

T.C.
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



ARDAHAN HAVZASI ÖRNEĞİNDE
ZAMANSAL-MEKANSAL KARBON VE AZOT
DİNAMİKLERİNE AİT SÜREÇ TEMELLİ MODEL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KADİR YILDIZ

BOLU, OCAK - 2020

T.C.
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



ARDAHAN HAVZASI ÖRNEĞİNDE
ZAMANSAL-MEKANSAL KARBON VE AZOT
DİNAMİKLERİNE AİT SÜREÇ TEMELLİ MODEL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KADİR YILDIZ

BOLU, OCAK - 2020

KABUL VE ONAY SAYFASI

Kadir YILDIZ tarafından hazırlanan “Ardahan Havzası Örneğinde Zamansal-Mekansal Karbon ve Azot Dinamiklerine Ait Süreç Temelli Model” adlı tez çalışması Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda 13.01.2020 tarihinde savunularak Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.




Jüri Üyeleri

Danışman
Prof. Dr. Nusret KARAKAYA
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Üye
Prof. Dr. Fatih EVRENDİLEK
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Üye
Doç. Dr. Ahmet ÇELEBİ
Sakarya Üniversitesi

İmza


.....

.....

.....

Prof. Dr. Ömer ÖZYURT 
.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

**Her zaman yanımda olan canım ailem, arkadaşlarım ve çok değerli
hocalarıma teşekkürlerimle...**

ETİK BEYAN

Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

1. Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 2. Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 3. Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 4. Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 5. Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Kadir YILDIZ



ÖZET

ARDAHAN HAVZASI ÖRNEĞİNDE ZAMANSAL-MEKANSAL KARBON VE AZOT DİNAMİKLERİNE AİT SÜREÇ TEMELLİ MODEL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KADİR YILDIZ

BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. NUSRET KARAKAYA)

BOLU, OCAK - 2020

Toprak organik karbon ve azot (TOC-N) bütçeleri; gerek birbirleri ile gerekse de ekosistemin tüm (a)biyotik bileşenleri ile sıkı sıkıya bağlıdır. Diğer bir deyişle, biyolojik, toprak ve ekosistem verimliliği ile sürdürülebilirliğinin en önemli göstergesidir. TOC-N bütçelerinin zamana ve mekâna bağlı (zamansal-mekânsal) dinamiklerinin modellenmesi geçmiş, güncel ve gelecekteki ekosistem sağlığını daha iyi anlama, izleme, tahmin etme ve yönetmede en temel basamaktır. TOC-N zamansal-mekânsal dinamikleri sadece küresel iklim değişikliği, arazi kullanımları, yönetim pratikleri ve diğer tüm beşeri baskılar arasındaki etkileşimi yansıtmakla kalmaz aynı zamanda gıda güvenliği ile de bağlantılıdır. Bu tezde; CENTURY (Parton vd., 1993) ve SOCRATES (Grace vd., 2006) model algoritmaları referans alınarak, STELLA programlama dili ile mekanistik (süreç-temelli) bir TOC-N modeli (TOCNAadolu) geliştirilmiştir. Modelin zamansal-mekânsal birimi t C-N/ha/ay'dır. Senaryo analizleri gerçekleştirilerek bu model ile Ardahan havzası TOC-N dinamiklerinin nasıl değiştiği ve hangi sürdürülebilir yönetim pratiklerinin benimsenmesi gerektiği konusunda tespitler ve öneriler yapılmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Simülasyon, Ekosistem Verimliliği, Sürdürülebilir Ekosistem Yönetimi, İklim Değişikliği, Çevresel İzleme

ABSTRACT

A PROCESS-BASED MODEL OF SPATIO-TEMPORAL DYNAMICS OF CARBON AND NITROGEN IN THE CASE OF ARDAHAN WATERSHED

MSC THESIS

KADİR YILDIZ

BOLU ABANT İZZET BAYSAL UNIVERSITY GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING

(SUPERVISOR: PROF. NUSRET KARAKAYA)

BOLU, JANUARY 2020

Not only are soil organic carbon and nitrogen (SOC-N) budgets closely coupled to one another but also to all the (a)biotic ecosystem components. In other words, they are the most significant indicator of biological, edafic and ecosystem productivity and sustainability. The modeling of the spatio-temporal dynamics of SOC-N budgets is the most basic foundation of better understanding, monitoring, predicting and managing past, present and future ecosystem health. Not only do the spatio-temporal dynamics of SOC-N reflect the interaction among global climate change, land uses, management practices, and all the other human-induced disturbances but also they are linked to food security. In this thesis; taking the CENTURY (Parton et al., 1993) and SOCRATES (Grace et al., 2006) model algorithms as the reference, a mechanistic (process-based) SOC-N model (SOCN_{Anatolia}) was developed using the STELLA programming language. The spatio-temporal unit of the model is t C-N/ha/month. Insights and recommendations as to how SOC-N dynamics changed in Ardahan watershed, and what sustainable management practices should be adopted were posed through the realization of scenario analyses with this model.

KEYWORDS: Simulation, Ecosystem Productivity, Sustainable Ecosystem Management, Climate Change, Environmental Monitoring

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	v
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ	xii
TEŞEKKÜR	xiv
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	3
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	4
2.1 Karbon Döngüsü.....	4
2.2 Azot Döngüsü.....	6
2.3 Dünya ve Türkiye’de Havza Ölçeğinde TOC-N Modelleri	8
3. MATERYAL VE YÖNTEM	19
3.1 Çalışma Bölgesinin Özellikleri	19
3.2 Metodoloji	20
3.2.1 Arazi Çalışmaları	21
3.2.2 Laboratuvar Analizleri	22
3.3 Uzaktan Algılama Verileri ve CBS İşleme Teknikleri.....	24
3.4 Modelleme Süreci ve Uygulaması	25
3.5 TOCN _{Anadolu} Modelinin Yapısı.....	25
3.6 Küresel İklim Değişikliği Senaryosu	33
3.7 Arazi Kullanımı ve Örtüsü Dönüşümü Senaryosu	34
3.8 En İyi Arazi Yönetimi Pratikleri Senaryosu.....	34
4. BULGULAR	38
4.1 Mevcut Durum Analizi.....	38
4.2 Senaryo Analizleri	49
4.2.1 Küresel İklim Değişikliği için Model Çıktıları.....	49
4.2.1.1 CO ₂ Gübrelemesi	49
4.2.1.1 Kuraklık İndisi	54
4.2.2 Arazi Kullanımı ve Örtüsü Dönüşümü Model Çıktıları	60
4.2.1 En İyi Arazi Yönetimi Pratikleri Model Çıktıları.....	66
4.2.2 Etkileşim Etkileri Model Çıktıları	66
5. TARTIŞMA	72
6. VARGILAR VE ÖNERİLER	74
7. KAYNAKLAR.....	76

8. ÖZGEÇMİŞ.....81



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Küresel karbon döngüsü (Keenan ve Williams, 2018).....	5
Şekil 2.2. Karasal ekosistemlerde karbon yutak ve kaynaklarını güdüleyen güçler (Keenan ve Williams, 2018)	6
Şekil 2.3. Ortalama NEP değerleri (Keenan ve Williams, 2018)	6
Şekil 2.4. N döngüsü ve taşınımı: N girdileri, içsel akıları ve çıktıları sırasıyla sürekli, çizgili ve noktalı ok ile gösterilmektedir (Zhu vd, 2018).	7
Şekil 2.5. TOC modellerinde ekosistem bileşenlerinin bağlaşımına ait evrilme kronolojisi: (1) biyocoğrafya modelleri, (2) biyojeofiziksel modeller ve (3) biyojeokimyasal modeller.....	11
Şekil 2.6. Bağlaşımli iklim modellerinin evrilme kronolojisi ve TOC modelleri ile bütünleşmesi.....	11
Şekil 2.7. TOC modellerinin evrilme kronolojisi	12
Şekil 3.8. Çalışma alanına ait uydu görüntüsü ve genel görünümü.....	19
Şekil 3.9. STELLA programlama dili ile inşa edilecek karasal ekosistem C-N bütçesi modelinin bileşenleri ile çıktılarına ait kavramsal harita	21
Şekil 3.10. Toprak ve bitki örneklem noktalarının CORINE 2012 AKAÖ haritası ile gösterimi.....	22
Şekil 3.11. Ön hazırlık çalışmaları tamamlanmış analize hazır toprak ve bitki örnekleri	23
Şekil 3.12. Thermo Scientific Flash 2000 CHNS-O Elementel Analizörü	23
Şekil 3.13. Toprak organik maddesi için akış diyagramı (Parton vd, 1993)	26
Şekil 3.14. SOCRATES modeline göre genel yapı (Grace vd, 2006)	26
Şekil 3.15. Modelin güdüleyici güçleri ve durum değişkenlerinin algoritması	28
Şekil 3.16. TOC _{Anadolu} modelinin genel algoritması	29
Şekil 3.17. TOC _{Anadolu} modeli STELLA görüntüsü	32
Şekil 3.18. En iyi arazi yönetimi senaryosu genel yapısı	35
Şekil 3.19. TOC-N doyumluk indisi haritası	35
Şekil 3.20. RUSLE-C indisi haritası	36
Şekil 3.21. En iyi yönetim pratikleri bakımından gelecek 50 yıl sonraki potansiyel TOK stok artışı haritası.....	37
Şekil 4.22. Aylık sıcaklık (T, °C), nispi nem (RH, %), evapotranspirasyon (ET, mm), net solar radyasyon (R _{net} , W/m ²), rüzgar hızı (WS, m/s) ve rüzgar yönü (WD, pusula derecesi) medyan değerleri değişimi	41
Şekil 4.23. Günlük evapotranspirasyon (ET, mm), sıcaklık (T, °C), nispi nem (RH, %), rüzgar hızı (WS, m/s) ve rüzgar yönü (WD, pusula derecesi) medyan değerlerinin değişimi.....	42
Şekil 4.24. 54 kareladaki AKAÖ için ölçülen (SoilGrid) ve tahmin edilen (TOC _{Anadolu}) TOC stoklarının karşılaştırılması	43
Şekil 4.25 Her bir AKAÖ sınıfı için ölçülen (SoilGrid) ve tahmin edilen (TOC _{Anadolu}) TOC stoklarının (a) ortalama ve (b) standart sapmalarının karşılaştırılması	44
Şekil 4.26. Mevcut durum model çıktılarının AKAÖ göre (a) TOC ve (b) TON stoklarının mekansal dağılım haritaları.....	48
Şekil 4.27. CO ₂ gübrelemesi model çıktılarının AKAÖ göre (a) TOC ve (b) TON stoklarının mekansal dağılım haritaları.....	53

Şekil 4.28. Kuraklık indisi model çıktılarının AKAÖ göre Kİ1 senaryosunun (a) TOC ve (b) TON ve Kİ2 senaryosunun (c) TOC ve (d) TON stoklarının mekansal dağılım haritaları	58
Şekil 4.29. Kuraklık indisi model çıktılarının AKAÖ göre Kİ3 senaryosunun (a) TOC ve (b) TON ve Kİ4 senaryosunun (c) TOC ve (d) TON stoklarının mekansal dağılım haritaları	59
Şekil 4.30. AKAÖ dönüşüm senaryo çıktılarının AKAÖ göre +10G senaryosunun (a) TOC ve (b) TON ve -10F senaryosunun (c) TOC stoklarının mekansal dağılım haritaları	64
Şekil 4.31. AKAÖ dönüşüm senaryo çıktılarının AKAÖ göre -10F senaryosunun (a) TON ve -10C senaryosunun (b) TOC ve (c) TON stoklarının mekansal dağılım haritaları	65
Şekil 4.32. En iyi yönetim pratikleri senaryo çıktılarının AKAÖ göre (a) TOC ve (b) TON stoklarının mekansal dağılım haritaları	70
Şekil 4.33. Etkileşim etkileri senaryo çıktılarının AKAÖ göre (a) TOC ve (b) TON stoklarının mekansal dağılım haritaları.....	71

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1. TOC-N modellerinin karşılaştırılması	9
Çizelge 2.2. TOC-N model tipleri.....	13
Çizelge 2.3. Literatürde yaygın olarak kullanılan TOC-N modelleri	15
Çizelge 3.4. Araştırma için kullanılan uzaktan algılama veri seti	24
Çizelge 3.5. SOCRATES modeline göre farklı AKAÖ tipleri için kullanılan NPP bölümlenme parametreleri (Grace vd, 2006)	27
Çizelge 3.6. Durum değişkenleri ve özellikleri	29
Çizelge 3.7. Akı değişkenleri ve özellikleri.....	30
Çizelge 3.8. Akı değişkenleri ve özellikleri.....	31
Çizelge 3.9. Model katsayıları	31
Çizelge 3.10. Mevcut durum ile iklim ve yönetim senaryosuna göre modelin odaklanılan çıktıları	31
Çizelge 4.11. Hatalı veriler ayıklandıktan sonra akı kulesinden (LI-7500, Licor Inc., USA) halihazırda ölçülebilen veri envanteri (saatlik).....	38
Çizelge 4.12. 31 Ekim 2018-19 Eylül 2019 arası saatlik akı kulesi verileri ile ortalama günlük ET için betimleyici istatistikler	38
Çizelge 4.13. 31 Ekim 2018-19 Eylül 2019 arası saatlik akı kulesi verileri ile ortalama günlük ET için Pearson's korelasyon (<i>r</i>) matrisi.....	39
Çizelge 4.14. Ortalama günlük ET'nin ve akı kulesi değişkenlerinin aylara göre karşılaştırılması.....	40
Çizelge 4.15. Ormanlık alanlar için mevcut durum model çıktıları	45
Çizelge 4.16. Çayır ve meralar için mevcut durum model çıktıları.....	46
Çizelge 4.17. Ekin alanları için mevcut durum model çıktıları	47
Çizelge 4.18. Ormanlık alanlar için CO ₂ gübrelemesi senaryo sonuçları	50
Çizelge 4.19. Çayır ve meralar için CO ₂ gübrelemesi senaryo sonuçları.....	51
Çizelge 4.20. Ekin alanları için CO ₂ gübrelemesi senaryo sonuçları	52
Çizelge 4.21. Ormanlık alanlar için kuraklık indisi senaryo sonuçları.....	55
Çizelge 4.22. Çayır ve meralar için kuraklık indisi senaryo sonuçları	56
Çizelge 4.23. Ekin alanları için kuraklık indisi senaryo sonuçları	57
Çizelge 4.24. Ormanlık alanlar için AKAÖ dönüşüm senaryo sonuçları.....	61
Çizelge 4.25. Çayır ve meralar için AKAÖ dönüşüm senaryo sonuçları	62
Çizelge 4.26. Ekin alanları için AKAÖ dönüşüm senaryo sonuçları	63
Çizelge 4.27. Ormanlık alanlar için en iyi yönetim pratikleri ve etkileşim etkileri senaryo sonuçları	67
Çizelge 4.28. Çayır ve meralar için en iyi yönetim pratikleri ve etkileşim etkileri senaryo sonuçları.....	68
Çizelge 4.29. Ekin alanları için en iyi yönetim pratikleri ve etkileşim etkileri senaryo sonuçları.....	69

KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ

AKAÖ	: Arazi Kullanımı ve Arazi Örtüsü
AKÖY	: Arazi Kullanımı, Örtüsü ve Yönetimi
APAR	: Soğurulan PAR
BD	: Hacim Ağırlığı
BDOC-N	: Bitki Döküntüsü Organik Karbon ve Azot Stoku
BIO	: Mikrobiyel Biyokütle
C	: Karbon
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
CF	: Taşlılık
CZO	: Kritik Bölge Gözlemevi
ÇOC-N	: Çözünmüş Organik Karbon ve Azot
D	: Beşeri ve Doğal Baskılar
DPM	: Çürüeyebilen Bitki Materyali
EVI	: Zenginleştirilmiş Vejetasyon İndisi
GPP	: Brüt Birincil Verimlilik
HUM	: Humuslaşmış Organik Madde
IOM	: Reaksiyona Girmeyen Organik Madde
LiDAR	: Yüksek Çözünürlüklü Işık Tespiti ve Mesafe Tayini
LTER	: Uzun Vadeli Ekolojik Araştırma
LUE	: Işık Kullanım Etkinliği
N	: Azot
NBP	: Net Biyom Verimliliği
NDVI	: Normalleştirilmiş Fark Vejetasyon İndisi
NEE	: Net Ekosistem CO ₂ Alışverişi
NEON	: Ulusal Ekolojik Gözlemevi
NEP	: Net Ekosistem Üretimi
NPP	: Net Birincil Üretim
PAR	: Fotosentetik Yönden Aktif Radyasyon
PET	: Potansiyel Buharlaşma
PPT	: Yağış
R_a	: Ototrofik Solunum
R_{eco}	: Ekosistem Solunumu

R_h	: Heterotrofik Solunum
RF	: İndirgeme Faktörü
RPM	: Çürümeye Dirençli Materyal
SD	: Toprak Derinliği
TOC	: Toprak Organik Karbonu
TOC-N	: Toprak Organik Karbon ve Azotu
TON	: Toprak Organik Azotu



TEŞEKKÜR

Gerek yüksek lisans eğitimim gerekse tez yazım sürecimde yardımlarını esirgemeyen danışmanım Prof. Dr. Nusret KARAKAYA'ya ve engin tecrübe ve bilgi birikimiyle bana yol gösterici olarak her zaman yanımda olan hocam Prof. Dr. Fatih EVRENDİLEK'e en içten duygularıyla teşekkür ediyorum. Her koşulda bana destek olan ailem anneme ve babama ayrıca her zor durumumda arkamda destek olan ablalarım Sibel YILDIZ, Neslihan YILDIZ ve tabii ki abim Recep YILDIZ'a desteklerinden dolayı çok teşekkür ediyorum.

Zaman zaman çekilmez birisi olmama rağmen her zaman yanımda olarak bana destek olan ve isimlerini teker teker sayamadığım tüm arkadaşlarıma ayrıca çok teşekkür ediyorum.

Bu tez TÜBİTAK tarafından desteklenen 117Y193 nolu proje kapsamında hazırlanmıştır. Bu nedenle TÜBİTAK'a destekleri için teşekkür ederim.

1. GİRİŞ

Toprak organik karbon ve azot (TOC-N) bütçeleri stokiyometrik olarak gerek birbirleri ile gerekse de ekosistemin (a)biyotik bileşenleri ile sıkı sıkıya bağlıdır. Bu sebeple, zamana ve mekâna bağlı olarak değişen (zamansal-mekânsal) TOC-N dinamikleri, ekosistem sağlığı ve verimliliğinin en önemli göstergesidir. TOC-N stok ve akılarının arkasındaki güdüleyici güçler farklı zamansal-mekânsal ölçeklerde farklı mekanizmalar olarak karşımıza çıkar (O'Rourke vd., 2015). Örneğin, mikro ölçekte, TOC-N dinamikleri; hem mineral sorpsiyon, agregasyon ve redoks koşulları gibi fizikokimyasal (abiyotik) süreçlerin (Keiluweit vd., 2017) hem de mikrobiyal madde kullanım etkinliği (Manzoni vd., 2012) ve kök faaliyeti (Keiluweit vd., 2015) gibi biyotik süreçlerin kontrolü altındadır. Makro ölçeklerde ise ana kayaç, arazi kullanımı ve yönetimi (Catoni vd., 2016), vejetasyon, topografya, erozyon (Wang vd., 2014), net birincil verimlilik, iklim faktörleri, zaman ve coğrafik konum (Koven vd., 2017) devreye girerek TOC-N dinamiklerini düzenler. Bu çalışmada, TOC-N zamansal-mekânsal dinamiklerinin modellenmesi için en uygun ölçek havza olarak benimsenmiştir. Modelleme gerçekliğin sadeleştirilerek temsil edilmesi süreci olup, kavramsal, fiziksel ve nümerik modeller olmak üzere birçok türü bulunmaktadır. Uzaktan algılama verileri, coğrafi bilgi sistemleri ile interpolasyon teknikleri ve süreç-temelli modelleme yaklaşımları; havza ölçeğinde kullanıldığı zaman; gerek mikro ve makro ölçekler arasında köprü görevi görür gerekse de TOC-N zamansal-mekânsal değişimlerinin tespitini olanaklı kılar.

