghimire vd., 2019). Bu durum, arazi yönetim stratejilerinin TOK dinamiklerini etkilemedeki kritik rolünü vurgulamaktadır.

TOK değişikliklerinin etkileri toprak sağlığının ötesine geçmektedir; küresel karbon döngüsü ve iklim değişikliğinin azaltılması için de hayati öneme sahiptirler. Belirtildiği üzere, TOK stokları arazi tahribatını izlemek için gösterge görevi görür ve çevresel sürdürülebilirlikle ilgili Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerine (SDG'ler) ulaşmak için gereklidir (Lorenz ve ark., 2019). Ayrıca, TOK'nin karbon tutma potansiyeli, TOK'daki küçük değişiklikler atmosferik CO₂ konsantrasyonlarını önemli ölçüde etkileyebileceğinden, iklim değişikliğinin ele alınmasındaki öneminin altını çizmektedir (Desyatkin ve ark., 2018). Arazi kullanımı değişiklikleri ve TOK stokları arasındaki etkileşim karmaşıktır ve yönetim uygulamaları ve ekosistem türleri de dahil olmak üzere çeşitli faktörlerden etkilenmektedir. Tarımsal ormancılık ve koruyucu toprak işleme gibi sürdürülebilir arazi yönetimi uygulamaları, TOK stoklarını artırabilir ve arazi tahribatının olumsuz etkilerini azaltabilmektedir (Anikwe, 2010; Hombegowda vd., 2016). Bu nedenle, bu dinamiklerin anlaşılması, arazi tahribatı ile mücadele etmek ve toprak sağlığını teşvik etmek için etkili stratejiler geliştirmek açısından çok önemlidir.

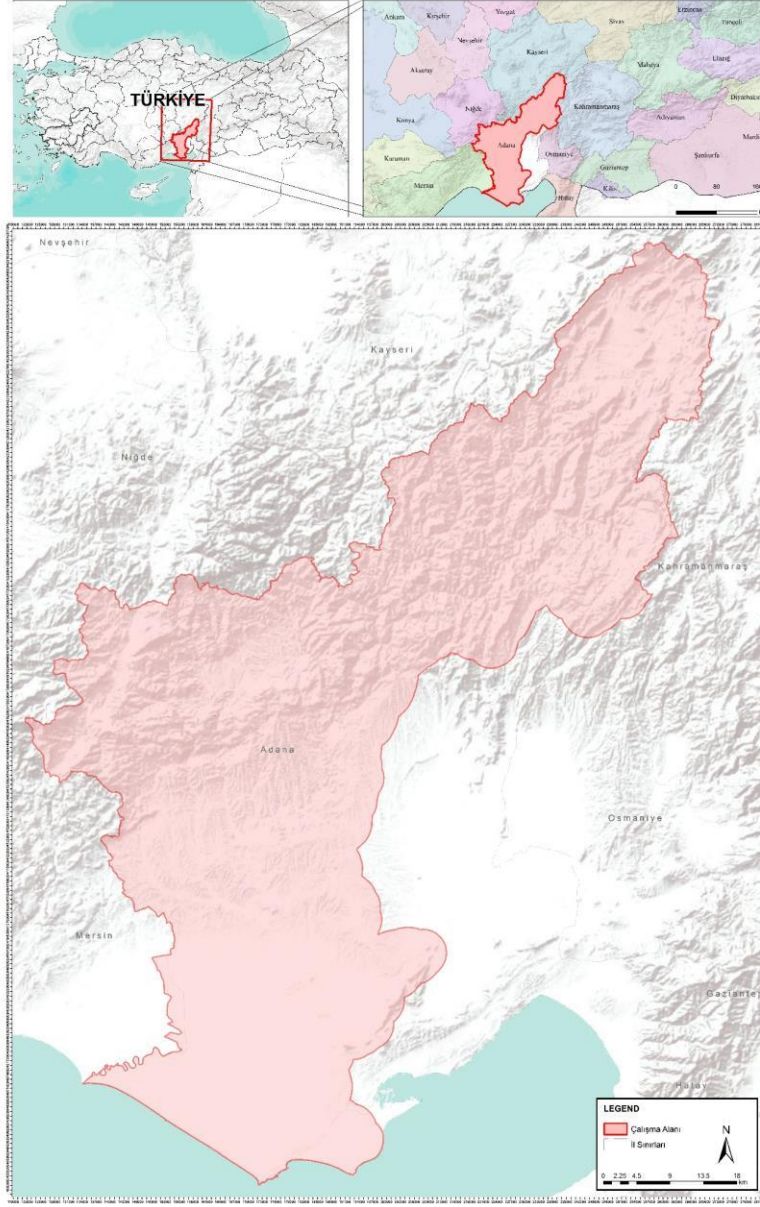
TOK stoklarındaki değişikliklerin haritalanması, karbon döngüsünün dinamiklerini ve iklim değişikliği üzerindeki etkilerini anlamak için çok önemlidir. Çeşitli çalışmalar, arazi kullanım değişiklikleri, bitki örtüsü türleri ve iklim koşulları da dahil olmak üzere SOC stoklarını etkileyen faktörleri vurgulamıştır. Arazi kullanım değişikliği, SOC dinamiklerinin önemli bir itici gücüdür. Örneğin, ormandan tarım arazisine geçiş genellikle yüzeysel toprak karbon stoklarının oksitlenmesine neden olarak CO₂ ve diğer sera gazlarının emisyonlarının artmasına yol açmaktadır (Batjes, 2014). Özellikle meraların ekili arazilere dönüştürülmesinin SOC stoklarını önemli ölçüde etkilediği gösterilmiş olup, farklı arazi kullanım türlerinin SOC seviyelerinde önemli değişikliklere yol açabileceğini gösteren çalışmalar mevcuttur (Shiferaw vd., 2019). Bu durum özellikle arazi kullanımındaki değişikliklerin karbon emisyonlarını artırabildiği ve genel ekosistem sağlığını etkileyebileceği yarı kurak bölgelerle ilgilidir (Shiferaw vd., 2019). İklim değişikliği de SOC istikrarı için önemli bir tehdit oluşturmaktadır. Öngörülen ısınmanın toprak organik maddesinin ayrışmasını hızlandırması ve potansiyel olarak önemli miktarda karbonu atmosfere geri salması beklenmektedir (Batjes, 2014; Yang ve ark., 2010). Bu geri besleme döngüsü, iklim azaltımı için bir strateji olarak SOC stoklarını korumanın ve artırmanın önemini vurgulamaktadır. Örneğin, toprak karbon kayıplarını azaltmak ve karbon tutma kapasitesini artırmak için sürdürülebilir arazi yönetimi uygulamaları önerilmektedir (Ungaro vd., 2010). Genel olarak, toprak organik karbon stoklarındaki değişikliklerin haritalanması, arazi kullanım değişikliklerini, bitki