Ardahan havzasının çalışma alanı olarak seçilme gerekçesi ise şunlardır. Birincisi, yükseltisi fazla olan (≥ 2000 m) ekosistemlerin yapısı (örneğin, tür zenginliği, bolluğu ve fenolojisi) ve fonksiyonu (enerji alışverişleri ve biyojeokimyasal döngüler) iklim değişikliğine (örneğin, artan hava sıcaklığı ve değişen yağış rejimine) karşı daha duyarlı olmasıdır (Elmendorf vd., 2012; Ernakovich vd., 2014). Bu ekosistemlerdeki C, N ve su döngüleri karla kaplı ve kardan arı dönemlerde belirgin desenler göstermektedir. Örneğin, büyüme sezonu boyunca birincil olarak toprak sıcaklığı ve nemine bağlı olan TOC çürüme ve ayrışma hızı ayrıca kar örtüsü süresi ve kar altındaki mikroorganizma faaliyeti ile

doğrudan korelasyon halindedir. Büyüme sezonu boyunca N alımı temel olarak bitkisel üretim ve bitki biyokütlesindeki N birikimi ile paralellik göstermektedir. Ancak, kışın N özümlemesi daha çok kar altı mikrobiyal topluluk ile ilişkilidir (Fisk vd., 2001). İkincisi, bu yüksek ekosistemler birçok aşağı havzanın kullanımı için su tedarik etmektedir. Sadece yağış ve evapotranspirasyon rejimi değişikliği veya kar örtüsü birikimi ve kaybı değil aynı zamanda arazi kullanımı, örtüsü ve yönetimi (AKÖY) değişikliği de bu ekosistemlerin su bütçesi ve kalitesini önemli derecede etkilemektedir. Örneğin, akarsu ve çaylardaki artan çözünmüş organik karbon ve azot (ÇOC-N) yükleri su kalitesi ve tedariki için önemli bir kaygı alanıdır. Artan ÇOC-N yüklerinin ana kaynağı TOC-N, çürüyen bitki döküntüleri ve erozyondur. Son olarak, Dünya’da ve özellikle Türkiye’de sucul ekosistemlerin su kalitesi ile karasal ekosistemlerin TOC-N dinamikleri arasındaki ilişkiyi kuran ve yükseltisi fazla olan ekosistemlere odaklanan havza ölçeğindeki çalışmalar yok denecek kadar azdır.

TOC-N dinamiklerinin önemi; Uzun Vadeli Ekolojik Araştırma (LTER), Kritik Böle Gözlemevi (CZO), Ulusal Ekolojik Gözlemevi (NEON) ve eddy kovaryans tekniği ile çalışan akı kulelerinin küresel platformu olan FLUXNET gibi birbirini tamamlayan gözlemsel ağların doğuşuna yol açmıştır. Farklı zamansal-mekânsal ölçeklerde ve farklı (a)biyotik hatlar boyunca veri toplayan ve paylaşan bu ağlar temel bilimsel araştırmalardan yönetim pratiklerine ve politika oluşturma süreçlerine kadar uzanan bir yelpazede önemli ve yenilikçi katkılar sunmaktadır. Örneğin, eddy kovaryans yöntemine istinaden akı kuleleri ile noktasal yerine alansal olarak net ekosistem CO₂ alışverişi ($NEE = \text{fotosentez} - R_{eco}$) ve ekosistem solunumu (R_{eco}) ölçümleri mümkün hale gelmiştir. Akı kulesi ile fotosentezin gerçekleşmediği zaman olan geceler boyunca yapılan R_{eco} ölçümlerinden ekstrapolasyon yoluyla gündüz R_{eco} tahminleri çıkarılmaktadır. Ayrıca, Yüksek Çözünürlüklü Işık Tespiti ve Mesafe Tayini (LiDAR) verileri, hiperspektral veriler ve ilgili ekosistem parametreleri kullanılarak TOC-N dinamiklerinin uzaktan algılanması teknikleri de gelişim aşamasındadır (Dutta vd., 2015; Mondal vd., 2017).

Türkiye’de süreç temelli TOC-N modellerinin kullanımı arzu edilen seviyede değildir. Hatta, ülkemize özgü mekanistik modellerin geliştirilmesi henüz yaygınlaşmamıştır. Değişen çevresel koşullar ve beşeri baskılar altında ekosistemlerin sağlığını ve sürdürülebilirliğini güvence altına almak için günümüzde

bu türlü mekanistik yaklaşımlara daha fazla ihtiyaç duyulmaktadır. Zamana ve mekâna bağlı olarak değişen ekosistem davranışlarının anlaşılması ve geleceğe dair durum tespitlerinin gerçekleştirilmesi; tahmin gücü yüksek süreç temelli modellerin oluşturulmasına dayanmaktadır. C-N döngüleri ekosistem bileşenlerinin tümünü kapsadığı için toprak veya bitki gibi bireysel bileşenler hakkında bilgi sağlamak yerine bileşenler arasındaki etkileşimi bütüncül olarak ele almaktadır. Bu bağlamda, karasal C-N stok ve akıları hava, su ve toprak kalitesine doğrudan tesir etmektedir.

1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmanın ana amaçları aşağıda sunulmaktadır;

- (1) Havza ölçeğinde karasal ekosistemlere ait TOC-N zamansal-mekânsal dinamiklerini tespit edecek süreç-temelli bir model geliştirmek;
- (2) Ardahan havzasında iki yıl süreyle gerçekleştirilen arazi çalışmaları neticesinde toplanan veriler ile modeli parameterleştirmek, kalibre etmek ve valide etmek;
- (3) Geliştirilen bu model ile Ardahan havzasındaki tüm arazi kullanımı ve arazi örtüsü (AKAÖ) için TOC-N stok ve süreçlerini tahmin etmek;
- (4) İklim değişikliği, AKAÖ dönüşümleri ve en iyi yönetim pratikleri ile ilgili senaryo analizleri gerçekleştirmektir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

2.1 Karbon Döngüsü

Küresel olarak, bitkiler her yıl atmosferdeki CO₂'nin yaklaşık 1/5'ini ($118 \pm 1.8 \text{ kg C/m}^2/\text{yıl}$) fotosentez (brüt birincil verimlilik-GPP) yoluyla C olarak bünyesine alırken ototrofik ($R_a = 60 \text{ kg C/m}^2/\text{yıl}$) ve heterotrofik ($R_h = 60 \text{ kg C/m}^2/\text{yıl}$) solunum yoluyla ($R_e = R_a + R_h$) aynı oranda CO₂ olarak atmosfere geri verir (Shao vd., 2013). Ekosferin bu şekildeki nefes alışverişi ($NEP = (GPP - R_a) - R_h = NPP - R_h = GPP - R_e$) neticesinde atmosferden CO₂'nin uzaklaştırıldığı C yutakları veya atmosfere CO₂ salımının olduğu C kaynakları bulunmaktadır (Şekil 2.1). GPP ve R_e değerleri ölçümlerden türetilmesi gerekirken, ekosistem ölçeğinde NEP ve vejetasyon ölçeğinde NPP doğrudan gözlemlenebilmektedir. Beşeri ve doğal baskılar (D) neticesiyle oluşan C kayıplarının hesaba katılmasıyla da net biyom verimliliği ($NBP = NEP - D$) tahmin edilebilmektedir. GPP'nin tahmin edilmesinde yaygın olarak kullanılan yaklaşım (2.1) eşitliğinde aşağıda sunulmaktadır:

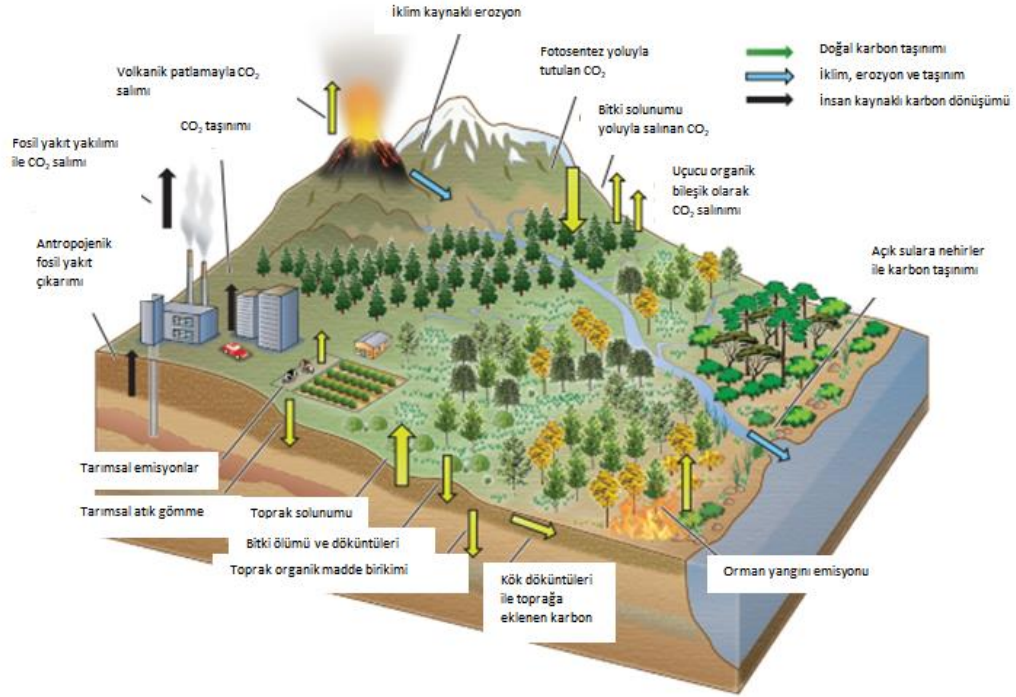
$$GPP = \epsilon_{\text{maks}} (\text{işık kullanım etkinliği, LUE}) * APAR (\text{soğrulan PAR}) * RF \quad (2.1)$$

PAR = fotosentetik yönden aktif radyasyon ($\text{MJ/m}^2/\text{gün veya ay}$); $\epsilon_{\text{maks}} =$ LUE = çevresel stresler hesaba katılmadan soğrulan birim PAR başına sabitlenen potansiyel C ($\text{g C/m}^2/\text{MJ APAR}$); RF = indirgeme faktörü = hava sıcaklığı ve nem gibi çevresel stresleri temsil eden ve 0 ile 1 arasında değişen skalar (sayıl) büyüklüktür.

$$APAR = PAR \times fPAR \quad (2.2)$$

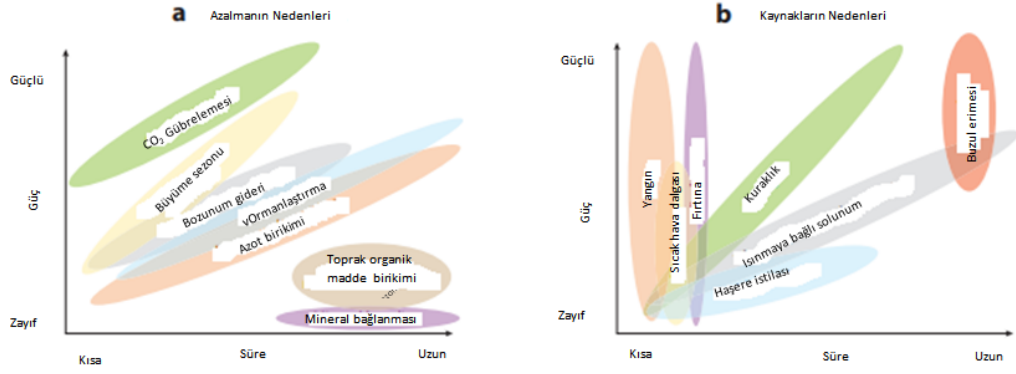
PAR'ın soğrulan kısmı (fPAR); zenginleştirilmiş vejetasyon indisinin (EVI) veya NDVI (normalleştirilmiş fark vejetasyon indisi)'nin doğrusal bir fonksiyonu olarak aşağıdaki eşitlik (2.3 ve 2.4) gibi hesaplanmaktadır (Zhang vd, 2017).

$$fPAR = (EVI - 0.1) \times 1.25; \text{ veya} \quad (2.3)$$

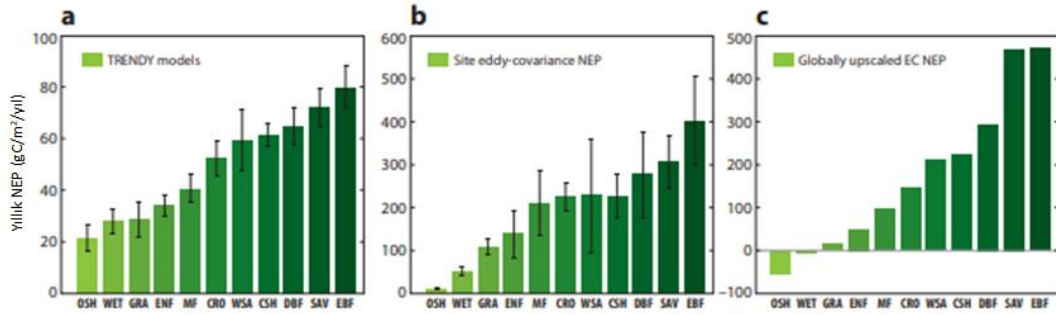


Şekil 2.1. Küresel karbon döngüsü (Keenan ve Williams, 2018)

CO₂ gübrelemesi, vejetasyon büyüme sezonunun uzaması, progresif süksesyon, azot çökeltileri, ormanlaştırma, TOC içeriğini zenginleştirici pratikler ve mineral bağlar karbon yutaklarını iyileştirmektedir. Yangın, sıcak hava dalgaları, kuraklık, şiddetli rüzgarın tahribatı, hava sıcaklığı artışı ve salgın hastalıkların yayılımı ise karbon kaynaklarını kuvvetlendirmektedir. Karasal ekosistemlerde karbon yutak ve kaynaklarını güdüleyen bu güçler (Şekil 2.2.) etkileri ve süreleri bakımından farklılık göstermektedir. Dünyanın büyük biyomlarına göre ortalama NEP (g C/m²/yıl) değerleri Şekil 2.3.'de sunulmaktadır.



Şekil 2.2. Karasal ekosistemlerde karbon yutak ve kaynaklarını güdüleyen güçler (Keenan ve Williams, 2018)



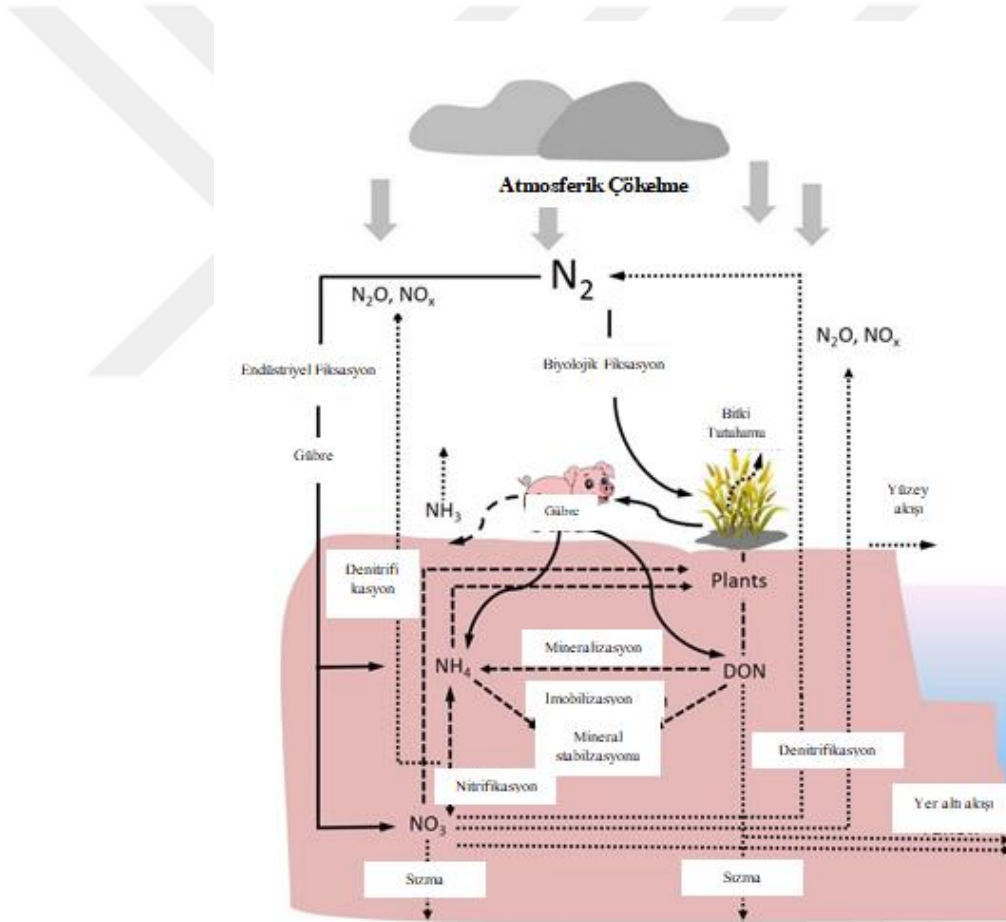
Şekil 2.3. Ortalama NEP değerleri (Keenan ve Williams, 2018) (Küresel olarak majör bitki fonksiyonel tipleri (PFT) için (a) TRENDY model karşılaştırma projesine, (b) FLUXNET2015 eddy-kovaryans veri setine ve (c) ampirik olarak yukarı ölçeklendirilen veri ürününe göre tahmin edilen net ekosistem verimliliği (NEP). CRO: ekin alanları; CSH: kapalılığı yüksek maki/funda; DBF: yaprak döken geniş yapraklı orman; EBF: herdem yeşil geniş yapraklı orman; ENF: herdem yeşil iğne yapraklı orman; GRA: çayır mer'a; MF: karışık orman; OSH: kapalılığı düşük maki/funda; SAV: savana; WET: sulakalan ve turba; WSA: odunsu vejetasyona sahip savana)

2.2 Azot Döngüsü

N döngüsü en önemli biyojeokimyasal süreçlerden birisidir çünkü karasal ve sucul (tatlısu ve tuzlusu) ekosistemlerde biyolojik verimliliğin sınırlarını tayin etmektedir (Elser vd., 2007). Örneğin, sentetik N gübrelerin kullanımı ile önemli bir tarımsal üretim artışı olmuştur (Erisman vd., 2008). Ancak, aşırı N gübrelemesi aynı zamanda büyük miktarlarda (in)organik N'nin tarımsal alanlardan komşu ekosistemlere transferine ve ötrafikasyon, asit çökeltileri, radyatif baskılama,

stratosferik ozon tabakası incelmesi, troposferik ozon üretimi ve $< 2.5 \mu\text{m}$ partiküller madde oluşumu gibi çeşitli çevresel sorunlara yol açmaktadır (Denk vd., 2017).

Gübreleme ve atmosferik çökelti ekosistemlere dışsal olarak inorganik N girdisi sağlar (Şekil 2.4). Ancak, bitki alımı ve çevresel kayıplar için en büyük inorganik N kaynağı genellikle ayrışan toprak organik N (TON) stokudur (Poffenbarger vd., 2018). TON'nin ayrışması neticesinde yıllık bazda üretilen NH_4^+ ve NO_3^- çıktıları; atmosfer çökeltisi, gübreleme veya biyolojik N sabitleme yoluyla kazanılan NH_4^+ ve NO_3^- girdilerini çok fazla geçmektedir (Osterholz vd., 2017). TON ayrışımını kontrol eden üç anahtar faktör; TOC-N miktarı ve kimyası, toprak sıcaklığı ve toprak su içeriğidir (Probert vd., 1998).



Şekil 2.4. N döngüsü ve taşınımı: N girdileri, içsel akıları ve çıktıları sırasıyla sürekli, çizgili ve noktalı ok ile gösterilmektedir (Zhu vd., 2018).

İnorganik N depo ve akılarına iklim ve toprak özellikleri, eğim, bakı, yükselti ve AKÖY arasındaki etkileşimler de etki eder. N'yi dönüştüren topraktaki biyolojik

süreçler, mikroorganizmaların enerji ve besin maddesi gereksinimi ile alakalıdır. Topraktaki N ayrışımı nihayetinde inorganik $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ üretimine yol açar ve (un)aerobik koşullar altında toprak biyotası tarafından gerçekleştirilen geniş kapsamlı bir süreçtir (Schimel ve Schaeffer, 2012). Aksine, inorganik N oksidasyonu ve indirgenmesi sırasıyla aerobik ve anaerobik koşullara özel daha dar kapsamlı süreçlerdir. Nitrifikasyon çoğunlukla aerobik koşullar altında küçük bir bakteri ve arke grubunca gerçekleştirilir ve böylece NO_3^- üretilir. NO_3^- kolaylıkla topraktan yıkanarak yeraltı ve yerüstü sularına karışabilir, bitkilerce alınabilir veya denitrifiye edicilerce indirgenirler. Denitrifikasyon ise anaerobik bir süreçtir ve NO_3^- N_2 'ye indirgenir. Denitrifikasyon ile atmosfere NO_x salımları olur ve N_2O bunlardan bir tanesi olup hem ozon tabakasını incelten bir gazdır hem de sera gazıdır. NH_4^+ , negatif yüklü kil ve humus yüzeylerinde tutulduğu için yüzey akışları kayıplarının ana kaynağıdır. NH_3 gazı salımı kuru, sıcak ve yüksek pH'lı topraklarda ve NH_4^+ 'ün yüzeyde biriktiği yerlerde önemli bir N kaybı yoludur (Tian vd., 2018).

N'nin ekosistemlerde alıkonulmasını ve komşu ekosistemlere kaybedilmesinin önlenmesini bitki ve mikroorganizmalar tarafından N alımı ile dönüşümleri sağlar. Bitkilerin kılcal kökleri organik (peptitler ve amino asitler) ve inorganik (NO_3^- ve NH_4^+) formlarda N'yi alır. Bu alım çoğunlukla iki mekanizma ile gerçekleşir. İlki, N bitki terlemesi sırasında toprak solüsyonu vasıtasıyla alınır (Engels ve Marschner, 1995). İkincisi, N bitkinin kendisince oluşturduğu konsantrasyon farkı ile güdülenen difüzyon bir akı yoluyla alınır (Larcher, 1995). Bitkiler ve toprak mikroorganizmaları bu N'yi geniş bir aralıkta yer alan organik bileşiklere dönüştürür. Akabinde, bitki ve mikrobiyal döküntü içindeki N mineral partiküllerin üzerinde veya toprak agregatlarının içinde stabil durumda kalabilir ve böylece bu N; toprak N havuzunun ortalama ikamet zamanını oldukça aşan uzun ikamet sürelerine erişir (Mueller ve Koegel-Knabner, 2009).

2.3 Dünya ve Türkiye’de Havza Ölçeğinde TOC-N Modelleri

TOC-N dinamiklerinin modellenmesi konusunda üç ana yaklaşım bulunmaktadır; (1) süreç temelli (mekanistik veya matematiksel), (2) veri güdümlü (ampirik veya istatistiksel) ve (3) hibrid modeller (Çizelge 2.1). Süreç temelli TOC-

N modelleri; biyojeokimyasal teoriler gereğince diferansiyel denklemlere ve integrallere dayanan sadeleştirilmiş temsillerdir. Bu modellerin karakteristik özelliği güdüleyici güçler, akı ve stok değişkenleri ve geribildirim çevrimlerine sahip olmalarıdır (Wali vd., 1999). Ancak, veri güdümlü modellerin geliştirilmesi; adından anlaşılacağı üzere veri kümesi mevcudiyetine bağlı olup, açıklayıcı değişkenler ile yanıt değişkenleri arasındaki bilinmeyen ilişkilerin tespitine dayalıdır. Bu istatistiksel yaklaşım da kendi içinde üç kategoriye ayrılır; (1) klasik istatistiksel (örneğin, regresyon) modeller, (2) jeoistatistiksel (örneğin, eş-krigleme) modeller ve (3) yapay zekâ (örneğin, yapay sinir ağları) ve makine öğrenme (örneğin, rassal ormanlar) algoritmaları. Hibrid modeller ise bu iki ana yaklaşımı bütünleştirir. Bu üç ana yöntem deterministik veya stokastik (olasılıksal) çıktılar üretebilir. Deterministik modeller; belirli başlangıç koşullarından her zaman aynı sonuçların üretildiği; bir başka deyişle, içinde rassallık (olasılıksal durumlar) barındırmayan modellerdir. Stokastik modeller ise sonuçların tek bir değer ile değil olasılıksal olarak farklı değerler aralığı ile ifade edildiği modellerdir. Deterministik modellere stokastik (olasılıksal) özellik sonradan da kazandırılabilir.

Çizelge 2.1. TOC-N modellerinin karşılaştırılması

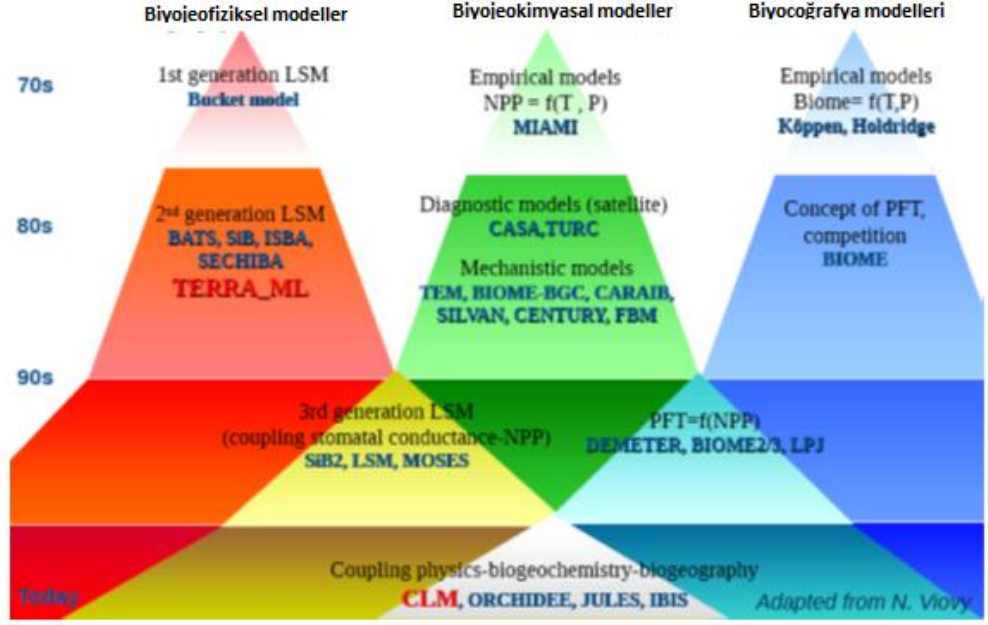
Süreç temelli TOC-N modelleri	Veri güdümlü TOC-N modelleri
RothC, CENTURY, DNDC, EPIC, Yasso, BIOME-BGC, TEM, SOCRATES, CASA	İstatistiksel modeller Yapay sinir ağları Bulanık mantık modelleri (FIS) Yapay zekâ ve makine öğrenme İnterpolasyon/ölçeklendirme teknikleri Optimizasyon teknikleri (MAHP, bulanık AHP, çoklu kriter tabanlı karar destek sistemleri)

TOC-N modellerinin diğer sınıflandırma kriterleri aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir;

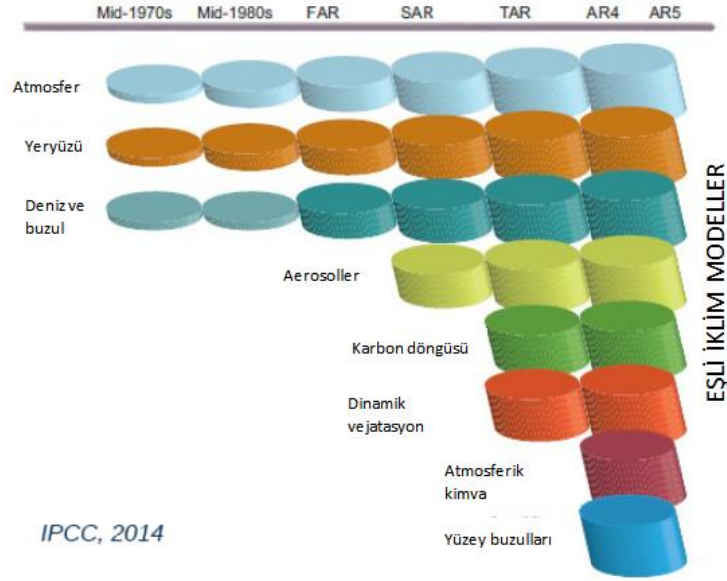
- (1) Dinamiklik ve çözünürlük: Dinamiklik zamansal, mekânsal veya hem mekânsal hem de zamansal (mekânsal-zamansal) açıdan değişimlerin belirli sıklıklar ile takip edildiği modelleri ifade eder. Dinamik TOC-N modelleri, kararlı hal veya denge koşullarının dışındaki durum geçişlerini kestirme imkânına sahiptir. Dinamik olmayan yani zamansal veya mekânsal açıdan statik TOC-N modelleri de mevcuttur. Statik modeller genellikle denge veya kararlı hal koşullarını ifade etmekte kullanılır. Örneğin, Holdridge (1917), Köppen (1936), Box (1981) ve Prentice ve ark. (1992) iklim-vegetasyon

(biyom) sınıflandırma sistemleri bu gruba örnek verilebilir. Parsel, yerel, bölgesel, ülkesel, kıtasal ve küresel ölçekler; modellerin mekânsal ölçekteki derecelendirmesini gösterir. Saat, gün, hafta, ay ve yıl mertebeleri ise TOC-N modellerinin zamansal çözünürlüğünü gösterir. Uzaktan algılama (UA) ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS) tekniklerinin gelişimi ile birlikte değişim tespitinin mekânsal-zamansal çözünürlüğü önemli derecede iyileşmiştir.

(2) Ekosistem bileşenleri: Göz önünde bulundurduğu ekosistem bileşenlerine göre TOC-N modelleri üç sınıfta toplanır; (1) biyocoğrafya, (2) biyojeofiziksel veya (3) biyojeokimyasal modeller (Şekil 2.5). Biyocoğrafya modelleri potansiyel olarak iklim-vegetasyon sınıflandırmasını ve bu biyomların küresel veya makro ölçekte coğrafi dağılımlarını temsil eden modellerdir. Bu modellerin ana odak noktası “ne nerede yaşar” sorusunun yanıtını aramasıdır. Biyocoğrafya modelleri; ekofizyolojik ve kural tabanlı hale dönüştürülmüş ve arazinin fiziksel yapısını, arazi kullanımı ve örtüsü (AKAÖ) değişikliğini ve iklim sistemleri özelliklerini de yansıtabilecek şekilde geliştirilerek biyojeofiziksel modeller elde edilmiştir. Dinamik küresel vegetasyon modelleri (DGVMs) ve biyosfer-atmosfer transfer şema (BATS) modelleri bu model sınıfına örnektir. Yeni nesil biyojeofiziksel modellere örnek olarak MAPSS (Atmosfer-Bitki-Toprak Haritalama Sistemi) (Neilson 1995), BIOME3 (Haxeltine ve Prentice 1996) ve CLM4.5 (Thornton 2010) verilebilir. Biyojeokimyasal modeller ise diğer modellerin aksine biyojeokimyasal döngülerin (hidrolojik döngü, C, N, S ve P döngüleri) birlikte hareketine üzerine odaklanmaktadır. Bu tip modeller genellikle “Toprak-Su-Atmosfer-Vejetasyon” veya “ekosistem” modelleri” olarak da adlandırılmaktadır ve ana güdüleyici değişkenleri Genel Sirkülasyon Modelleri (GCMs) gibi iklim sistem modellerinden ve CLM gibi yer sistem modellerinden almaktadır (Şekil 2.7).



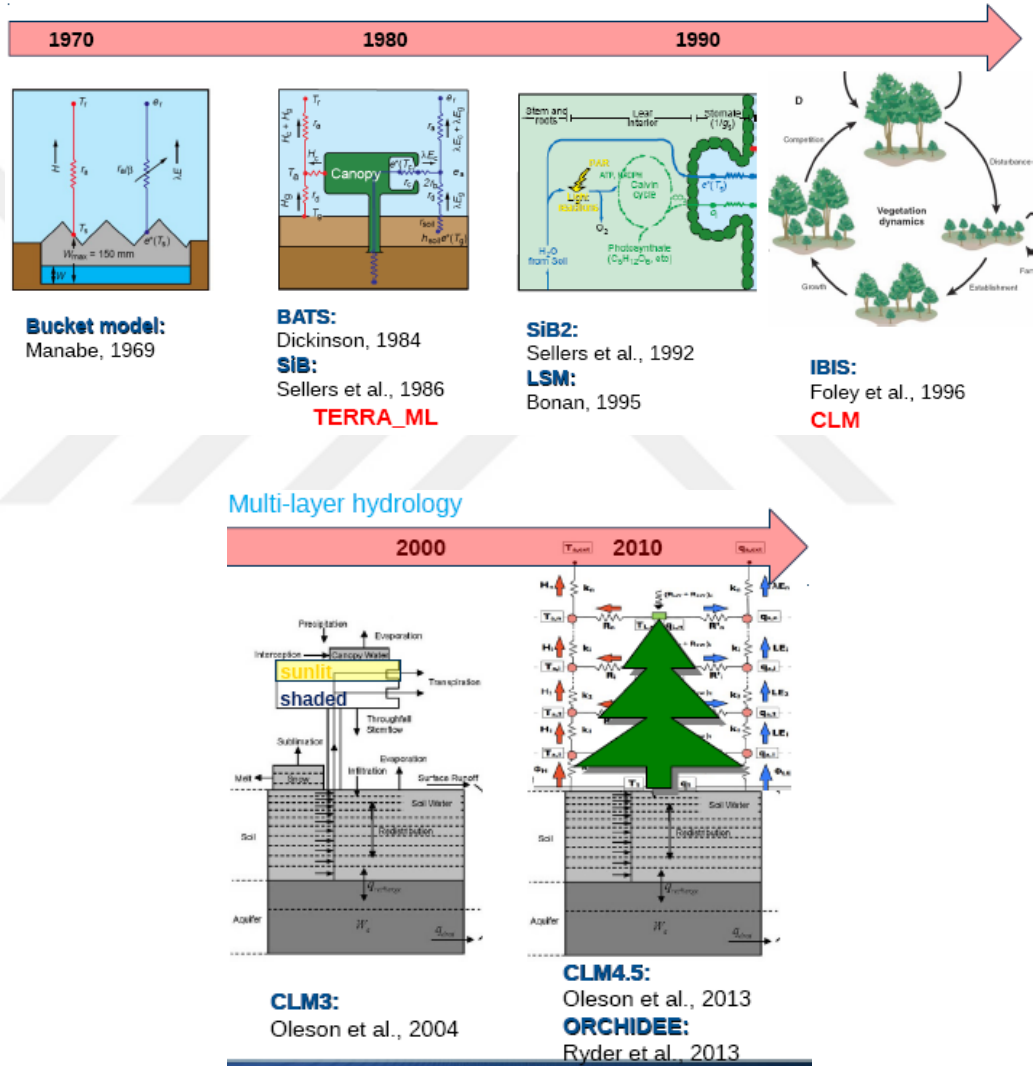
Şekil 2.5. TOC modellerinde ekosistem bileşenlerinin bağlaşıma ait evrilme kronolojisi: (1) biyocoğrafya modelleri, (2) biyojeofiziksel modeller ve (3) biyojeokimyasal modeller



Şekil 2.6. Bağlaşımlı iklim modellerinin evrilme kronolojisi ve TOC modelleri ile bütünleşmesi

- (3) Temsiliyette gerçeklik: Süreç temelli modeller ekosistem kompartmanları, çevre sorunları ve beşeri yönetim pratikleri arasındaki ilişkileri yansıtılabildiği ölçüde yersel gerçekliği temsil edebilmektedir. TOC-N havuzu/deposu sayısına göre modeller tek, iki veya çok bölmeli TOC-N modelleri olarak adlandırılmaktadır. Doğrusal modellerden doğrusal olmayan modellere geçiş

ile gerçekliğin temsil edilmiş derecesi artmaktadır. IPCC raporlarında önerilen kademe 1 gibi muhasebe, defter tutma veya bütçe yöntemleri bir başka nicelleştirme aracı olup, etkileşim etkilerini ve sistem dinamiği davranışlarını içermemektedir. Aynı şekilde, kova modeli ile TOC modellerinde eşik değerlerin üstündeki toprak suyunun yatay ve dikey hareketi basitleştirilmektedir. Ancak, bazı modeller toprak suyu dengesini Darcy kanunu gibi daha karmaşık yöntemler benimseyerek simüle eder (bkz. Şekil 2.6.).



Şekil 2.7. TOC modellerinin evrim kronolojisi

- (4) Kullanım amacı: Genellikle, TOC-N modelleri üç ana amaca hizmet etmek için geliştirilir; (1) daha iyi bir açıklama ve anlayış geliştirmek için, (2) daha iyi tahminlerde/kestirimlerde bulunmak için ve (3) karar destek sistemleri için. Karar destek sistemleri; TOC-N'nin sürdürülebilir yönetimine yönelik

uzmanları, yerel paydaşları ve karar vericileri uzlaştırmayı; bir başka deyişle, kamu politikaları, bilim ve halk arasındaki köprüyü oluşturmayı hedeflemektedir. Karar destek sistemlerinde genellikle bulanık mantık (FL) analitik hiyerarşi süreci (AHP) gibi optimizasyon teknikleri kullanılmaktadır.

Süreç temelli TOC-N modellerinin ortak özellikleri aşağıda özetlenmiştir;

- (1) Belirli toprak derinliğindeki TOC-N'nin, ikamet süresi, yenilenme hızı ve çürüme hızı bakımından az çok homojen olan farklı havuzlara (stoklara) bölünmesi ve tahsisi (örneğin, aktif, yavaş ve pasif TOC-N stoklarına). Örneğin, Century (Parton vd., 1993) ve EPIC (Izaurralde vd., 2006) modelleri, TOC-N stokunu aktif, yavaş ve pasif olmak üzere üç havuza ayırmaktadır. Çürükçül organizmalar aktif C-N havuzunda bulunurken, diğer kompartımanlar döküntülerin yüzlerce ve binlerce yıldaki transformasyonlarını içermektedir. Rothamsted modelinde ise (Coleman ve Jenkinson 1999), döküntülerin de dâhil edildiği TOC; RPM (çürümeye dirençli materyal), DPM (çürüyebilen bitki materyali), BIO (mikrobiyel biyokütle), HUM (humuslaşmış organik madde) ve IOM (reaksiyona girmeyen organik madde) olmak üzere beş depodan oluşmaktadır.
- (2) Tahmin doğruluğu, hesaplama kompleksliği ve zamansal-mekânsal temsiliyet arasındaki ödünlemeye istinaden model çözünürlüğünün belirlenmesi. Örneğin, TOC-N modelleri kompartıman sayıları, girdi ve çıktılarının zamansal ve mekânsal ölçekleri, deterministik veya stokastik oluşları ve ampirik veya süreç temelli oluşları gibi farklı kriterler bakımından ilgili literatürde sınıflandırılmıştır (bkz. Çizelge 2.1).