örtüsü türlerini, iklimsel etkileri ve toprak özelliklerini dikkate alan çok yönlü bir yaklaşım gerektirir. Bu dinamikleri anlamak, iklim değişikliğini hafifletmek ve karasal ekosistemlerde karbon birikimini artırmak için etkili stratejiler geliştirmek için gerekmektedir. Çalışma alanı kapsamında Seyhan havzası'nı içine alan Adana Orman Bölge sınırlarının 1118850 Ha'lık bir yüzeyi RothC modeli kullanılarak TOK stoklarındaki değişim analiz edilmiştir.

2. MATERYAL VE METOD

2.1.Çalışma Alanı

Türkiye'nin Doğu Akdeniz Bölgesi'nde konumlanmış olan Seyhan Havzası, İskenderun Körfezi'nden başlayarak Orta Anadolu'nun iç kısımlarına kadar uzanıp, Enlem ve boylam olarak 36° 55' ile 38° 72' kuzey enlemleri ve 35° 45' ile 37° 81' doğu boylamları arasında yer almaktadır. Seyhan Havzası, Seyhan Nehri ve yan kollarının sularını topladığı geniş alüvyonlu havzalar ile sarp dağlık arazilerin bir araya geldiği bir bölgeyi kaplamaktadır. 2.213.415 ha'lık yüzölçümü ile Türkiye'nin %2,73'ünü kapsayan Seyhan Havzası batıdan Seyhan, kuzey ve doğudan Fırat Dicle, güneyden Asi Havzaları ile komşu olduğu bilinmektedir (Seyhan Havzası Kuraklık Yönetim Planı, 2019) ve Seyhan havzasının Kahramanmaraş ilinin %87,61'i, Osmaniye ilinin %94,41'i ve Adana ilinin %28,08'i Seyhan Havzası içinde kalmaktadır (Seyhan Havzası Kuraklık Yönetim Planı, 2019). Çalışma alanı olarak seçilen Havza'nın doğu ve güney kesimlerini içeren Adana Orman Bölge sınırlarının 1118850 Ha'lık bir yüzeye sahiptir ve Acaryayla, Adana, Akcalı, Akdam, Akören, Arboretum, Avcıpınarı, Ayvacık, Bahçecik, Bağdaş, Bürücek, Ceyhan, Eğni, Feke, Gedikli, Hacılı, Hamidiye, Horzum, Karakuz, Karaçamlık, Karaisalı, Karsantı, Kızılağaç, Kızıldağ, Kozan, Mansurlu, Meydan, Pozantı, Sarıpınar, Sarıçam, Saimbeyli, Soğukoluk, Söğüt, Tufanbeyli, Yapraklı, Çatalan, Çataloluk, Çukurova, İmamoğlu, Şamadan şeflik sınırlarını içermektedir. Çalışma alanının güney kesimlerinde Akdeniz iklimi hakim iken, kuzey kesimlerinde karasal iklim hakim olmaktadır ve bağıl nemden etkilenen ortalama sıcaklık, güneşlenme süresi ve bulutlanma güneyden kuzeye doğru azalış göstermektedir (Topçu vd., 2022).