Çizelge 2.2. TOC-N model tipleri

Model tipi	Model ismi	Stok çürüme hız katsayısı (k, yıl ⁻¹)	TOM yenilenme zamanına tesir eden faktörler	Kaynakça
Sürekli modeller	Q-Soil	TOM	Biyo, N, DK	Bosatta ve Ågren (1991)
Tekli kompartıman modelleri	NAM SOM	TOM	Su, T, Kil, Ekin	Ryzhova (1993)
Çoklu kompartıman modelleri-ayrık SOM	APSIM	BIOM, HUM, INERT-C	Su, T, pH, N, Derinlik	McCown vd., (1996)

Çizelge 2.2. (devam)

	Candy	Aktif TOM, 0.14; Stabil TOM, 0.05; İnert TOM	Su, T, Kil, N	Franko vd., (1995)
	DAISY	SMB1, 0.36; SMB2, 3.6; TOM1, 0.001; TOM2, 0.05; TOM0, 0	Su, T, Kil, N	Jensen vd., (1994)
	RothC	Mikrobiyel biyokütle, 0.66; Humuslaşmış TOM, 0.02; IOM, 0.00002	Su, T, Kil, Ekin	Coleman ve Jenkinson (1996)
Çoklu kompartıman modelleri- birleşik SOM	ANIMO	Kök döküntüleri, 36; çözülmüş TOM, 2.9; Stabil humus, 0.2	Su, T, pH, N, O ₂	Rijtema ve Kroes (1991)
	CENTURY	Yüzey mikrobiyel biyokütle, 6.0; Toprak mikrobiyel biyokütle, 7.3; Yavaş TOM, 0.2; Pasif TOM, 0.0045	Su, T, Kil, pH, N, TB, DK, L	Parton vd., (1987)
	Chenfang Lin Model	Kolay çürüeyebilen; Dirençli çürüeyebilen; Çürüeyebilen TOM; Aktif biyokütle; İnaktif biyokütle; Hümkik	Su, T, Biyo	Lin vd., (1987)
	DNDC	Kolay çürüeyebilen mikrobiyel biyokütle, 120; Dirençli çürüeyebilen mikrobiyel biyokütle, 15; Kolay çürüeyebilen hümadlar, 58; Dirençli çürüeyebilen hümadlar, 2.2; Pasif humus	Su, T, Kil, Sürüm	Li vd., (1994a,b)
	DSSAT	Taze TOM I, 0.2; Taze TOM II, 0.05; Taze TOM III, 0.0095; Humus, 8.3×10^{-5}	Su, T, N, Kil	Hoogenboom vd., (1994)
	D3R	Hızlı çürüeyebilen; Yavaş çürüeyebilen	Ekin, N, T, DK, Sürüm	Douglas ve Rickman (1992)
	Ecosys	Çözünabilir TOM; Adsorbe edilen TOM; Mikrobiyel TOM; Mikrobiyel döküntüleri; Aktif TOM; Partiküler TOM; Acetate; Metan	Su, T, Kil, Ekin, N, O ₂ , DBM	Grant, (1995)
	EPIC	Aktif TOM; Stabil TOM	Su, T, CEC, Kil, pH, Ekin, DBM	Williams ve Renard (1985)
	ForClim-D	Hızlı humus, Yavaş Humus	T, Su	Perruchoud, (1996)
	FERT	Mikrobiyel biyokütle; Humus	Su, T, pH, Ekin, N	Perruchoud, (1996)
	GENDEC	Canlı mikrobiyota; Kolay çürüeyebilen (labile) ölü mikrobiyota, 73; Zor çürüeyebilen (recalcitrant) ölü mikrobiyota, 0.36	Su, T, N	Moorhead ve Reynolds (1991)
	Hurley Pasture / ITE Forest	Biyokütle; Ölü TOM	Su, T, N	Thornley ve Cannell (1994)
	ICBM	Genç TOM, 0.6; Yaşlı TOM, 0.13	Tek parametre ile kullanıcı tanımlı	Andrén ve Kätterer (1997)
	KLIMAT- SOIL-YIELD	Hızlıca çürüyen TOM; Yavaşca çürüyen TOM; Canlı TOM; Yaşlı TOM1; Taze TOM; Yaşlı TOM2	Su, T, pH, C/N, Ekin	Sirotenko, (1991)
	NCSOIL	Havuz I, 120; Havuz I, 15; Havuz II, 2.2; Havuz II, 58; Havuz III, <0.04	Su, T, Kil, pH, N	Molina vd., (1983)
	O'Leary Model	Taze TOM, 5.1; Mikrobiyel biyokütle, 1.4; Stabil humus, 0.014	Su, T, Kil, N, Sürüm, DK	O'Leary, (1994)
	SUNDIAL	Mikrobiyel biyokütle, 0.66; Humus, 0.21	Su, T, Kil, DK	Smith vd., (1995)
	VOYONS	Aktif TOM, 7.3; Yapısal TOM, 4-5; Yavaş TOM, 0.2; Pasif TOM, 0.0067	Su, T, Kil, Derinlik	André vd., (1992)
	Wave	Toprak döküntüleri; Toprak organik gübre; Toprak humusu, 0.025-0.36	Su, T, N, Derinlik	Vanclouster vd., (1992)

Su = toprak su içeriği, T = sıcaklık, pH = pH, N = azot, O₂ = toprak oksijen içeriği, Kil = toprak kil içeriği, Biyo =biyokütle, Sürüm = toprak işleme faktörleri, Ekin = ekin örtüsü/büyüme periyodu, DK = döküntü kalitesi/miktarı, CEC = katyon değişim kapasitesi, DBM = diğer besin maddeleri, C/N = C/N oranı, TB = toprak bünyesi, L = lignin içeriği, Derinlik = toprak derinliği.

Literatürde şu ana kadar yayınlanmış 90 modelin model ismine göre alfabetik listesi ve kaynakça bilgileri (Campbell ve Paustian 2015) çizelge 2.2’de sunulmaktadır (tekerrürlü model isimlerinden en güncel olanın kaynağı verilmiştir). Literatürde yaygın olarak kullanılan TOC-N modelleri derlenmiş ve Çizelge 2.3’de sunulmuştur.

Çizelge 2.3. Literatürde yaygın olarak kullanılan TOC-N modelleri

Kaynakça	Model ismi
(Schwinning ve Parsons, 1996)	8SV
(Bunnell ve Scoullar, 1975)	ABISKO II
(Saffih-Hdadi ve Mary, 2008)	AMG
(Rijtema ve Kroes, 1991)	ANIMO
(McCown vd., 1996)	APSIM
(Zelenev vd., 2006)	BACWAVE-WEB
(Franko vd., 1995)	Candy
(Garnier vd., 2001)	CANTIS
(d’Annunzio vd., 2008)	CEM
(Parton vd., 1993)	CENTURY
(Kirschbaum ve Paul, 2002)	CenW
(Godwin ve Jones, 1991)	CERES
(Lin vd., 1987)	Chenfang Lin
(Kuka vd., 2007)	CIPS
(Petersen vd., 2005)	CN-SIM
(Rosenbloom vd., 2001)	CREEP
(Douglas ve Rickman, 1992)	D3R
(Hansen vd., 1991)	DAISY
(Del Grosso vd., 2001)	DAYCENT
(Foley, 1995)	DEMETER
(Li vd., 2000)	DNDC
(Currie ve Aber, 1997)	DocMod
(Hoogenboom vd., 1994)	DSSAT
(Michalzik vd., 2003)	DyDOC
(Grant, 2001)	Ecosys
(Hunt, 1977/ Reuss ve Innis, 1977)	ELM
(Allison, 2005)	EnzModel
(Williams vd., 1984)	EPIC
(Kindermann vd., 1993)	FBM
(Kan ve Kan, 1991)	FERT
(Zhang vd., 2007)	FLDM
(Mary vd., 1998)	FLUAZ
(Perruchoud, 1996)	ForClim-D
(Running ve Gower, 1991)	FOREST-BGC
(McMurtrie vd., 2001)	G’DAY
(Moorhead ve Sinsabaugh, 2006)	GDM
(Hunt vd., 1991)	GEM
(Moorhead ve Reynolds, 1991)	GENDEC
(Shevstova ve Mikhailov, 1992)	Humus balance
(Thornley ve Verberne, 1989)	Hurley
(Friend vd., 1997)	Hybrid

Çizelge 2.3. (devam)

(Liu vd., 2005)	IBIS
(Kätterer ve André, 2001)	ICBM
(Whitehead vd., 1998)	INCA
(Ginovart vd., 2005)	INDISIM-S
(Pastor ve Post, 1986)	JABOWA
(Sirotenko 1991)	KLIMAT-SOIL, YIELD
(Acutis vd., 2000)	LEACHN
(Sitch vd., 2003)	LPJ
(McCaskill ve Blair, 1990)	McCaskill and Blair
(Sinsabaugh ve Moorhead, 1994)	MEAD
(Masse vd., 2007)	MIOR
(Pansu vd., 2009)	MOMOS-6
(Whitmore, 1995)	MOTOR
(Ryzhova, 1993)	NAM SOM
(Hadas vd., 1998)	NCSOIL
(Ingwersen vd., 2008)	NICA
(VanDam vd., 1997)	NICCE
(Birkinshaw ve Ewen, 2000)	NITSSHETRAN
(Shaffer vd., 1991)	NLEAP
(O'Brien, 1986)	O'Brien's
(O'Leary, 1994)	O'Leary
(Seligman ve van Keulen, 1981)	PAPRAN
(Frolking vd., 2001)	PDM
(McGill vd., 1981)	PHOENIX
(Patten, 1972)	PWNEE
(Bosatta ve Agren, 1996)	Q-model
(Gusman ve Marino, 1999)	RISK-N
(Jenkinson ve Coleman, 2008)	Roth PC-1 (RothPC-1)
(Jenkinson vd., 1990)	Rothamsted
(Panikov ve Sizova, 1996)	SCM
(Grace ve Ladd., 1995)	SOCRATES
(Korsaeth vd., 2001)	SOILN-NO
(Gignoux vd., 2001)	SOMKO
(Chertov ve Komarov, 1997)	SOMM
(Wu vd., 2007)	SPACSYS
(Malamoud vd., 2009)	Struc-C
(Bradbury vd., 1993)	SUNDIAL
(Pansu ve Thuries, 2003)	TAO
(Luo ve Reynolds, 1999)	TCS
(Neff ve Asner, 2001)	TerraFlux
(Maggi vd., 2008)	TOUGHREACTN
(Currie, 2003)	TRACE
(Aber vd., 1991)	VEGIE
(Verberne vd., 1990)	Verberne
(André vd., 1994)	VOYONS
(Vanclooster vd., 1992)	Wave
(Huwe ve Totsche, 1995)	WHNSIM
(Liski vd., 2005)	Yasso

Günümüzde uzaktan algılama (uydu görüntüleri ve hava fotoğrafları) tekniklerindeki ve coğrafi bilgi sistemlerindeki (CBS) ilerlemeler TOC-N modellerinin zamana ve mekâna bağlı dinamiklerinin anlaşılması ve tahmin edilmesi konularında önemli bir imkân sunmaktadır. Örneğin, NCAR LSM (Land Surface

Model) (Bonan 1996) ve CASA (Carnegie–Ames–Stanford Approach) (Randerson vd, 1997) biyojeokimyasal modellerine dayanarak CSM (Doney vd, 2006) modeli bu bağlamda geliştirilmiştir. Bu modellerin inşası ve uygulama süreci ardışık şu aşamalardan oluşur;

- (1) Kavramsal haritanın oluşturulması (birikimlerin, süreçlerin ve geribildirimlerin grafiksel olarak görselleştirilmesi)
- (2) Parametrelendirme (parametre ve başlangıç değerlerinin tahmini),
- (3) Verifikasyon (iç mantık, birim uyumluluğu ve çözünürlük kontrolü ve tutarlılığı),
- (4) Kalibrasyon (gereçliğin daha iyi temsili için parametre değerlerinin ince ayarı),
- (5) Validasyon (geçerlilik doğrulaması) (tahminler ile ölçümler arasındaki örtüşme),
- (6) Belirsizlik analizi (sistemik ve rassal hataların nicelleştirilmesi),
- (7) Hassasiyet analizi (nispi değişken öneminin sırlanması ve yanıt değişkenine karşı hassasiyeti) ve
- (8) Ne-olursa-ne-olur senaryo analizleri (iyileştirmeye yönelik alternatif geleceklerin karşılaştırılması ve seçilmesi).

Her model yaklaşımında olduğu gibi, halihazırda bulunan veriler, veri kalitesi, sadelik yasası (model doğruluğunu maksimize edecek şekilde minimum girdi verisinin kullanımı) ve zamansal-mekansal çözünürlük; mekanistik TOC-N modellerinin temel bileşenleridir. TOC-N modellerinin mekânsal ölçekleri m^2 'den km^2 'ye zamansal ölçekleri günlükten yıllığa değişebilmektedir. Bu modellerin ana veri kaynaklarını basılı yayımlar, arazi çalışmaları, yersel sensörler (örneğin, meteoroloji istasyonları, eddy kovaryans sensörleri ve gaz odacıkları) ve uzaktan algılama teknolojileri oluşturmaktadır. Ayrıca, ulusal envanterler ve veri bankaları ile uluslararası veri tabanları (örneğin, CORINE, WorldClim, RCPs, BIOCLIM, SoilGrid-250, SRTM ve uydu ile radar görüntüleri); modelleme faaliyetlerine mekân ve zaman serileri olarak veri tedarik etmektedir.

Yakinen birbiri ile bağlantılı biyojeofiziksel, biyojeokimyasal ve biyocoğrafik faktörler göz önünde tutulduğunda, CO₂ gübrelemesi, sıcaklık artışı, N çökeltisi, uç meteorolojik olaylar ve yönetim pratikleri arasındaki etkileşimlerin;

TOC-N ve küresel C bütçe dengesi üzerine etkileri konusunda mekanistik bir anlayışın tesisinde halen önemli eksiklerimiz bulunmaktadır (Le Quere vd, 2018). Kamu politikası, bilim ve kurumlar arasındaki köprüyü oluşturmak; geniş katımlı paydaş topluluğun, TOC-N yutak ve kaynak ekosistemlerinin yerelden küresel ölçeğe nasıl izleneceği ve yönetileceği hakkındaki karar verme süreci işbirliği, eşgüdüm ve şeffaflık gerektirir. Ayrıca, arazi ve laboratuvar ölçümlerindeki standardizasyon, veri paylaşan ve üreten ağların küreselleşmesi ve periyodik güncellenmesi, uzun vadeli izleme yapan deneysel istasyonlarının fonlanması ve kurumsal ve sosyal kapasitelerin zenginleştirilmesi; sürdürülebilirliği güvence altına alacak en birincil organizasyonel düzenlemelerden bir kaçıdır.

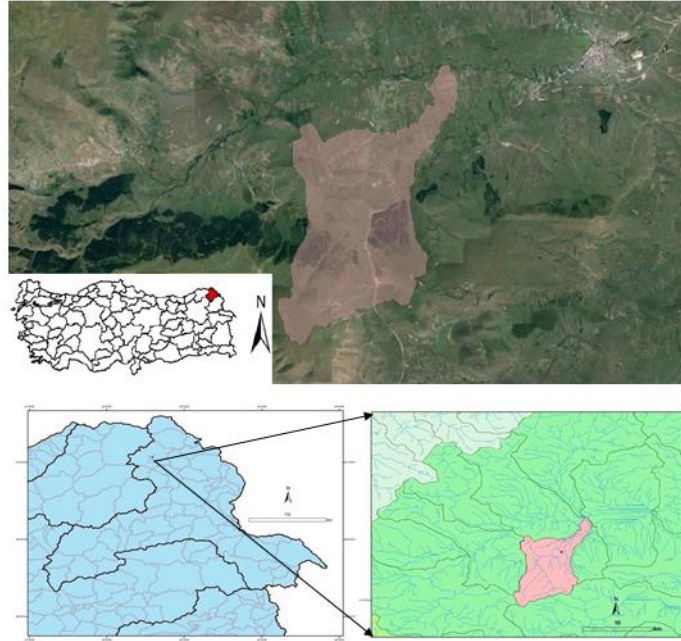


3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Çalışma Bölgesinin Özellikleri

Çalışma alanının içinde bulunduğu Ardahan ili ülkemizin Doğu Anadolu Bölgesinin kuzeyinde yer almaktadır. Ardahan ilinin güneyinde Kars ve Erzurum, batısında Artvin kuzey kesiminde ile Gürcistan bulunmaktadır. Şehrin toplam yüz ölçümü 5.035,51 km² (503.551 ha)'dir. Ortalama deniz seviyesi yüksekliği 1900 metredir. Ardahan ili Türkiyede bulunan makro havzalar ölçeğinde Aras Havzası içerisinde bulunmaktadır. Şehrin tam merkezinden Kura Nehri geçmekte olup, nehir Ardahan'dan başlayarak sırasıyla Gürcistan'dan geçerek Azerbaycanda Aras Nehri ile birleşerek Hazar Denizine dökülmektedir.

Çalışma alanı olarak seçilen bölge, Ardahan merkeze bağlı Tepeler köyü içerisinden geçen ve Ağzıpek köyü yakınlarından Kura Nehrine dökülen akarsu kolunun drenaj alanı seçilmiştir. Bu alana "Tepeler Mikro Havzası" adı verilmiştir (Şekil 3.8.).



Şekil 3.8. Çalışma alanına ait uydu görüntüsü ve genel görünümü

ArcGIS üzerinde hesaplanan veriler şunlardır; Tepeler mikro havzası yaklaşık 56 km²'lik sucul ve karasal yüzey alanına sahip olup, yaklaşık 1900 metre rakımdadır. Çalışma bölgesinin ortalama eğimi % 13 ± 11'dir. Türkiye jeoloji haritasına (MTA) göre, baskın jeolojik yapı "Kuvaterner Andezit" den oluşmaktadır. WRB Toprak Sınıflandırma sistemine göre baskın olan toprak çeşidi Haplic Chernozems, USDA Toprak Sınıflandırma sistemine göre ise Aquolls, Cryolls ve Ustolls'dur.

CORINE (2012)'ye göre çayırliklar ve susuz ekin alanları baskın arazi kullanımını ve bitki örtüsü tipleridir, ayrıca bölgede her daim yeşil ormanlar, sulak alanlar ve kırsal yerleşim yerleride bulunmaktadır.

1 km mekansal çözünürlükteki 1970-2000 WorldClim verileri, ortalama yıllık hava sıcaklığının 3,3 °C olduğunu, Ocak ayında ortalama minimum -9,9 °C ve Ağustos ayında ortalama maksimum 14,8 °C olduğunu göstermektedir. Uzun dönem ortalama yıllık yağış miktarı, en fazla Mayıs ve Haziran aylarında, en düşük Ocak ve Şubat aylarında düşen yağış miktarı ile 673 mm'dir.

250 metrelik mekansal çözünürlükteki SoilGrid verilerine göre 0-30 cm derinlikteki ortalama toprak dokusu; %34.6 kum, %40.6 silt ve %24.7 kil'den oluşmaktadır. Ortalama hacim yoğunluğu 1.346 kg/m³, toprak organik karbon (TOC) içeriği 22.39 g/kg ve hacimsel kaba madde içeriği %11.99'dur.

3.2 Metodoloji

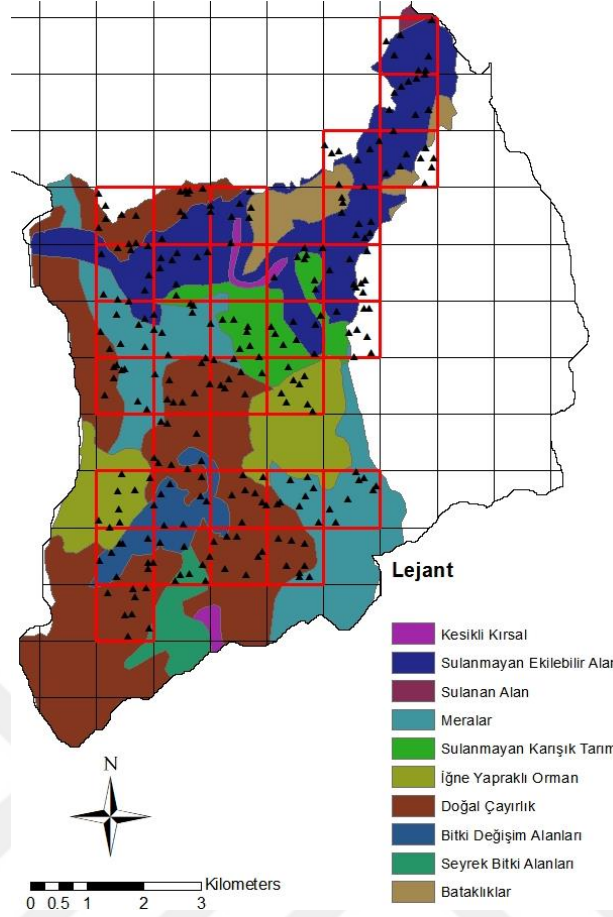
Tezde benimsenen modelleme yöntemi, modellemeye girdi teşkil edecek verilerin toplanma stratejisi ve derlenen verilerin işlenerek modelde kullanıma hazır hale getirilmesi süreçleri takip eden bölümlerde ifade edilmektedir (Şekil 3.9.).



Şekil 3.9. STELLA programlama dili ile inşa edilecek karasal ekosistem C-N bütçesi modelinin bileşenleri ile çıktılarına ait kavramsal harita

3.2.1 Arazi Çalışmaları

Örnekleme noktalarının tayini için öncelikle tüm çalışma alanı yani Tepeler Mikro Havzası 1 km²'lik eş karelere bölünmüştür. Bu eş kareler içerisinde her bir örnekleme noktasının arasında minimum 100 metre mesafe olacak yapıda sistematik-rassallıkta örnekleme noktaları ArcGIS üzerinden oluşturulmuştur (Şekil 3.10.). Daha sonra tüm bu eş kareler içerisinde farklı arazi tiplerinin bulunması kistası göz önünde bulundurularak 31 eş kare içerisinde bulunan 97 örnekleme noktası seçilmiştir.



Şekil 3.10. Toprak ve bitki örneklem noktalarının CORINE 2012 AKAÖ haritası ile gösterimi

Belirlenen bu 97 noktadan 0-30 cm derinlikte toprak ve aynı noktalardan yüzeyden bitki örnekleme yapılmıştır. Örnekleme çalışması 2018 ve 2019 yıllarının temmuz aylarında iki yılda ve yılda bir kez olacak şekilde yapılmıştır.