şekil 1. Çalışma Alanı

2.2. Kullanılan veriler

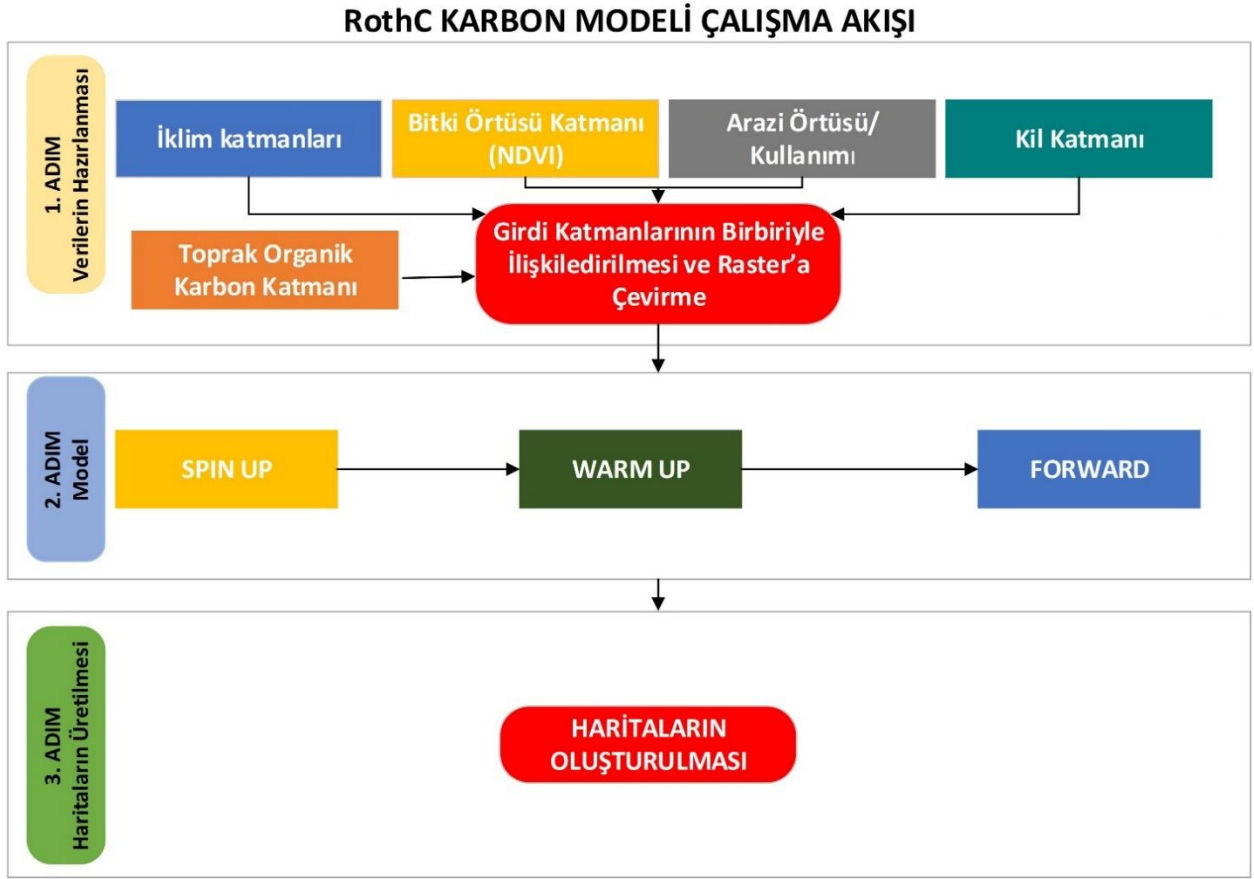
TOK'daki değişimi analiz etmek için, iklim değişikliği hesaplama yöntemlerini geliştirmek amacıyla toprak özellikleri, arazi kullanımı ve iklim verilerini entegre ederek ulusal ölçekte çalışmak üzere tasarlanmış RothC modeli kullanılmıştır. Modelin alışması için minimum düzeyde; aylık yağış miktarı, ortalama sıcaklık ve potansiyel evapotranspirasyon, toprak kili içeriği, arazi örtüsü ve toprağa C girişi hakkında veriler gerekmektedir (Tao vd., 2023). İklım verileri; belirli zaman içindeki sıcaklık ve yağış gibi bilgileri içermektedir ve model için günlük, aylık veya yıllık iklim verileri gerekmektedir. Modelde kullanılan toprak verileri; doku (kum, silt, kil yüzdeleri), ktle yoğunluğu ve toprağın organik karbon içeriği gibi toprak özelliklerini içermektedir. Bitki rts verileri; bitki örtüsünün türü, büyüme özellikleri ve biyoktle üretim oranları hakkında bilgileri içerir ve son olarak arazi kullanımı ve arazi örtüsü verileri; arazinin halihazırda nasıl kullanıldığına ve arazi örtüsünde zaman içinde meydana gelen değişikliklere ilişkin verileri içermektedir. Model girdileri detaylı bir şekilde Tablo 1'de verilmiştir.

RothC Modelde Kullanılan Veriler		
	Modelin Veri İçeriği	Zaman Serisi
İKLİM VERİLERİ	Aylık Yağış (mm)	
	Aylık evapotranspirasyon (mm)	1980-2000; 2001-2022
	Aylık Ortalama Sıcaklık C°	1980-2000; 2001-2022
TOPRAK VERİLERİ	Toprak Kil İçeriği (0-30 cm)	2017
	Mevcut Toprak Organik Karbon Stoğu (0-30 cm)(tC ha-1)	EM (ölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü) 2020
	Farklı Havuzların ilk Karbon stokları (t C ha-1) : DPM, RPM, BIO, HUM, IOM	-
ARAZİ ÖRTÜSÜ/KULLANIMI	Arazi örtüsü/Kullanımı	2000-2022
	Aylık Bitki örtüsü: Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI)	2015- 2022

şekil 1. RothC Modelde kullanılan girdi verileri

2.3. Metod

Model içerisinde kullanılacak girdi katmanları elde edildikten sonra, RothC Karbon modeli 3 aşama (Spin-up (Stabilizasyon Aşaması), Forward (İleri Aşama), ve Warm-up (Ön Isıtma Aşaması)) doğrultusunda her hedef noktada mekansallaştırılarak çalıştırılmıştır. RothC modelin çalışma akışı şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. RothC Modelin çalışma akış şeması

Spin-up (Stabilizasyon Aşaması): Modelin başlangıç aşaması olan "Spin-up", TOK stoklarının simülasyonu ve ayrıştırılmasına başlamadan önce simülasyonu başlatmak ve ilk TOK girdilerini ayarlamak için gereklidir. RothC modelinin spin-up aşaması, modeli başlatma ve toprak karbonunun başlangıç depo değerlerini elde etme sürecinde önemli bir adımı içermektedir (Coelli vd., 2021). Modelin bu aşamasında ÇEM tarafından yapılan Toprak Organik Karbon Projesi kapsamında elde edilen TOK haritası, Çalışma sahasına ait kil özelliği, CRU iklim (Yıllık ortalama sıcaklık (1981-2000), Yıllık ortalama yağış (1981-2000), Yıllık ortalama potansiyel evapotranspirasyon (PET) (1981-2000), Arazi örtüsü (2015), Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI) (2015-2022) verileri kullanılmıştır.

Warm-up-Short Spin up (Ön Isıtma Aşaması): RothC modelin bu aşaması; TOK stoklarının zaman içinde uyumlu hale getirilmesi için ÇEM'den temin edilen 2020 yılında (yani başlangıçta) mevcut olan TOK stoklarındaki farklılıkları en aza indirme ve 2000-2022 dönemindeki iklim değişikliklerini dikkate almak için ikinci bir başlangıç adımı olarak gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada model girdileri şu şekildedir; mevcut TOK, kil özelliği, Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI) (2015-2022), Arazi örtüsü (2022).