3.2.2 Laboratuvar Analizleri

Toplanan toprak ve bitki örnekleri Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Çevre Mühendisliği bölümünün Hidrojeoloji ve Limnoloji laboratuvarına getirilerek analiz öncesi hazırlık aşamalarından geçirilmiştir. Bu aşamada toprak ve bitki örnekleri 45 °C ayarlanmış Mikrotest MST-120 Model marka ve modellenmiş etüvde kurutulma işlemine tabii tutulmuştur. Daha sonrasında bitki örnekleri Retsch ZM 200 marka ve modellenmiş rotorlu öğütücüde öğütülerek analize hazır hale getirilmiştir (Şekil 3.11.). Toprak örnekleri ise kurutma işleminin ardından seramik ve cam havanlarda öğütülerek 2mm'lik elekten geçecek boyuta getirilmiştir.



Şekil 3.11. Ön hazırlık çalışmaları tamamlanmış analize hazır toprak ve bitki örnekleri

Ön hazırlıkları tamamlanan örnekler Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Yenilikçi Gıda Teknolojileri Geliştirme Uygulama ve Araştırma Merkezi (YENİGIDAM) laboratuvarlarında Thermo Scientific Flash 2000 CHNS-O Analyzer marka ve modeli elementel analizör cihazında toplam Karbon ve Azot konsantrasyonlarının belirlenmesi için analizleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Thermo Scientific Flash 2000 CHNS-O Elementel Analizörü

TOC stok değerleri; hacim ağırlığı (BD), taşlılık (CF) ve toprak derinliği (SD) kullanılarak eşitlik (3.1) yardımıyla hesaplanmıştır;

$$\text{TOC (t C/ha)} = \text{TOC içeriği (g/kg)/1000} \times \text{BD (kg/m}^3) \times (1-\text{CF (\%)/100}) \times \text{SD (m)} \times 10 \quad (3.1)$$

3.3 Uzaktan Algılama Verileri ve CBS İşleme Teknikleri

Çalışma için kullanılacak olan uzaktan algılama veri seti için gerekli tüm bilgiler aşağıdaki çizelgede yer almaktadır. Tüm bu veri setleri indirilirken tarihsel olarak bir zaman aralığı göz önünde bulundurulmuştur. Bu zaman aralığı ay bazında veri setine ait ulaşılabilen en eski ve en yeni 3 yıl olup ay bazında ise bu yılların 6, 7 ve 8. aylarına ait veri setleri indirilmiştir. Daha sonra farklı mekânsal çözünürlüğe sahip olan raster veriler “ArcGIS” programı ile ortak bir mekânsal çözünürlük değeri olarak 1 km değerinde yeniden ölçeklendirilmiştir (Çizelge 3.4).

Çizelge 3.4. Araştırma için kullanılan uzaktan algılama veri seti

Veri Seti	Birim	Zaman Aralığı	Zamansal Çözünürlük	Mekânsal Çözünürlük (m)	Kaynakça
Evapotranspirasyon (MOD16A2)	kg/m ² /8 gün	2018-2019	8 Gün	500	https://earthdata.nasa.gov/
Arazi Yüzey Sıcaklığı (MOD11A2)	Kelvin	2018-2019	8 Gün	1000	https://earthdata.nasa.gov/
Arazi Kullanım Dinamikleri (CORINE)	44 sınıf	2018-2019	1 Yıl	200	https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc-2012
Net Birincil Verimlilik (MOD17A3)	kg C/m ²	2018-2019	1 Yıl	500	https://earthdata.nasa.gov/
WorldClim Yağış	mm	1970-2000	Ay	1000	https://www.worldclim.org/
RCP 6.0 CCSM 4 Yağış	mm	2061-2080	Ay	1000	https://www.worldclim.org/cmip5_30s
GAI & ET0 Climate Database V2	mm	1970-2000	Ay	1000	https://cgiarcsi.community/2019/01/24/global-aridity-index-and-potential-evapotranspiration-climate-database-v2/
RUSLE C faktörü	0-1			250	
KOBB (TÜBİTAK-TAGEM)	0-1	2018		1000	TÜBİTAK

3.4 Modelleme Süreci ve Uygulaması

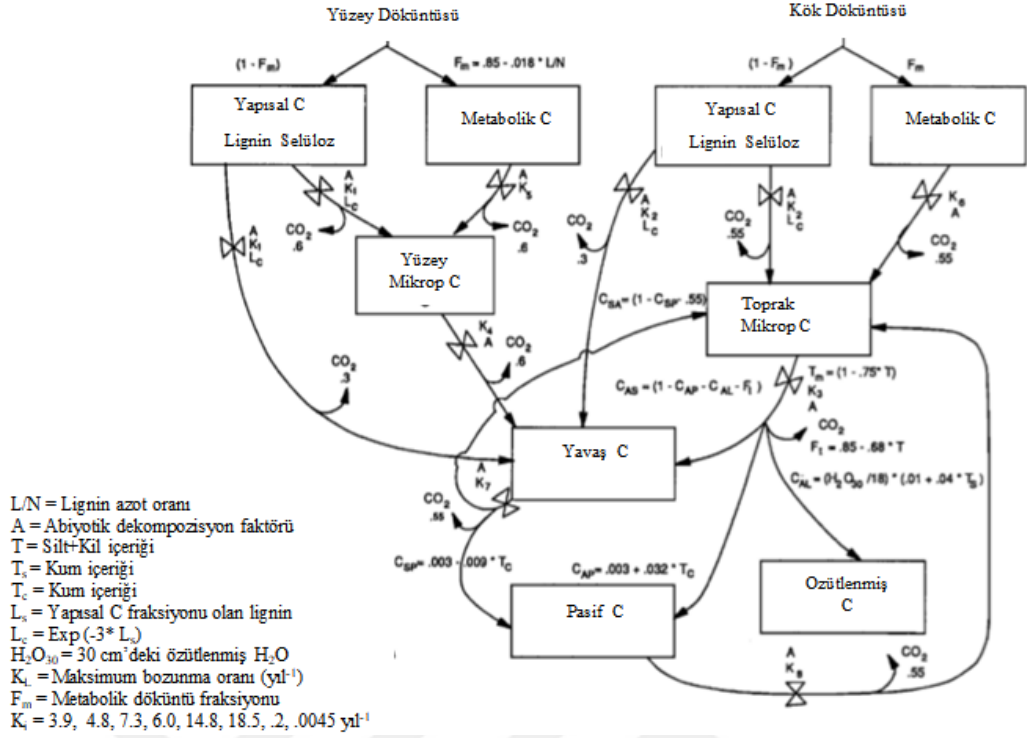
Bu tezde aylık zaman skalasında ve 1 km² mekân skalasında çalışan TOCN_{Anadolu} modeli geliştirilmiştir ve birimi t C/ha/ay'dır. Modelleme süreci parametrelendirme, kalibrasyon, validasyon ve senaryo analizleri olarak dört aşamada tamamlanmıştır. Parametrelendirme aşamasında TOC stok başlangıç değerleri için 2018 yılı arazi verileri (TOC-N) ile CENTURY ve SOCRATES modellerinin katsayıları kullanılmıştır.

Kalibrasyonda; model çıktıları ile literatür değerleri ve uydu görüntüleri karşılaştırılmıştır. Model çıktıları olarak aylık net birincil verimlilik (NPP), bitki döküntüsü (BDOC-N), toplam toprak solunumu ve N salımı ve toplam TOC-N taşınımı ile toplam TOC-N stokuna odaklanılmıştır. Bu aşamada, minimum, maksimum, ortalama ve standart sapma (SD) değerleri kullanılmıştır.

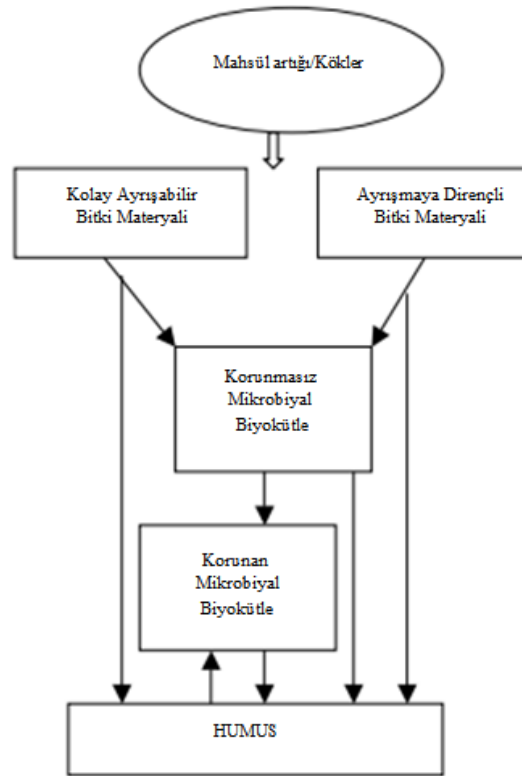
Validasyon için 2019 yılının araziden elde edilen verileri kullanılmıştır. Simüle edilen ve ölçülen değerler arasındaki uyum belirleme katsayısı (r^2) ile tespit edilmiştir. Senaryo analizleri ise dört ana başlık altında yürütülmüştür; (1) iklim senaryoları; (2) AKAÖ dönüşüm senaryoları; (3) en iyi yönetim pratikleri senaryosu ve (4) etkileşim etkisi senaryoları. İklim senaryoları, CO₂ gübrelemesi ve kuraklık indisi olmak üzere iki kategoride kurgulanmıştır. Etkileşim etki senaryoları ise bu üç unsurun birleştirilmesi ile gerçekleştirilmiştir. Senaryo analizleri ileriki kısımlarda detaylandırılmıştır.

3.5 TOCN_{Anadolu} Modelinin Yapısı

CENTURY (Parton vd., 1993) (Şekil 3.13.) ve SOCRATES (Grace vd., 2006) (Şekil 3.14.) ve CEM (Evrendilek ve Wali MK, 2001) modelleri; bu tezde geliştirilen TOCN_{Anadolu} modeline temel oluşturmuştur. CENTURY modelinin validasyonu dünyanın farklı biyomlarında gerçekleştirilmiştir. SOCRATES özellikle Kuzey Amerika, Avrupa ve Avustralya'da farklı AKAÖ'lerde başarılı olmuştur. SOCRATES modeli bitki kök, gövde ve yaprak döküntülerini çürüyebilir (metabolik) ve çürümeye dayanıklı (yapısal) olarak iki gruba ayırır (Çizelge 3.5.).



Şekil 3.13. Toprak Organik maddesi için akış diyagramı (Parton vd, 1993)



Şekil 3.14. SOCRATES modeline göre genel yapı (Grace vd, 2006)

Çizelge 3.5. SOCRATES modeline göre farklı AKAÖ tipleri için kullanılan NPP bölümlenme parametreleri (Grace vd, 2006)

OİS (yıl)	Arazi kullanımı				Bölümlenme katsayıları (%)					
	Yaprak	Dal	Gövde	Kök	Yaprak	Dal	Gövde	Kök	M/Y ^a	Kök ^b
2	10	60	10	Orman	0.3	0.2	0.3	0.2	0.2	0.25
1			1	Çayır mer'a	0.6	0	0	0.4	0.4	0.35
1			1	Tarım*	0.55	0	0	0.2	0.59	0.33
1	10	50	2	Funda/maki	0.5	0.1	0.1	0.3	0.4	0.31

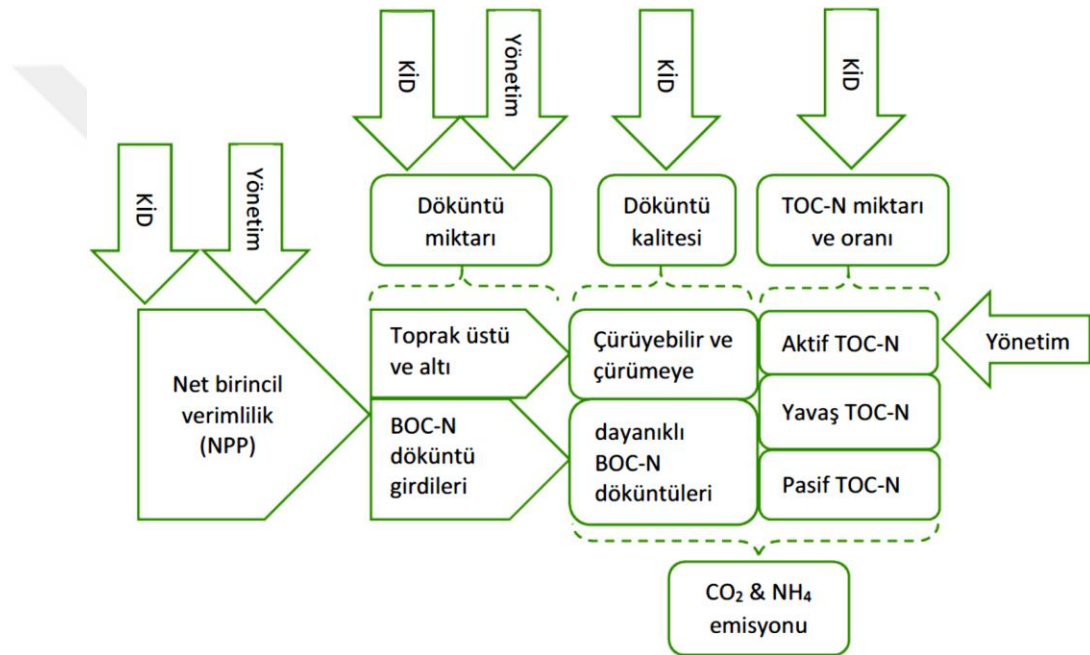
(^a çüreyebilir—metabolik—(M)/çürümeye dayanıklı—yapısal—(Y) bitki döküntü oranı; ^b 10 cm toprak derinliğinde toplam kökün oranı)

*hasat edilen ürün yaklaşık NPP'nin %25'idir.

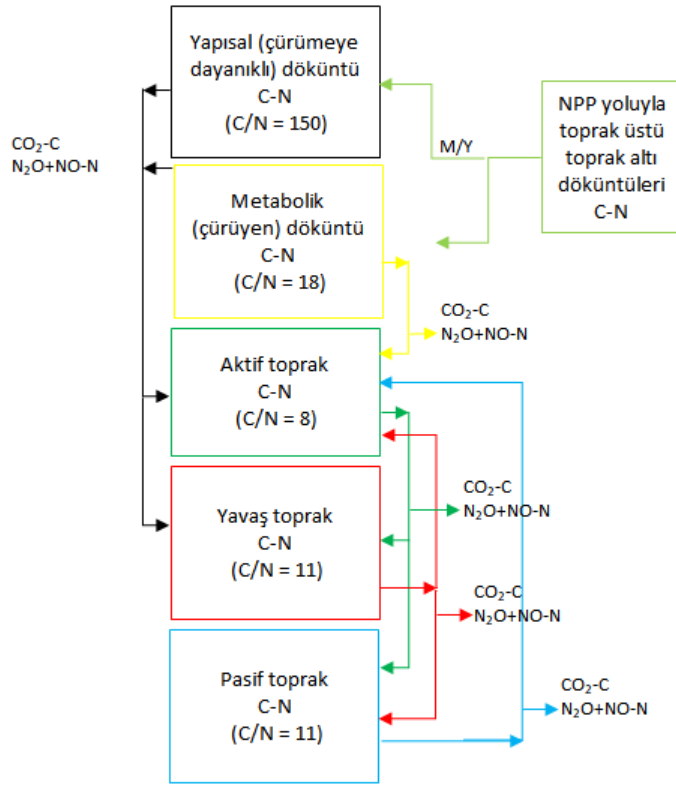
TOCN_{Anadolu} modeli STELLA programlama dili kullanılarak geliştirilmiştir. CENTURY modelinde benimsenen dört yüzey ve yüzeyaltı yapısal ve metabolik döküntü stoku TOCN_{Anadolu} modelinde iki metabolik ve yapısal döküntü stokuna indirgenmiştir. Aynı şekilde, CENTURY modelinin dört TOC-N havuzu TOCN_{Anadolu} modelinde aktif, yavaş ve pasif olmak üzere üç TOC-N deposuna dönüştürülmüştür. Tezde geliştirilen TOCN_{Anadolu} modelinin temel özellikleri şunlardır;

- Tüm AKAÖ tiplerine kolayca uyarlanabilir niteliktedir,
- TOC-N havuzları; C'nin ortalama ikamet süresine ($OİS = 1/\text{yenilenme hızı} = \text{eğer girdi akıları} = \text{çıkıttı akıları ise stok}/\text{çıkıttı akısı} = \text{bir kompartımana girişten atmosfere çıkış için geçirdiği ortalama süre, yıl}$) ve çürüme hızına ($\text{yenilenme hızı} = \text{birim zamanda bir kompartımandan çıkan C fraksiyonu, \%}$) ($k = OYH = 1/\text{ikamet süresi} = \text{eğer girdi akıları} = \text{çıkıttı akıları ise çıkıttı akısı}/\text{stok}$) göre üç kompartımana bölünmüştür,
- TOC-N çürüme ve ayrışması birinci mertebeden kinetik denklemleri takip etmektedir,
- TOC ve TON dinamikleri stokiometrik olarak birbirleri ile ilişkilidir,
- İki döküntü (ölü materyal) organik karbonu (DOC-N) ve üçü TOC-N olmak üzere toplamda beş C-N stokludur.
- Modelin mekânsal ve zamansal çözünürlüğü sırasıyla km^2 ve ay bazındadır.
- modelin girdi ve çıkıttı akılarına tesir eden dışsal güdüleyici güçleri; iklim değişikliği neticesinde CO_2 gübrelemesi ve kuraklık indisi değişimi; AKAÖ dönüşümleri; en iyi yönetim pratikleri (gübreleme, kesim, otlama, sürüm teknikleri, sulama) ve bu unsurların etkileşim etkileridir.
- Euler integral yöntemi kullanılarak stok değişimleri hesaplanmıştır.

Toplam TOK stokunun aktif, yavaş ve pasif havuzlara bölümlenmesinde %3, 37 ve 60 fraksiyonları benimsenmiştir. Toprak bünyesi ve AKAÖ tipine göre aktif TOC %2-4 ve pasif TOC %35-60 arasında genellikle değişmektedir (Parton vd.,1993). Kumlu bünyeli topraklarda yavaş TOC havuzunun yüzdesi artarken (örneğin %61) pasif TOC havuzunun yüzdesi düşmektedir (örneğin %36). Killi topraklarda ise tam tersi bir durum söz konusu olmaktadır (örneğin, %41 yavaş ve %55 pasif TOC havuzu gibi) (Parton vd, 1993).



Şekil 3.15. Modelin güdüleyici güçleri ve durum değişkenlerinin algoritması



Şekil 3.16. TOC_{Anadolu} modelinin genel algoritması

Model çalışmaları sonucunda STELLA programlama dili üzerinde oluşturulan TOC_{Anadolu}'nun içerisinde kullanılan tüm girdi ve çıktı akıları ile stokların hesaplanması için kullanılan tüm denklemler çizelge 3.6, 3.7 ve 3.8'de verilmektedir.

Çizelge 3.6. Durum değişkenleri ve özellikleri

Durum değişkeni	Kısaltma	Birim	Denklem	Başlangıç değeri	C/N oranı
Metabolik C-N stoku	CNmt		$CNmt[C-N](t - dt) + (Tmt[C-N] - MTa[C-N] - Rmt[C-N]) * dt$	0.15 (0.0083)	18
Yapısal C-N stoku	CNst		$CNst[C](t - dt) + (Tst[C-N] - STa[C-N] - Rst[C-N] - STsl[C-N]) * dt$	0.15 (0.001)	150
Aktif C-N stoku	CNa		$CNa[C-N](t - dt) + (STa[C-N] + MTa[C-N] + SLa[C-N] + Pa[C-N] - Asl[C-N] - Ap[C-N] - Ra[C-N]) * dt$ $CNa[C](t - dt) + (STa[C-N] + MTa[C-N] + SLa[C-N] + Pa[C-N] - Asl[C-N] - Ap[C-N] - Ra[C-N]) * dt$	1.877 (0.2346)	8
Yavaş C-N stoku	CNsl		$CNsl[C-N](t - dt) + (Asl[C-N] + STsl[C-N] - SLa[C-N] - SLp[C-N] - Rsl[C-N]) * dt$	23.153 (2.10488)	11
Pasif C-N stoku	CNp		$CNp[C-N](t - dt) + (Ap[C-N] + SLp[C-N] - Pa[C-N] - Rp[C-N]) * dt$	37.5 (3.4133)	11

Çizelge 3.7. Akı değişkenleri ve özellikleri

Girdi akısı		Çıktı akısı		Girdi akısı		Çıktı akısı		Girdi akısı		Çıktı akısı	
Nerden	Nereye	Nerden	Nereye	Nerden	Nereye	Nerden	Nereye	Nerden	Nereye	Nerden	Nereye
Yapısal	Aktif	Aktif	Yavaş	Döküntü	Metabolik	Metabolik	Aktif	Döküntü	Yapısal	Yapısal	Aktif
$STa[C] = CNst[C]*Kst$		$Asl[C] = CNa[C]*Ka$		$Tmt[C] = Tst[C]*MTtoST$		$MTa[C] = CNmt[C]*Kmt$		$Tst[C] = NPPa[C]/(1+MTtoST)$		$STa[N] = CNst[N]*Kst$	
$STa[N] = CNst[N]*Ksta/150$		$Asl[N] = (CNa[N]*Ka)/8$		$Tmt[N] = (Tst[C]*MTtoST)/18$		$MTa[N] = (CNmt[N]*Kmt)/18$		$Tst[N] = (NPPa[N]/(1+MTtoST))/150$		$STa[N] = (CNst[N]*Kst)/150$	
Metabolik	Aktif	Aktif	Pasif			Metabolik	Atmosfer			Yapısal	Yavaş
$MTa[C] = CNmt[C]*Kmt$		$Ap[C] = CNa[C]*Ka$				$Rmt[C] = CNmt[C]*CO2mt*Kmt$				$STsl[C] = CNst[C]*Kst$	
$MTa[N] = (CNmt[N]*Kmt)/18$		$Ap[N] = (CNa[N]*Ka)/8$				$Rmt[N] = (CNmt[N]*CO2mt*Kmt)/18$				$STsl[N] = (CNst[N]*Kst)/150$	
Yavaş	Aktif	Aktif	Atmosfer							Yapısal	Atmosfer
$SLa[C] = CNsl[C]*Ksl$		$Ra[C] = CNa[C]*CO2a*Ka$								$Rst[C] = CNst[C]*CO2st*Kst$	
$SLa[N] = (CNsl[N]*Ksl)/11$		$Ra[N] = (CNa[N]*CO2a*Ka)/8$								$Rst[N] = (CNst[N]*CO2st*Kst)/150$	
Pasif	Aktif										
$Pa[C] = CNp[C]*Kp$											
$Pa[N] = (CNp[N]*Kp)/11$											

Çizelge 3.8. Akı değişkenleri ve özellikleri

Girdi akısı		Çıktı akısı		Girdi akısı		Çıktı akısı	
Nerden	Nereye	Nerden	Nereye	Nerden	Nereye	Nerden	Nereye
Aktiften	Pasife	Pasiften	Aktife	Aktiften	Yavaşa	Yavaştan	Aktife
$Ap[C] = CNa[C]*Ka$		$Pa[C] = CNp[C]*Kp$		$Asl[C] = CNa[C]*Ka$		$SLa[C] = CNsl[C]*Ksl$	
$Ap[N] = (CNa[N]*Ka)/8$		$Pa[N] = (CNp[N]*Kp)/11$		$Asl[N] = (CNa[N]*Ka)/8$		$SLa[N] = (CNsl[N]*Ksl)/11$	
Yavaştan	Pasife	Pasiften	Atmosfere	Yapısaldan	Yavaşa	Yavaştan	Pasife
$SLp[C] = CNsl[C]*Ksl$		$Rp[C] = CNp[C]*CO2p*Kp$		$STsl[C] = CNst[C]*Kst$		$SLp[C] = CNsl[C]*Ksl$	
$SLp[N] = (CNsl[N]*Ksl)/11$		$Rp[N] = (CNp[N]*CO2p*Kp)/11$		$STsl[N] = (CNst[N]*Kst)/150$		$SLp[N] = (CNsl[N]*Ksl)/11$	
						Yavaştan	Atmosfere
						$Rsl[C] = CNsl[C]*CO2sl*Ksl$	
						$Rsl[N] = (CNsl[N]*CO2sl*Ksl)/11$	

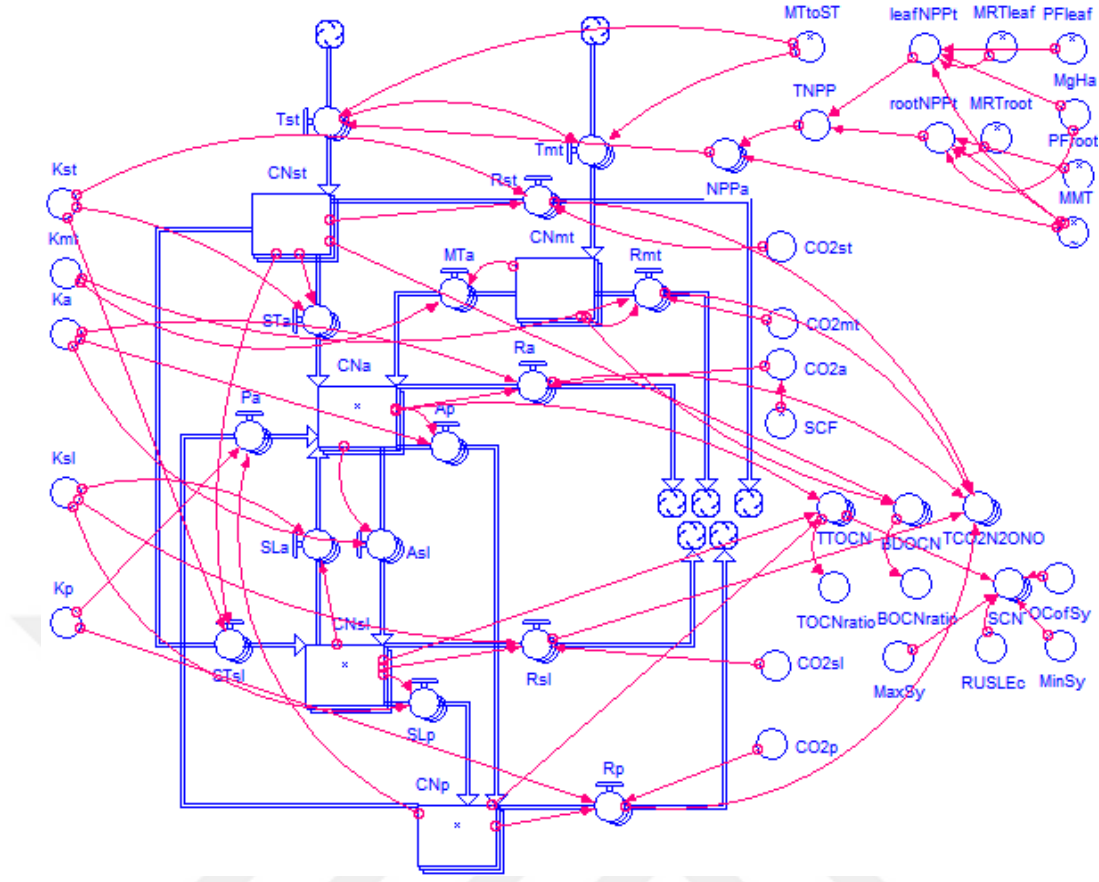
Çizelge 3.9. Model katsayıları

Katsayı	Değeri (ay^{-1})
Kst	0.3625
Kmt	1.3875
Ka	0.5542
Ksl	0.017
Kp	0.00037

Çizelge 3.10. Mevcut durum ile iklim ve yönetim senaryosuna göre modelin odaklanılan çıktıları

Model çıktısı	Kısaltma	Birimi
Aylık NPP	NPPa	t C/ha/ay
Aylık bitki döküntüsü C-N stoku	BDOC-BDON	t C/ha/ay- t N/ha/ay
Toplam TOC stoku	TTOC	t C/ha/yıl
Toplam TON stoku	TTON	t N/ha/yıl
Toplam toprak solunumu	TCO2NO3NH4	t C/ha/ay
Atmosfere toplam N (N2O+NO) salımı	TCO2NO3NH4	t N/ha/ay
Toplam sediment C-N taşınımı	SCT-SNT	t C/ha/ay- t N/ha/ay

Tüm bu denklemler kullanılarak oluşturulan modelin görüntüsü şekil 3.17.'de verilmiştir.



Şekil 3.17. TOC_{Anadolu} modeli Stella görüntüsü

TOCN_{Anadolu} modelinin bitki ve döküntü organik C-N alt modülü (NPP_{Anadolu}) mevcuttur. Bu modülde NPP'nin bitki organlarına bölünmesi ve TOC-N stokuna döküntü olarak girdileri, SOCRATES modelinin algoritması kullanılarak hesaplanmıştır (bkz. Çizelge 3.7.). NPP akısı için aşağıdaki Miami modelinin (Lieth ve Whittaker, 1975) denklemler kullanılmıştır:

- $NPP_T (g/m^2/yıl) = 3000 / (1 + e^{1.315 - 0.0119 * T})$ (Sıcaklığa bağlı NPP Formülü)
- Bitki organik maddesinin (BOM) kuru ağırlığı $\times 0.45 =$ BOC içeriği
- Her bir aksamın BOC yoğunluğu = $NPP \times$ bölümlene katsayısı (%) \times OİS (yıl)
- Her bir bitki aksamından gelen DOC girdisi = $(1/OİS) \times BOC$

3.6 Küresel İklim Değişikliği Senaryosu

Küresel iklim değişikliği senaryolarının ana bileşenleri, sıcaklık artışı, yağış rejimi değişimi ve atmosferik CO₂ konsantrasyonunun yükselmesidir. Bu tezde 1 km mekânsal çözünürlükte (yaklaşık 50 yıl sonra) 2070 yılının sıcaklık ve yağış rejimini birlikte yansıtacak bir kuraklık indisi geliştirilmiş eşitlik (3.2)'de sunulmuştur:

$$\text{Kuraklık indisi} = \text{PPT/PET} \quad (3.2)$$

PPT = yağış (mm/ay); PET = potansiyel evapotranspirasyon (mm/ay). 2070 (2061-2080 ortalaması) yılına ait aylık PPT verisi; 30 arc saniye (yaklaşık 1 km) çözünürlükte aşağı ölçeklendirilmiş IPCC5 (CMIP5) verisi olan CCSM4 (Toplum İklim Sistem Modeli) bileşik iklim modelinin RCP 6.0 (Temsili Konsantrasyon Patikası) senaryosundan elde edilmiştir (https://www.worldclim.org/cmip5_30s). 1970-2000 dönemi ortalama aylık PET verisi; 30 arc saniye (yaklaşık 1 km) çözünürlükte küresel raster (grid = kare) verisinden elde edilmiştir (Trabucco, Antonio; Zomer, Robert (2019): Global Aridity Index and Potential Evapotranspiration (ET0) Climate Database v2. Figshare. Dataset: https://figshare.com/articles/Global_Aridity_Index_and_Potential_Evapotranspiration_ET0_Climate_Database_v2/7504448/3). PET verisi kuraklık indisi oluşturulmadan önce 2070 yılında %5 ve 15 artış ve azalış gösterecek şekilde dört senaryoya göre değiştirilmiştir. Geliştirilen indis TOC ve NPP değerlerinin düzenleyici faktörü olarak modele ilave edilmiştir. 1'in üstündeki PPT/PET değerleri TOC ve NPP değerlerini yükseltirken 1'in altındaki değerler ise çevresel stresin artışını temsil ettiği için TOC ve NPP değerlerini azaltmaktadır.

CO₂ gübrelemesinin NPP üzerine etkisi modele dâhil edilmiştir. RCP 6.0 senaryosunun 2070 yılına ait atmosferik CO₂ konsantrasyonu olan 670 ppmv model simülasyonlarında referans olarak benimsenmiştir. Günümüz atmosferik CO₂ konsantrasyonunun 400 ppmv'den 2070 yılındaki 669 ppmv'ye (F-AtmCO₂) artışı zamanın (t) üssel bir fonksiyonu olarak şu eşitlik (3.3) ile hesaplanmıştır (Goudriaan 1992, Goudriaan, Zadoks. 1995);

$$F\text{-AtmCO}_2 = 400 \cdot (1 + (0.00084))^t \quad (3.3)$$

CO₂ gübrelenmesinin NPP'ye etkisi (CO₂-F) logaritmik bir fonksiyon olarak eşitlik (3.4) ile ifade edilmiştir (Kimball vd. 1993);

$$CO_2-F = 1+0.6*\log(F-AtmCO_2/400) \quad (3.4)$$

0.6 = bitkinin CO₂ gübrelenmesine yanıt katsayısı

3.7 Arazi Kullanımı ve Örtüsü Dönüşümü Senaryosu

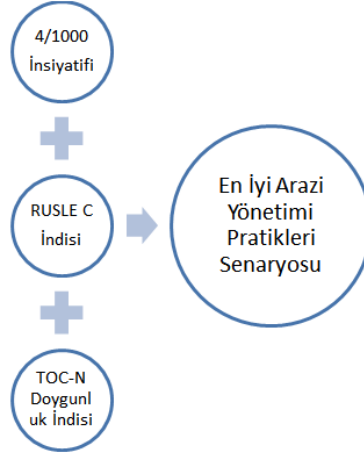
Arazi kullanımı ve örtüsü dönüşüm senaryosu için üç değişim durumu benimsenmiştir; ormanlık alanlar ve ekin alanlarının %10 azaldığı ve çayır ve mer'aların % 10 arttığı durumların 2070 yılında gerçekleşmesiyle oluşabilecek değişimlerin tahmini gerçekleştirilmiştir. Bu üç senaryo için;

- Ormanların %10 azalmasıyla ekin alanlarında artış,
- Ekin alanlarının azalması durumunda çayır ve mer'aların arttığı,
- Çayır ve mer'aların artması durumunda ise orman ve ekin alanlarının eşit oranda artacağı,

Öngörüsü ile hareket edilmiş ve arazi tipi değişiklikleri buna mukabil tatbik edilmiştir.

3.8 En İyi Arazi Yönetimi Pratikleri Senaryosu

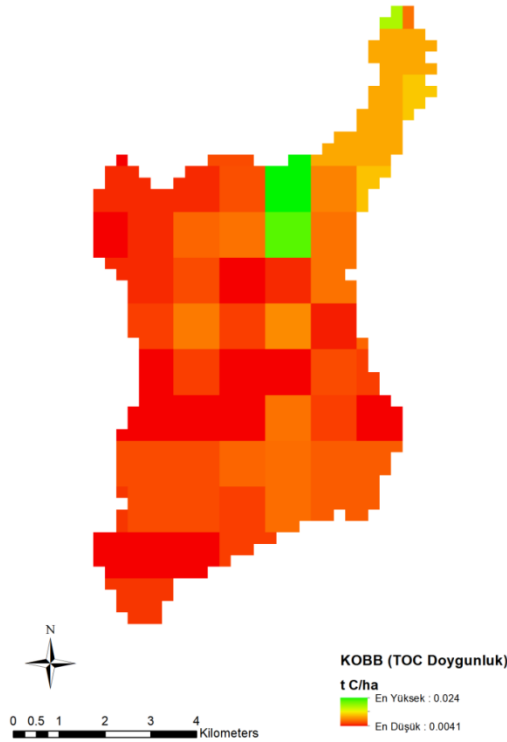
Yönetim pratikleri senaryosu kapsamında COP21 (2015)'e göre kabul edilen ve ortalama 50 yıl boyunca süren 4/1000 C/ha/yıl insiyatifi referans alınmıştır. Bu insiyatif eşit etkilenecek şekilde (2/1000 + 2/1000) TOC-N doygunluk ve RUSLE C (arazi örtüsü yönetimi) indisleri ile birleştirilmiştir (Şekil 3.18). TOC-N doygunluk indisi; TÜBİTAK-ÇEM tarafından üretilen Karbon Odaklı Biyocoğrafya Bölgesi (KOB) kavramına dayandırılmıştır.



Şekil 3.18. En iyi arazi yönetimi senaryosu genel yapısı

0-1 arasında değişen TOC-N doygunluk indisinde sıfır ve sıfıra yakın değerler stok doygunluğunun maksimuma ulaştığı ve bir ve bire yakın değerler stok doygunluğunun minimuma ulaştığı alanları temsil eder. TOC-N stoku doygunluk indisi haritası aşağıda gösterilmiştir (Şekil 3.19). 50 yıl sonraki durum ortaya koymak için bu indise aşağıdaki formül uygulanmıştır;

$$2/1000 \times \text{TOC-N Doygunluk İndisi} \times 50 \text{ yıl}$$

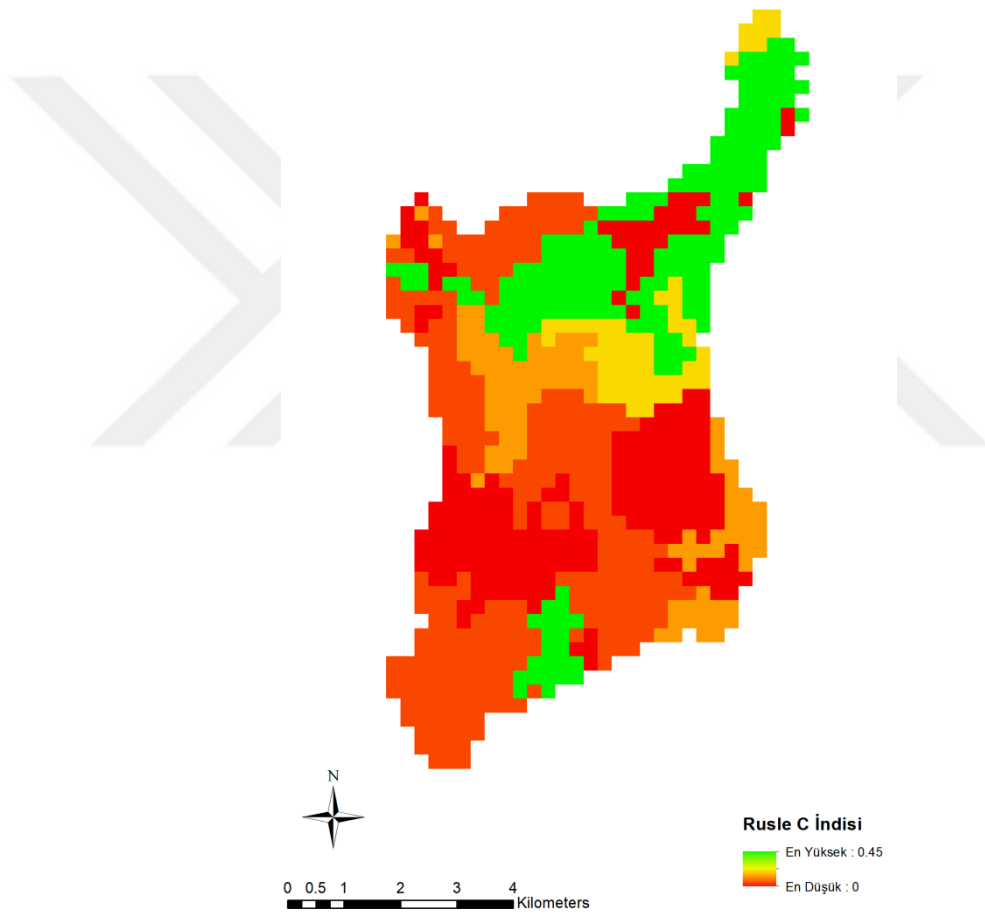


Şekil 3.19 TOC-N doygunluk indisi haritası

Potansiyel TOK doygunluk indis haritası incelendiğinde; yeşil renk ile gösterilen alanlar, doğru politikalar ve yönetim pratikleri ile TOK stok artış potansiyeli en yüksek olan yerler olarak ifade edilebilir

RUSLE-C faktörü indisinde; sıfır ve sıfıra yakın değerler iyileştirme potansiyeli düşük alanları ve bir ve bire yakın değerler iyileştirme potansiyeli yüksek alanları göstermektedir. TOC-N doygunluk indisine uygulanan formül RUSLE-C indisine de uygulanmıştır (Şekil 3.20).

$$2/1000 \times \text{RUSLE-C İndisi} \times 50 \text{ yıl}$$

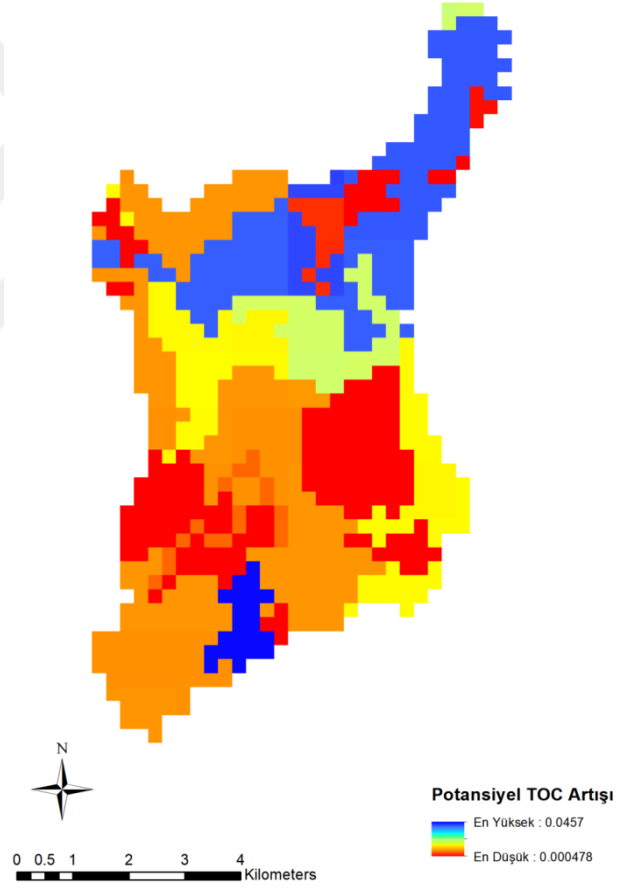


Şekil 3.20. RUSLE-C indis haritası

RUSCLE-C indis haritası incelendiğinde; yeşil renk ile gösterilen alanlar, doğru politikalar ve yönetim pratikleri ile TOC-N stok artış potansiyeli en yüksek olan yerler olarak ifade edilebilir.