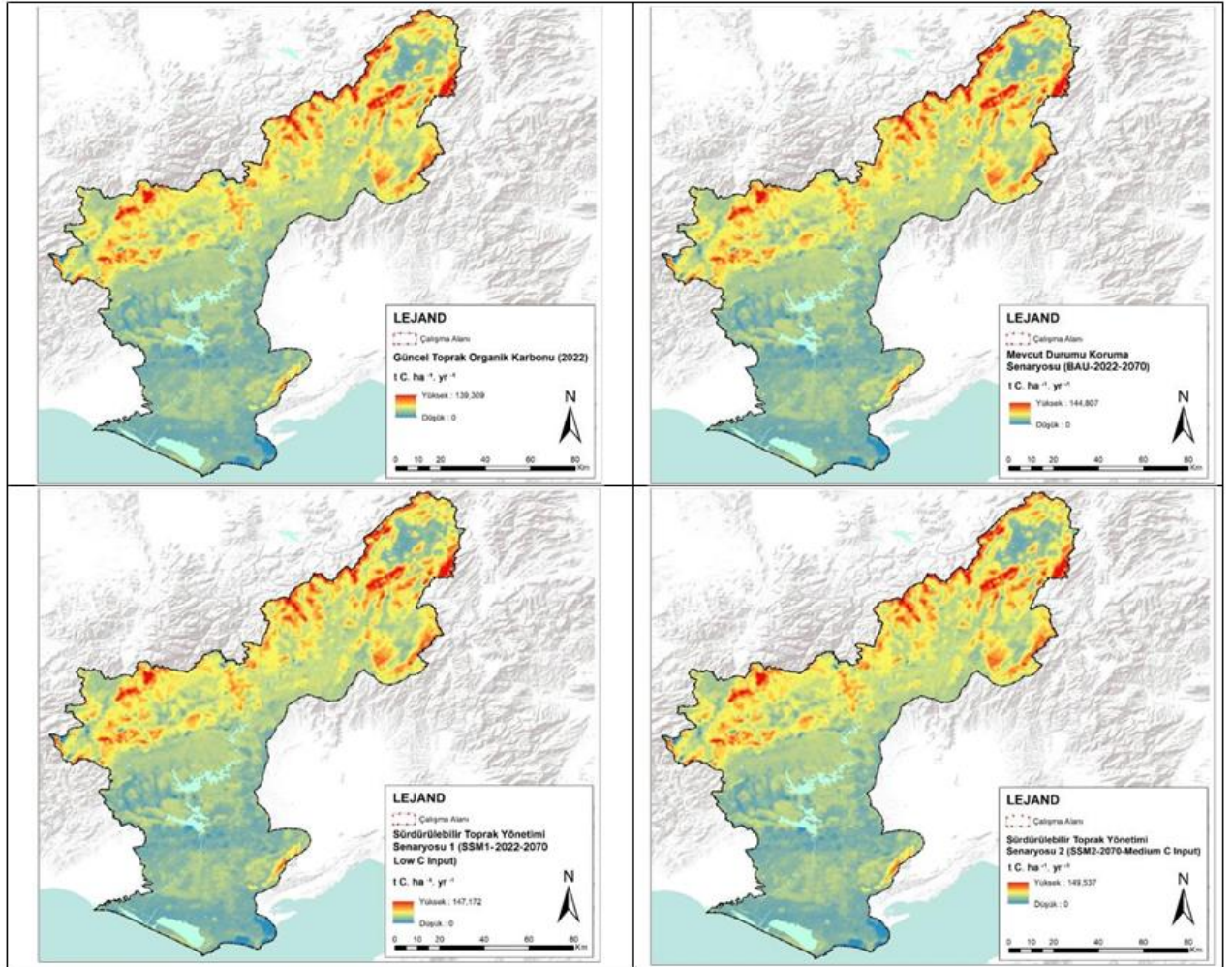
Forward- (İleri Aşama) (2022 – 2070): Bu aşamada; 2022 ila 2070 yılları arasında TOK stokları "Mevcut durumu koruma" senaryosu (BAU-karbon girdilerinde değişiklik yok), "düşük" senaryo (STY1-karbon girdilerinde yüzde 5 artış), "orta" senaryo (STY2-karbon girdilerinde yüzde 10 artış) ve "yüksek" senaryo (STY3-karbon girdilerinde yüzde 20 artış) altında öngörülmektedir. Modelin İleri aşaması, gelecekteki iklim ve diğer çevresel koşulları kullanarak hedef zaman noktasında (2022-2070) TOK içeriği tahmin edilmiştir. Modelin bu aşamasında kullanılan girdi verileri; mevcut TOK, kil özelliği, Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI) (2015-2022), CRU iklim (Yıllık ortalama sıcaklık (2001-2022), Yıllık ortalama yağış (2001-2022), Yıllık ortalama potansiyel evapotranspirasyon (PET) (2001-2022), Arazi örtüsü (2022) şeklindedir.

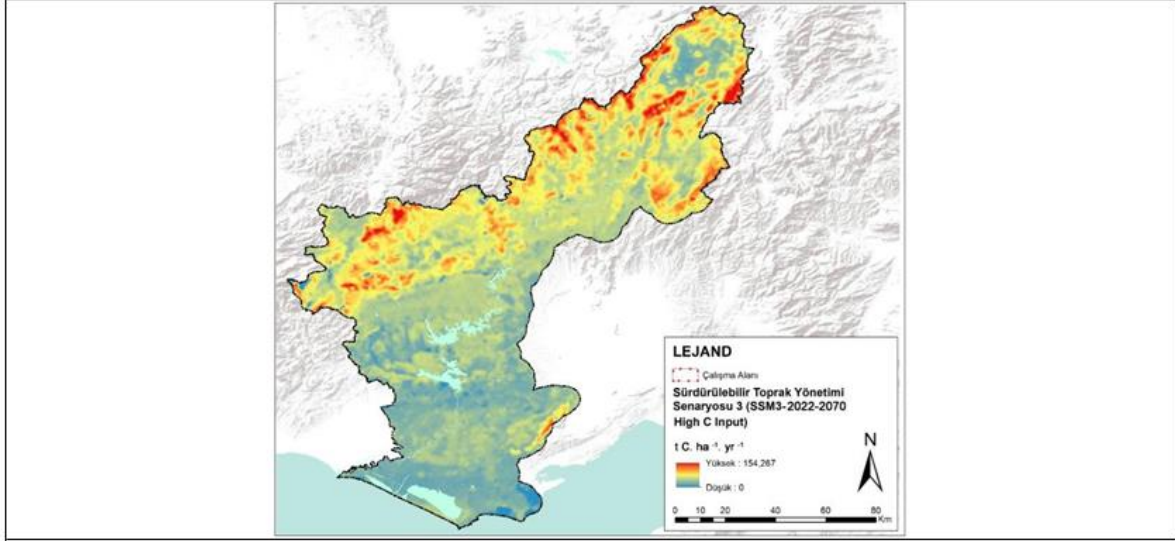
3. BULGULAR

Bu çalışmada uzaktan algılama verileri ve RothC modeli kullanılarak TOK stoklarının mekânsal dağılımı analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, hem modelin hem de uzaktan algılama verilerinin toprak organik karbonun tahmininde başarılı olduğunu göstermektedir. Uzaktan algılama verilerinden elde edilen bitki örtüsü, toprak nemi, arazi kullanımı gibi parametreler, TOK stokları üzerinde doğrudan etkili olmuştur. Bitki örtüsünün yoğun olduğu alanlarda toprak organik karbon miktarının daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Arazi kullanımındaki farklılıkların,

D. Maktav ve S.S. Bilgilioğlu (İkiden fazla yazar varsa “D.Maktav vd.” şeklinde yazılır): Tam Metin Bildiri Başlığı (Bildiri başlığı gerekirse tek satıra sığacak şekilde kısaltılmalıdır.)

toprak organik karbon dağılımlında önemli bir etken olduğu belirlenmiştir. Özellikle tarımsal alanlar ve doğal bitki örtüsünün hâkim olduğu alanlar arasında TOK stokları açısından büyük farklar tespit edilmiştir. RothC modelinin iklim verileri, toprak türü ve arazi kullanımı gibi girdilerle entegre edilmesi, toprak organik karbon stoklarının doğru bir şekilde tahmin edilmesini sağlamıştır.





Şekil 3. RothC Model sonuçları

Modelin öngörülleri, saha verileriyle karşılaştırıldığında %89'un üzerinde bir doğruluk oranı elde edilmiştir. Bu, modelin toprak karbon dinamiklerini doğru bir şekilde simüle ettiğini göstermektedir. TOK haritaları, çalışılan bölgenin toprak organik karbon miktarının mekânsal olarak nasıl değiştiğini ortaya koymuştur. Bitki örtüsünün yoğun olduğu ormanlık ve çalılık alanlarda TOK miktarı yüksekken, yoğun tarım yapılan bölgelerde bu değerlerin daha düşük olduğu saptanmıştır. Özellikle ormansızlaştırma veya yoğun tarım faaliyetlerinin olduğu alanlarda toprak karbon kaybının belirgin olduğu tespit edilmiştir. Buna karşılık, doğal ekosistemlerin hâkim olduğu bölgelerde karbon birikiminin daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Tarımsal alanlarda TOK miktarının, doğal bitki örtüsünün olduğu alanlara kıyasla daha düşük olduğu bulunmuştur. Bu durum, tarım faaliyetlerinin toprak organik karbon stoklarını olumsuz etkilediğini göstermektedir. Doğal alanlarda (ormanlar, meralar) ise karbon birikiminin daha fazla olduğu ve bu alanların toprak karbonunu koruma açısından kritik rol oynadığı belirlenmiştir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışma, uzaktan algılama verileri ve RothC modeli kullanılarak toprak organik karbon haritalarının üretilmesinde önemli sonuçlar elde etmiştir. RothC modeli, toprak organik karbon döngüsünü simüle etmek için kullanılan bir model olup, arazi kullanım değişikliği ve iklim değişkenlerine dayalı olarak karbon birikimini ve kaybını tahmin edebilme kapasitesine sahiptir. Bu bağlamda, uzaktan algılama verileri, toprak özelliklerini yansıtan veri setleri ile entegre edilerek modelin daha hassas ve geniş alanlara uygulanabilir hale gelmesi sağlanmıştır. Uzaktan algılama verileri, geniş alanların hızlı bir şekilde analiz edilmesine olanak sağlamış ve özellikle bitki örtüsü, toprak nemi, toprak kil özelliği ve arazi kullanımı gibi TOK'u etkileyen kritik parametrelerin mekânsal olarak haritalanmasını mümkün kılmıştır. RothC modeli, toprak organik karbonun mekânsal dağılımını tahmin etmekte etkili bir araç olarak ortaya çıkmıştır. Modelin özellikle toprak yapısı, iklim verileri ve arazi kullanımına dayalı senaryolarda doğru sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen TOK haritası, çalışma alanındaki organik karbon stoklarının mekânsal dağılımını doğru bir şekilde yansıtmaktadır. Bu harita, karbon yönetimi, iklim değişikliği etkilerinin değerlendirilmesi ve sürdürülebilir tarım politikaları geliştirilmesi gibi alanlarda karar destek aracı olarak kullanılabilir. Farklı arazi kullanım tipleri ve iklim senaryoları incelendiğinde, toprakların karbon depolama potansiyelinin arazi kullanımı ve yönetim stratejilerine bağlı olarak değişiklik gösterdiği belirlenmiştir. Bu bağlamda, sürdürülebilir tarım uygulamaları ve arazi yönetim stratejileri, TOK birikimini artırmada kritik rol oynamaktadır. Sonuç olarak, uzaktan algılama verileri ile desteklenen RothC modellemesi, toprak organik karbonunun geniş ölçekli haritalanmasında etkin bir yöntemdir. Bu çalışma, iklim değişikliği ile mücadelede toprak karbon stoklarının korunması ve artırılması için stratejik bir araç sunmaktadır. Gelecekteki çalışmalar, modelin daha fazla yerel verilerle zenginleştirilmesi ve farklı ekosistemlerde test edilmesi ile bu yöntemin doğruluğunu ve genellenabilirliğini artırabilir.