TOC-N Doygunluk ve RUSLE C Faktörleri toplanarak, 2070 yılı için en iyi arazi yönetimi senaryosu elde edilmiştir (Şekil 3.21). Elde edilen sonuç haritasına göre;

- Mavi renkli alanlar; en iyi yönetim pratikleri uygulanarak, TOK stok değerinin maksimum değerde artırılabilceği 1. öncelikli alanlar olarak,
- Sarı renkli alanlar; en iyi yönetim pratikleri uygulanarak, TOK stok değerinin artırılabilceği 2. öncelikli alanlar olarak,
- Kırmızı renkli alanlar; en iyi yönetim pratikleri uygulanarak, TOK stok değerinin korunabilceği öncelikli alanlar olarak ifade edilebilir.



Şekil 3.21. En iyi yönetim pratikleri bakımından gelecek 50 yıl sonraki potansiyel TOK stok artışı haritası

4. BULGULAR

4.1 Mevcut Durum Analizi

CO₂ ve H₂O akısı ile meteorolojik verileri arazide devamlı ölçmek için akı kulesi çalışma sahasını temsil eden Tepeler köyüne (41° 7' 39" K-42° 47' 6" D) kurulmuştur. CO₂ ve H₂O akılarının ölçümü cihazın arızalanması nedeniyle ölçülememiştir. Arızalı akı kulesinden elde edilen verilerin envanteri Çizelge 4.11'de sunulmaktadır. Verilerin kalite kontrol ve kalite güvencesi (KKKG) için (1) hatalı veri ayıklama, (2) aykırı değer etiketleme (Çizelge 4.12) ve (4.13) değişkenler arası doğal olarak beklenen ilişkiler için korelasyonların (birlikteliklerin) tespiti (Çizelge 4.14) işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.11. Hatalı veriler ayıklandıktan sonra akı kulesinden (LI-7500, Licor Inc., USA) halihazırda ölçülebilen veri envanteri (saatlik)

No	Değişken	Kısaltma	Birim	Cihaz	n
1	Ortalama hava sıcaklığı	T	°C	HMP45C	4571
2	Ortalama nispi nem	RH	%	HMP45C	3214
3	Ortalama rüzgâr yönü	WD	Pusula derecesi	CSAT3	4561
4	Ortalama rüzgâr hızı	WS	m/s	CSAT3	4561
5	Ortalama net radyasyon	R _{net}	W/m ²	CNR-4, Kipp & Zonen	2331
6	Ortalama evapotranspirasyon	ET	mm/gün	ET = 0.489 + 0.289*R _{net} + 0.023*T (Irmak vd. 2003) R _{net} için W/m ² /saat'den MJ/m ² /gün'e dönüşüm yapılmıştır.	2528

(CR3000 datalogger, Campbell Scientific Inc.) ve ET hesaplaması (n = 4571) (31 Ekim 2018-19 Eylül 2019 arası)

Çizelge 4.12. 31 Ekim 2018-19 Eylül 2019 arası saatlik akı kulesi verileri ile ortalama günlük ET için betimleyici istatistikler

Değişken	Ort	SD	CV	Min	Q1	Medyan	Q3	Maks	IQR	Q1-(1.5×IQR)	Q3+(1.5×IQR)
T	9.5	8.3	86.9	-13.1	2.9	9.7	15.6	32.1	12.7	-16.1	34.6
RH	60.5	22.5	37.1	8.8	44.7	59.8	74.3	100.0	29.6	0.3	100
WD	212.7	98.2	46.2	0.1	126.1	240.6	304.2	359.9	178.2	0	360
WS	1.7	1.2	69.3	0.0257	0.9	1.4	2.2	7.5	1.3	0	4.2
Rnet	311.4	223.8	71.9	0.02	117.6	278.2	489.2	857.4	371.7	0	1047
ET	8.9	6.3	70.8	0.3	3.2	7.8	14.1	24.1	10.8	0	30.3

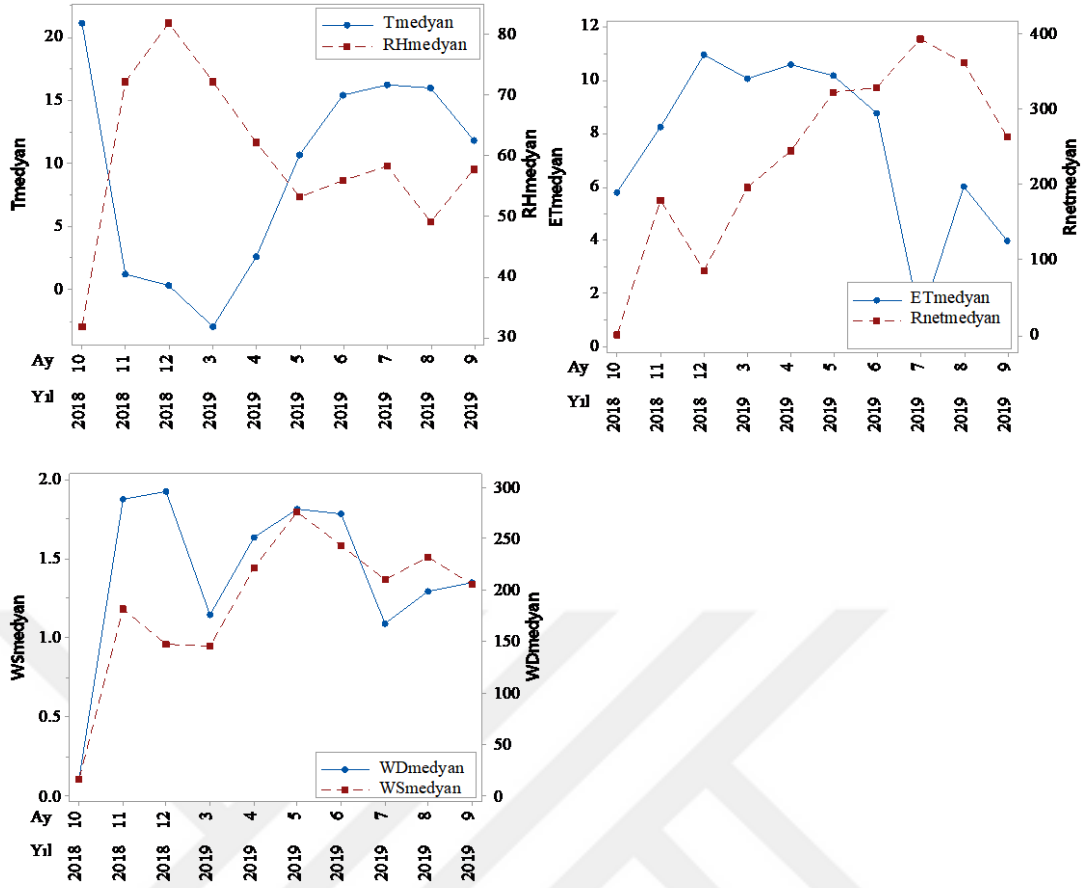
Çizelge 4.13. 31 Ekim 2018-19 Eylül 2019 arası saatlik akı kulesi verileri ile ortalama günlük ET için Pearson's korelasyon (r) matrisi

	T	RH	WD	WS	Rnet
RH	-0.664 0.001				
WD	-0.3 0.001	0.247 0.001			
WS	0.251 0.001	-0.334 0.001	0.006 0.673		
Rnet	0.475 0.001	-0.399 0.001	-0.189 0.001	0.17 0.001	
ET	0.506 0.001	-0.439 0.001	-0.251 0.001	0.177 0.001	0.998 0.001

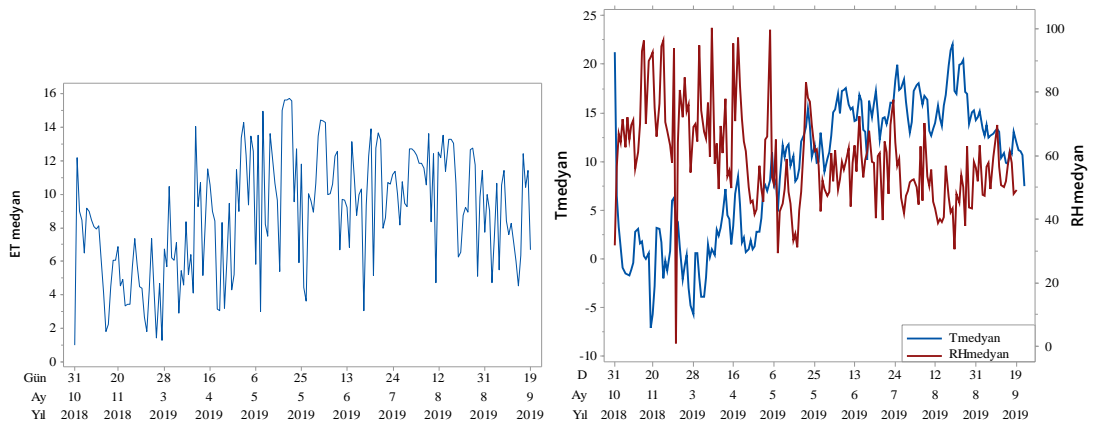
Aylar arası kıyaslama genel doğrusal modelleme (GLM) tek-yönlü varyans analizini (ANOVA) müteakip Tukey çoklu karşılaştırma testi ile yapılmıştır . Aykırı değerlerden etkilenmediği için 2018 ve 2019 yılları boyunca aylık altı değişkenin (Şekil 4.22) ve günlük beş değişkenin (Şekil 4.23) medyan değerlerinin seyri, zaman serisi grafikleri ile görselleştirilmiştir.

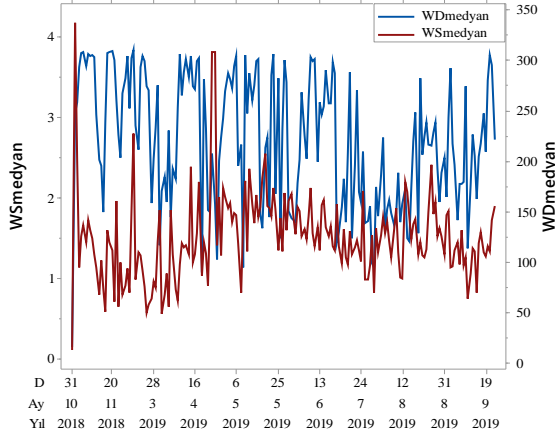
Çizelge 4.14. Ortalama günlük ET'nin ve akı kulesi değişkenlerinin aylara göre karşılaştırılması

Ay	n	ET	Fark	n	Rnet	Fark	n	WS	Fark	n	WD	Fark	n	RH	Fark	n	T	Fark
3	8	5.44	De	88	197	c	186	1.15	f	186	189	ef	128	76	ab	2	21.2	abc
4	30	7.92	Bcd	373	285	b	718	1.83	b	718	214	bcde	557	63	c	744	16.7	a
5	31	10.62	A	422	359	a	744	2.05	a	744	215	bcd	652	55	d	560	16.4	a
6	15	9.88	Ab	199	344	ab	347	1.78	bcd	347	229	abc	277	58	d	347	15.7	a
7	24	10.39	A	321	376	a	560	1.62	cde	560	189	f	326	59	cd	448	12.2	b
8	31	10.05	A	397	356	a	744	1.76	bc	744	203	def	498	50	e	744	11.2	c
9	19	8.70	Abc	223	290	b	448	1.54	de	448	207	bcdef	226	57	d	720	3.5	d
10	1	1.00	Cde	2	1	abc	2	0.11	abcdef	2	16	cdef	2	32	bcde	685	0.8	e
11	29	5.70	E	257	190	c	684	1.52	e	684	237	a	514	74	ab	135	0.1	e
12	6	4.02	E	49	137	c	128	1.08	f	128	236	ab	34	82	a	186	-2.7	f



Şekil 4.22. Aylık sıcaklık (T, oC), nispi nem (RH, %), evapotranspirasyon (ET, mm), net solar radyasyon (Rnet, W/m2), rüzgar hızı (WS, m/s) ve rüzgar yönü (WD, pusula derecesi) medyan değerlerinin değişimi





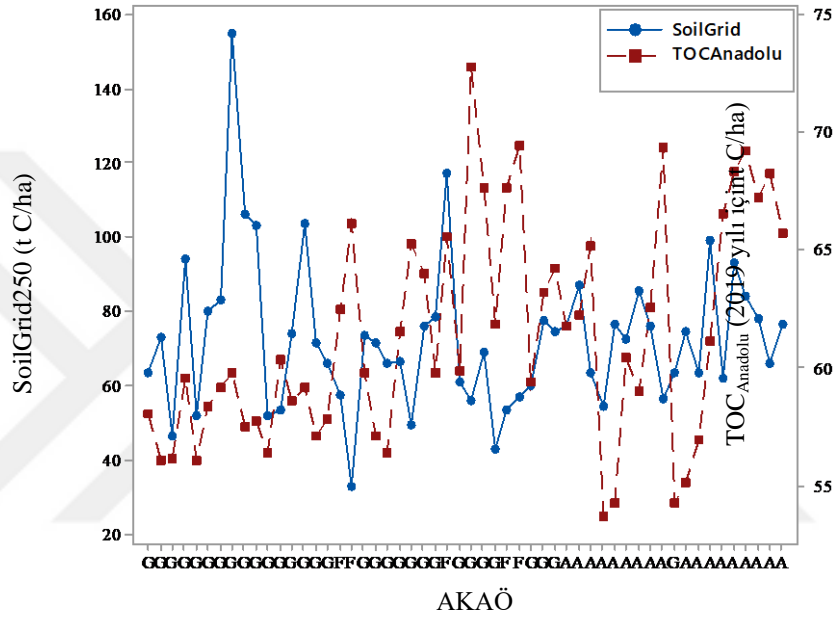
Şekil 4.23. Günlük evapotranspirasyon (ET, mm), sıcaklık (T, °C), nipsi nem (RH, %), rüzgar hızı (WS, m/s) ve rüzgar yönü (WD, pusula derecesi) medyan değerlerinin değişimi

2018 yılı için $TOC_{N_{Anadolu}}$ modeli çalıştırılarak aylık model çıktıları, arazi ve uydu görüntüsü verileri ve ilgili literatür değerleri ile karşılaştırılmış ve yüzde değişim hesaplanmıştır (bkz. Çizelge 4.15 - 17). Dokuz model çıktısı aylık NPP, bitki döküntüsü ve toprak organik C-N (BDOC-N ve TOC-N) stokları, toprak solunumu, toplam N_2O - ve $NO-N$ salımı ve sediment C-N taşınımı akılarıdır. Ormanlar için mevcut durum analizi, ölçülen ile tahmin edilen dokuz model çıktısı arasındaki değişkenlikler %-4 ile %-3289 arasında değişmektedir (bkz. Çizelge 4.15). Negatif işaret modelin ölçülen değerlerden daha düşük tahminde bulunduğunu ifade etmektedir. Özellikle BDOC-N ve TOC-N stokları ile sediment taşınımının N içeriği model çıktıları gözlemlenen değerlerle yakın uyum göstermiştir. BDOC-N ve TOC stokları sırasıyla %80 ve %74 oranında model tarafından fazla tahmin edilmiştir.

2018 yılı çayır mer'a için model simülasyonları gözlemlere göre %38 ile -%3650 arasında değişen bir fark göstermiştir (bkz. Çizelge 4.16). Simule edilen sonuçlarda gözlemlere en yakın değerler BDOC-N ve TOC-N havuzları ile atmosfere verilen toplam N ($N_2O + NO$) salımıdır. Çayır mer'a model çıktıları orman ile kıyaslandığında aynı değişkenler için düşük (toprak solunumu, sediment C taşınımı ve aylık NPP) ve yakın (BDOC-N ve TOC-N) tahminlerde bulunmuştur. Bu iki arazi örtüsüne ait model çıktıları arasında farklılık gösteren değişkenler sediment N taşınımı ve $N_2O+NO-N$ emisyonudur.

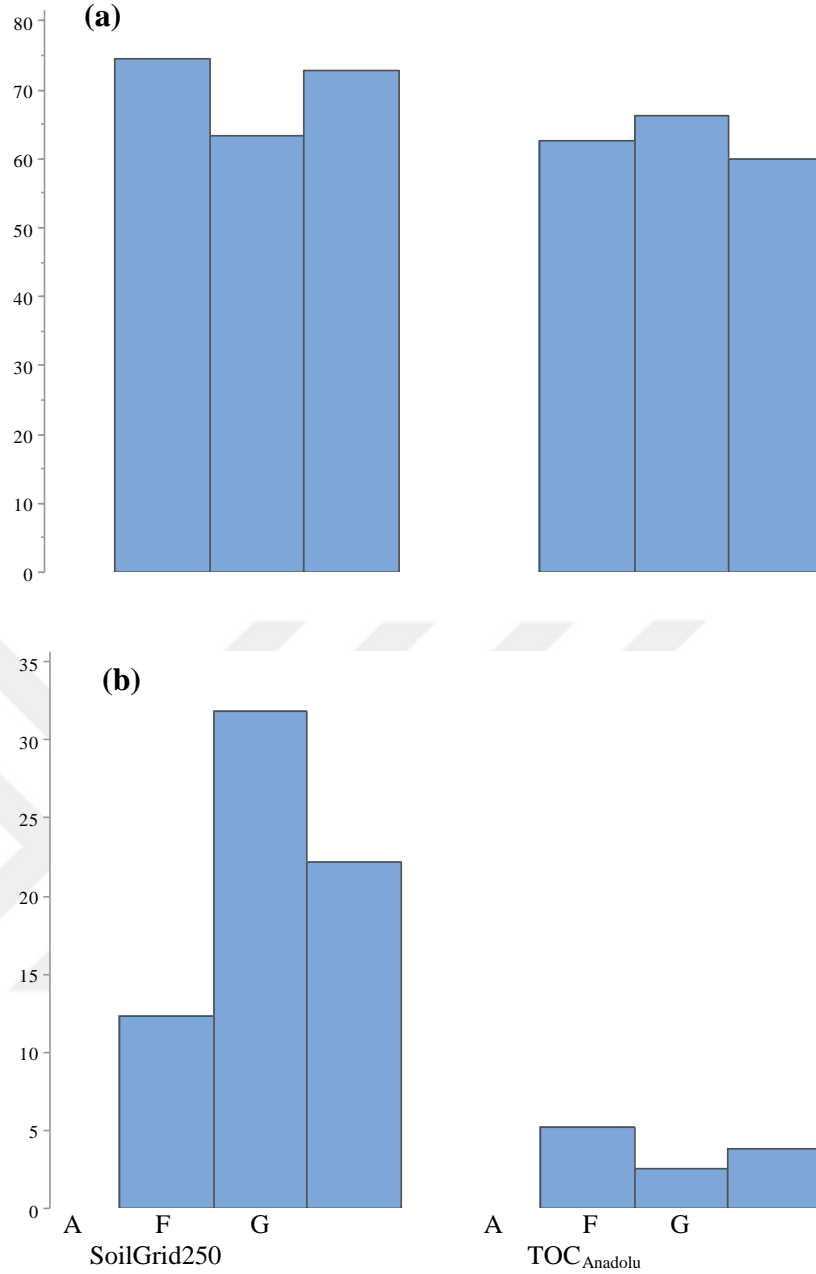
Ekin alanlarına ait mevcut durum model sonuçlarına göre en yakın ve en uzak tahminler TON için %-15 ve sediment N taşınımı %-3500'dür (bkz. Çizelge 4.17). Ekin alanları ile çayır mer'alar referans değerlere yakınlık açısından paralellik göstermiştir. Netice olarak tüm AKAÖ tipleri için model BDOC-N ve TOC-N depoları referans değerlerine yakın sonuçlar vermiştir (bkz. Şekil 4.26).