KAYNAKLAR

- Adebo, B., Aweto, A., & Ogedengbe, K.** (2020). Assessment of soil quality under different agricultural land use systems: a case study of the ibadan farm settlement. *International Journal of Plant & Soil Science*, 89 -104. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2020/v32i430275>
- Anikwe, M.** (2010). Carbon storage in soils of southeastern nigeria under different management practices. *Carbon Balance and Management*, 5(1). <https://doi.org/10.1186/1750-0680-5-5>
- Desyatkin, A., Iwasaki, S., Desyatkin, R., & Hatano, R.** (2018). Changes of soil c stock under establishment and abandonment of arable lands in permafrost area—central yakutia. *Atmosphere*, 9(8), 308. <https://doi.org/10.3390/atmos9080308>
- Diele, F., Marangi, C., & Martiradonna, A.** (2021). Non-standard discrete rothc models for soil carbon dynamics. *Axioms*, 10(2), 56. <https://doi.org/10.3390/axioms10020056>
- FAO.** (2022). Global Soil Organic Carbon Sequestration Potential Map (GSOCseq v.1.1) Technical report [Teknik Rapor].
- Ghimire, P., Bhatta, B., Pokhrel, B., Kafle, G., & Paudel, P.** (2019). Soil organic carbon stocks under different land uses in chure region of makawanpur district, nepal. *Saarc Journal of Agriculture*, 16(2), 13 -23. <https://doi.org/10.3329/sja.v16i2.40255>
- Guo, L., Falloon, P., Coleman, K., Zhou, B., Li, Y., Lin, E., ... & Zhang, F.** (2007). Application of the rothc model to the results of long-term experiments on typical upland soils in northern china. *Soil Use and Management*, 23(1), 63-70. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2006.00056.x>
- Hombegowda, H., Straaten, O., Köhler, M., & Hölscher, D.** (2016). On the rebound: soil organic carbon stocks can bounce back to near forest levels when agroforests replace agriculture in southern india. *Soil*, 2(1), 13 -23. <https://doi.org/10.5194/soil-2-13-2016>
- Jebari, A., Álvaro-Fuentes, J., Pardo, G., Almagro, M., & Prado, A.** (2021). Estimating soil organic carbon changes in managed temperate moist grasslands with rothc. *Plos One*, 16(8), e0256219. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0256219>
- Joseph, P., Ojochegebe, O., Okonfor, A., & Faith, U.** (2019). Impacts of different land use on some selected soil physicochemical properties in federal polytechnic idah, kogi state, nigeria. *South Asian Research Journal of Agriculture and Fisheries*, 01(01), 17-22. <https://doi.org/10.36346/sarjaf.2019.v01i01.004>
- Kavukattu Sreekumar, K.** (2024). Assessing changes in soil organic carbon stocks and vulnerability to land degradation in western ghats, south india: is it restorative enough?. *Soil Use and Management*, 40(2). <https://doi.org/10.1111/sum.13056>
- Lorenz, K., Lal, R., & Ehlers, K.** (2019). Soil organic carbon stock as an indicator for monitoring land and soil degradation in relation to united nations' sustainable development goals. *Land Degradation and Development*, 30(7), 824-838. <https://doi.org/10.1002/ldr.3270>
- Matsumoto, N.** (2004). Testing the rothamsted carbon model against data from long-term experiments on upland soils in thailand. *European Journal of Soil Science*, 56(2), 179-188. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2004.00659.x>
- Mesfin, S., Gebresamuel, G., Haile, M., & Zenebe, A.** (2020). Modelling spatial and temporal soil organic carbon dynamics under climate and land management change scenarios, northern ethiopia. *European Journal of Soil Science*, 72(3), 1298-1311. <https://doi.org/10.1111/ejss.13060>
- Molina, L., Pérez, E., & Pérez, A.** (2017). Simulation of soil organic carbon changes in vertisols under conservation tillage using the rothc model. *Scientia Agricola*, 74(3), 235-241. <https://doi.org/10.1590/1678-992x-2015-0487>
- Nieto, O., Castro, J., Ondoño, E., & Smith, P.** (2010). Simulation of soil organic carbon stocks in a mediterranean olive grove under different soil-management systems using the rothc model. *Soil Use and Management*, 26(2), 118-125. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2010.00265.x>
- Pesce, S., Balugani, E., Paz, J., Marazza, D., & Visconti, F.** (2023). A modified version of rothc to model the direct and indirect effects of rice straw mulching on soil carbon dynamics, calibrated in a mediterranean citrus orchard.. <https://doi.org/10.5194/egusphere-2023-298>
- Pulcher, R., Balugani, E., Ventura, M., Greggio, N., & Marazza, D.** (2022). Inclusion of biochar in a c dynamics model based on observations from an 8-year field experiment. *Soil*, 8(1), 199-211. <https://doi.org/10.5194/soil-8-199-2022>

- Shiferaw, A., Yimer, F., & Tuffa, S.** (2019). Changes in soil organic carbon stock under different land use types in semiarid borana rangelands: implications for co2 emission mitigation in the rangelands. *J Agri Sci Food Res*, 10(1). <https://doi.org/10.35248/2593-9173.19.10.254>
- Shirato, Y.** (2019). Use of models to evaluate carbon sequestration in agricultural soils. *Soil Science & Plant Nutrition*, 66(1), 21-27. <https://doi.org/10.1080/00380768.2019.1702477>
- Shirato, Y., Yagasaki, Y., & Nishida, M.** (2011). Using different versions of the rothamsted carbon model to simulate soil carbon in long-term experimental plots subjected to paddy-upland rotation in japan. *Soil Science & Plant Nutrition*, 57(4), 597-606. <https://doi.org/10.1080/00380768.2011.591284>
- Takata, Y., Ito, T., Ohkura, T., Obara, H., Kohyama, K., & Shirato, Y.** (2011). Phosphate adsorption coefficient can improve the validity of rothc model for andosols. *Soil Science & Plant Nutrition*, 57(3), 421-428. <https://doi.org/10.1080/00380768.2011.584510>
- Tao, F., Palosuo, T., Lehtonen, A., Heikkinen, J., & Mäkipää, R.** (2023). Soil organic carbon sequestration potential for croplands in Finland over 2021–2040 under the interactive impacts of climate change and agricultural management. *Agricultural Systems*, 209, 103671.
- Topçu, E., Seçkin, N., & Haktanır, N. A.** (2022). Drought analyses of Eastern Mediterranean, Seyhan, Ceyhan, and Asi Basins by using aggregate drought index (ADI). *Theoretical and Applied Climatology*, 147(3-4), 909-924.
- Ungaro, F., Staffilani, F., & Tarocco, P.** (2010). Assessing and mapping topsoil organic carbon stock at regional scale: A scorpan kriging approach conditional on soil map delineations and land use. *Land Degradation and Development*, 21(6), 565 - 581. <https://doi.org/10.1002/ldr.998>
- Wang, c., Li, K., Peng, S., & Wang, Y.** (2021). Estimating the spatial distribution of soil organic carbon and soil total nitrogen stocks by remote sensing methods: a case study in a forest-dominated alpine watershed, western china. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-691637/v1>
- Yang, Y., Fang, J., Ma, W., Smith, P., Mohammat, A., Wang, S., ... & Wang, W.** (2010). Soil carbon stock and its changes in northern china's grasslands from 1980s to 2000s. *Global Change Biology*, 16(11), 3036-3047. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.02123.x>
- Yokozawa, M., Shirato, Y., Sakamoto, T., Yonemura, S., Nakai, M., & Ohkura, T.** (2010). Use of the rothc model to estimate the carbon sequestration potential of organic matter application in japanese arable soils. *Soil Science & Plant Nutrition*, 56(1), 168-176. <https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2009.00422.x>
- Zimmermann, M., Leifeld, J., Schmidt, M., Smith, P., & Fuhrer, J.** (2006). Measured soil organic matter fractions can be related to pools in the rothc model. *European Journal of Soil Science*, 58(3), 658-667. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2006.00855.x>