SoilGrid250 veri tabanından elde edilen TOC değerleri, modelin 2019 çıktısı ile validasyon için karşılaştırılmıştır (Şekil 4.24-25).



Şekil 4.24. 54 kareajdaki AKAÖ için ölçülen (SoilGrid) ve tahmin edilen ($TOC_{Anadolu}$) TOC stoklarının karşılaştırması

Toprak Organik Karbon Stoku (30 cm derinlik için t C/ha)



Şekil 4.25. Her bir AKAÖ sınıfı için ölçülen (SoilGrid) ve tahmin edilen (TOC_{Anadolu}) TOC stoklarının (a) ortalama ve (b) standart sapmalarının karşılaştırması

Çizelge 4.15. Ormanlık alanlar için mevcut durum model çıktıları

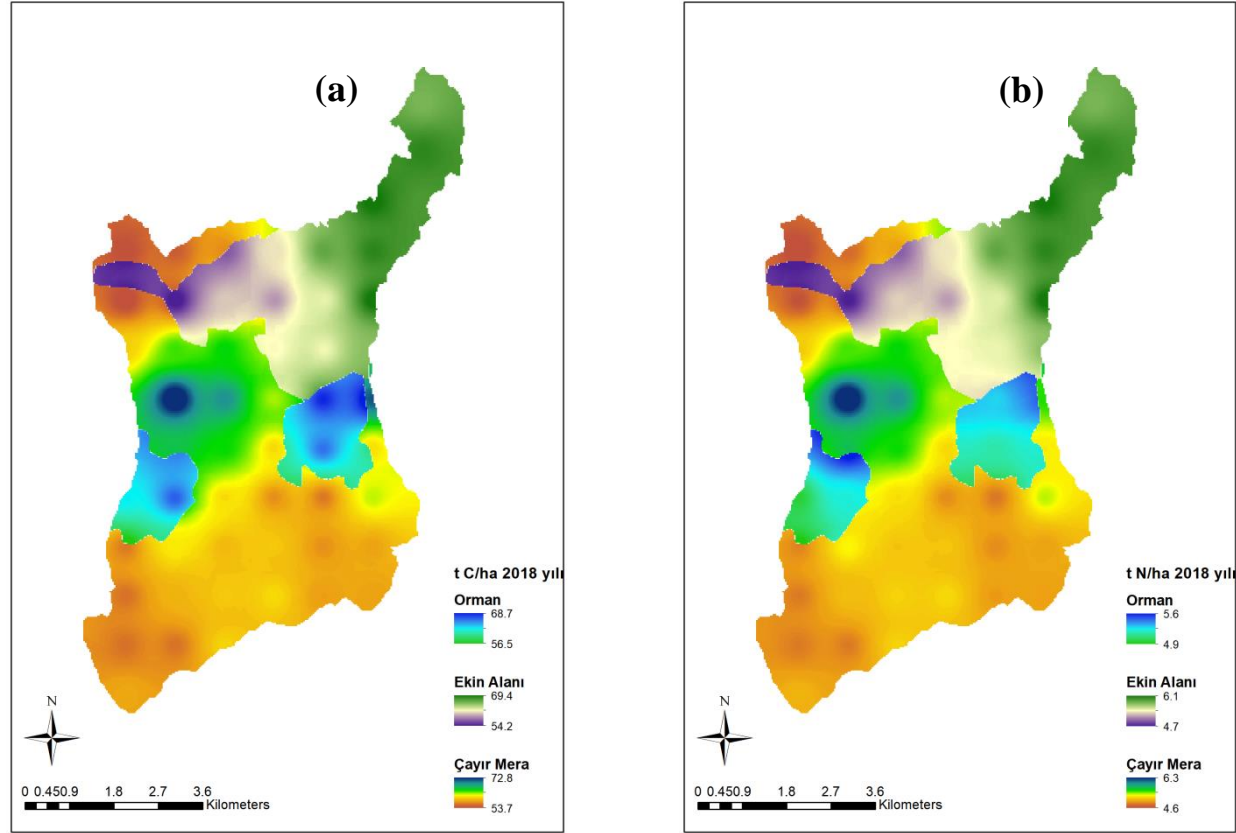
Model çıktısı	Kısaltma	Birimi	Mevcut Durum	Referans Değer	Kaynakça	Yüzde Fark (%)
Aylık NPP ort \pm SD	NPPa	t C/ha/ay	1.03 \pm 0.22	6.66 \pm 0.43	MOD17A3H	-547
Min-Maks			0.59 – 1.50	6.31 – 7.39		
Aylık BDOC stoku ort \pm SD	BDOC	t C/ha/ay	0.74 \pm 0.17	0.77 \pm 4.60	Brovkin, vd. 2012	-4
Min-Maks			0.38 – 1.24	0.50 – 1.32		
Aylık BDON stoku ort \pm SD	BDON	t N/ha/ay	0.05 \pm 0.01	0.01 \pm 0.08		80
Min-Maks			0.04 – 0.07	0.01 – 0.02		
Toplam TOC stoku ort \pm SD	TTOC	t C/ha/yıl	63.61 \pm 2.12	16.37 \pm 6.48	SoilGrid250	74
Min-Maks			56.55 – 68.68	7 – 45		
Toplam TON stoku ort \pm SD	TTON	t N/ha/yıl	5.23 \pm 0.14	6.36 \pm 0.21		-22
Min-Maks			4.89 – 5.64	5.66 – 6.87		
Toplam toprak solunumu ort \pm SD	TCO ₂ NO ₃ NH ₄	t C/ha/ay	0.03 \pm 0.00	0.13 \pm 0.01	Raich vd. 2000	-333
Min-Maks			0.02 – 0.04	0.32 – 0.61		
Atmosfere toplam N (N ₂ O+NO) salımı ort \pm SD	TCO ₂ NO ₃ NH ₄	t N/ha/ay	0.00026 \pm 0.00001	0.0022 \pm 0.0021	Stehfest 2005	-746
Min-Maks			0.00022 – 0.00029			
Toplam sediment C taşınımı ort \pm SD	SCT	t C/ha/ay	0.00027 \pm 0.00007	0.009 \pm 0.017	Vanmaercke vd. 2011	-3289
Min-Maks			0.00025 – 0.00029	0.000035 – 0.107		
Toplam sediment N taşınımı ort \pm SD	SNT	t N/ha/ay	0.000262 \pm 0.00001	0.0009 \pm 0.0017		-244
Min-Maks			0.00022 – 0.00029	0.000004 – 0.0107		

Çizelge 4.16. Çayır ve meralar için mevcut durum model çıktıları

Model çıktısı	Kısaltma	Birimi	Mevcut Durum	Referans Değer	Kaynakça	Yüzde Fark (%)
Aylık NPP ort \pm SD	NPPa	t C/ha/ay	0.60 \pm 0.08	5.99 \pm 0.39	MOD17A3H	-898
Min-Maks			0.44 – 1.50	5.46 – 6.41		
Aylık BDOC stoku ort \pm SD	BDOC	t C/ha/ay	0.44 \pm 0.06	0.18 \pm 0.03	Schade vd. 1999	59
Min-Maks			0.35 – 1.11	0.16 – 0.20		
Aylık BDON stoku ort \pm SD	BDON	t N/ha/ay	0.04 \pm 0.002	0.004 \pm 0.001	Schade vd. 1999 Brovkin, vd. 2012	90
Min-Maks			0.03 – 0.06	0.003 – 0.004		
Toplam TOC stoku ort \pm SD	TTOC	t C/ha/yıl	59.84 \pm 3.16	21.31 \pm 5.68	SoilGrid250	64
Min-Maks			53.71 – 72.77	2 – 68		
Toplam TON stoku ort \pm SD	TTON	t N/ha/yıl	5.15 \pm 0.27	2.13 \pm 0.57		59
Min-Maks			4.62 – 6.34	0.20 – 6.80		
Toplam toprak solunumu ort \pm SD	TCO ₂ NO ₃ NH ₄	t C/ha/ay	0.024 \pm 0.01	0.34 \pm 0.03	Raich vd. 2000	-1317
Min-Maks			0.021 – 0.036			
Atmosfere toplam N (N ₂ O+NO) salımı ort \pm SD	TCO ₂ NO ₃ NH ₄	t N/ha/ay	0.00024 \pm 0.00001	0.00015 \pm 0.00003	Stehfest 2005	38
Min-Maks			0.00022 – 0.00029	0.0001 – 0.0002		
Toplam sediment C taşınımı ort \pm SD	SCT	t C/ha/ay	0.00027 \pm 0.00001	0.009 \pm 0.017	Vanmaercke vd. 2011	-3233
Min-Maks			0.00024 – 0.00032	0.000035 – 0.107		
Toplam sediment N taşınımı ort \pm SD	SNT	t N/ha/ay	0.000024 \pm 0.000001	0.0009 \pm 0.0017		-3650
Min-Maks			0.000021 – 0.000029	0.000004 – 0.0107		

Çizelge 4.17. Ekin alanları için mevcut durum model çıktıları

Model çıktısı	Kısaltma	Birimi	Mevcut Durum	Referans Değer	Kaynakça	Yüzde Fark (%)
Aylık NPP ort \pm SD	NPPa	t C/ha/ay	0.48 \pm 0.10	6.17 \pm 0.41	MOD17A3H	-1185
Min-Maks			0.44 – 1.30	5.57 – 6.69		
Aylık BDOC stoku ort \pm SD	BDOC	t C/ha/ay	0.38 \pm 0.07	0.47	Potter vd. 1997	-24
Min-Maks			0.32 – 1.05			
Aylık BDON stoku ort \pm SD	BDON	t N/ha/ay	0.04 \pm 0.002	0.0004		99
Min-Maks			0.35 – 0.06			
Toplam TOC stoku ort \pm SD	TTOC	t C/ha/yıl	63.68 \pm 3.69	20.05 \pm 3.56	SoilGrid250	69
Min-Maks			54.24 – 69.39	11 – 30		
Toplam TON stoku ort \pm SD	TTON	t N/ha/yıl	5.56 \pm 0.35	6.37 \pm 0.37		-15
Min-Maks			4.68 – 6.12	5.42 – 6.94		
Toplam toprak solunumu ort \pm SD	TCO ₂ NO ₃ NH ₄	t C/ha/ay	0.024 \pm 0.001	0.52 \pm 0.04	Raich vd. 2000	-2067
Min-Maks			0.021 – 0.035			
Atmosfere toplam N (N ₂ O+NO) salımı ort \pm SD	TCO ₂ NO ₃ NH ₄	t N/ha/ay	0.00025 \pm 0.00009	0.00032 \pm 0.00009	Stehfest 2005	-28
Min-Maks			0.00023 – 0.00028	0.00019 – 0.00044		
Toplam sediment C taşınımı ort \pm SD	SCT	t C/ha/ay	0.00028 \pm 0.00001	0.00915 \pm 0.017	Vanmaercke vd. 2011	-3168
Min-Maks			0.00024 – 0.00031	0.000035 – 0.107		
Toplam sediment N taşınımı ort \pm SD	SNT	t N/ha/ay	0.000025 \pm 0.000001	0.0009 \pm 0.0017		-3500
Min-Maks			0.000021 – 0.000028	0.000004 – 0.0107		



Şekil 4.26. Mevcut durum model çıktılarının AKAÖ göre (a) TOC ve (b) TON stoklarının mekansal dağılım haritaları

4.2 Senaryo Analizleri

Dört ana senaryo analizi neticesinde 2070 yılı için elde edilen model sonuçları ilgili literatür ile karşılaştırılıp sırasıyla aşağıda sunulmuştur.

4.2.1 Küresel İklim Değişikliği için Model Çıktıları

Küresel iklim değişikliği bağlamında beş farklı senaryo irdelenmiştir (CO₂ gübrelenmesi ve dört kuraklık indisi senaryosu).

4.2.1.1 CO₂ Gübrelenmesi

CO₂ gübrelenmesinin yarattığı minimum ve maksimum pozitif etkiler tüm arazi kullanımı ve örtüsü sınıfları için sırasıyla aylık bitki döküntüsü C ve N stokları (t N/ha/ay) üzerinde yaşanmıştır. Bitki döküntüsü C stokundaki minimum artışlar orman, çayır-mera ve ekin alanları için sırasıyla %9.5, %6 ve %5.3 olarak tahmin edilmiştir (Çizelge 4.19-20). Bitki döküntüsü N stokundaki maksimum artışlar orman, çayır-mera ve ekin alanları için sırasıyla %1420, %1000 ve %850 olarak gerçekleşmiştir (Çizelge 4.19-20) (bkz. Şekil 4.27). Ormanlar için toplam sediment N taşınımı (t N/ha/ay) %81.3 oranında azalmıştır (Çizelge 4.18). Çayır-mera ve ekin alanları için toprak solunumu (t C/ha/ay) sırasıyla %4.2 ve %8.3 oranında azalmıştır (Çizelge4.20-21).

Çizelge 4.18. Ormanlık alanlar için CO₂ gübrelemesi senaryo sonuçları

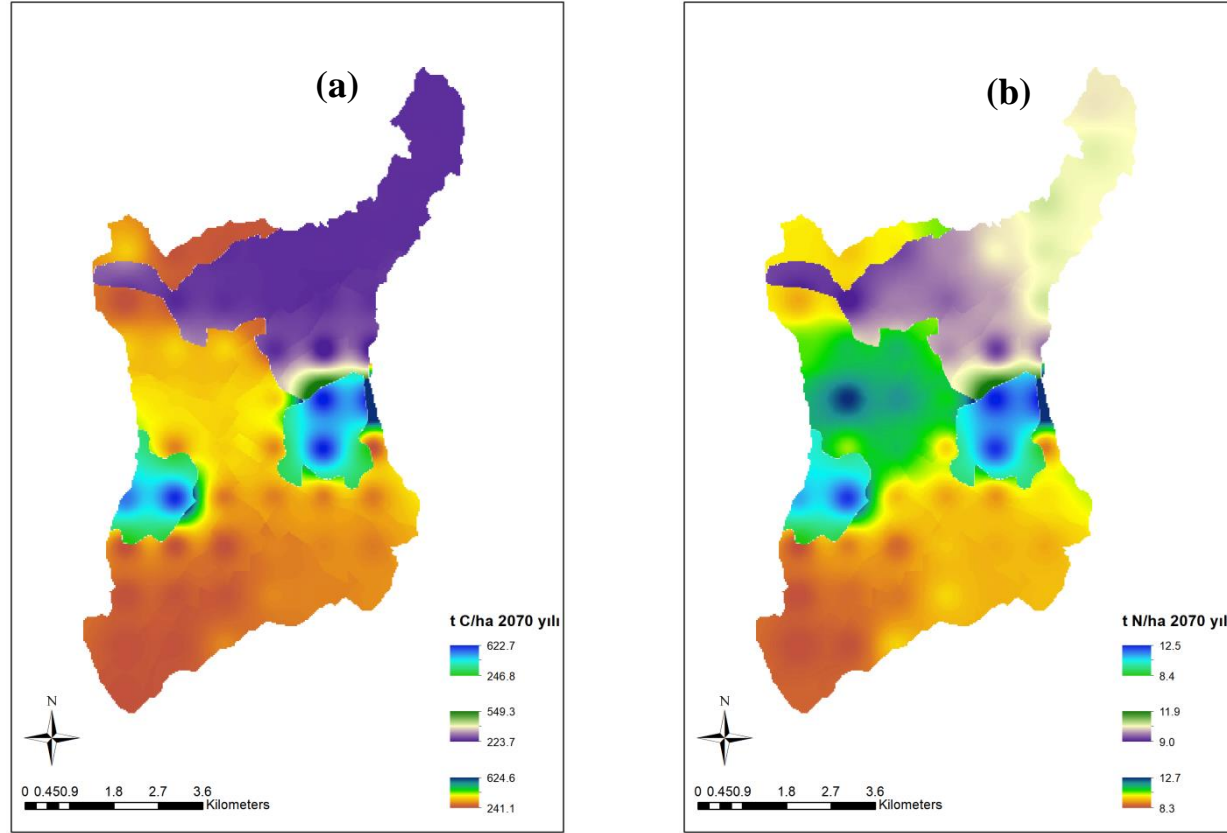
Model çıktısı	Kısaltma	Birimi	Mevcut Durum	İklim Senaryosu	Yüzde Fark
			2019	CO ₂ G 2070	
Aylık NPP ort ± SD	NPPa	t C/ha/ay	0.48 ± 0.10	1.16 ± 0.25	141.7
Min-Maks			0.44 – 1.30	0.66 – 1.70	
Aylık BDOC stoku ort ± SD	BDOC	t C/ha/ay	0.74 ± 0.17	0.81 ± 0.19	9.5
Min-Maks			0.38 – 1.24	0.40 – 1.24	
Aylık BDON stoku ort ± SD	BDON	t N/ha/ay	0.05 ± 0.01	0.76 ± 0.18	1420.0
Min-Maks			0.04 – 0.07	0.38 – 1.17	
Toplam TOC stoku ort ± SD	TTOC	t C/ha/yıl	63.61 ± 2.12	432.87 ± 83.86	580.5
Min-Maks			56.55 – 68.68	246.84 – 622.75	
Toplam TON stoku ort ± SD	TTON	t N/ha/yıl	5.23 ± 0.14	10.67 ± 0.83	104.0
Min-Maks			4.89 – 5.64	8.42 – 12.52	
Toplam toprak solunumu ort ± SD	TCO ₂ NO ₃ NH ₄	t C/ha/ay	0.03 ± 0.00	0.037 ± 0.008	23.3
Min-Maks			0.02 – 0.04	0.020 – 0.055	
Atmosfere toplam N (N ₂ O+NO) salımı ort ± SD	TCO ₂ NO ₃ NH ₄	t N/ha/ay	0.00026 ± 0.00001	0.00057 ± 0.00007	119.2
Min-Maks			0.00022 – 0.00029	0.00039 – 0.00073	
Toplam sediment C taşınımı ort ± SD	SCT	t C/ha/ay	0.00027 ± 0.00007	0.0020 ± 0.0004	640.7
Min-Maks			0.00025 – 0.00029	0.0011 – 0.0029	
Toplam sediment N taşınımı ort ± SD	SNT	t N/ha/ay	0.000262 ± 0.00001	0.000049 ± 0.000004	-81.3
Min-Maks			0.00022 – 0.00029	0.000039 – 0.000058	

Çizelge 4.19. Çayır ve meralar için CO₂ gübrelemesi senaryo sonuçları

Model çıktısı	Kısaltma	Birimi	Mevcut Durum	İklim Senaryosu	Yüzde Fark
			2019	CO ₂ G 2070	
Aylık NPP ort \pm SD	NPPa	t C/ha/ay	0.48 \pm 0.10	0.68 \pm 0.09	41.7
Min-Maks			0.44 – 1.30	0.50 – 1.70	
Aylık BDOC stoku ort \pm SD	BDOC	t C/ha/ay	0.44 \pm 0.06	0.47 \pm 0.07	6.8
Min-Maks			0.35 – 1.11	0.37 – 1.24	
Aylık BDON stoku ort \pm SD	BDON	t N/ha/ay	0.04 \pm 0.002	0.44 \pm 0.07	1000.0
Min-Maks			0.03 – 0.06	0.35 – 1.17	
Toplam TOC stoku ort \pm SD	TTOC	t C/ha/yıl	59.84 \pm 3.16	281.29 \pm 32.84	370.1
Min-Maks			53.71 – 72.77	241.17 – 624.69	
Toplam TON stoku ort \pm SD	TTON	t N/ha/yıl	5.15 \pm 0.27	9.32 \pm 0.63	81.0
Min-Maks			4.62 – 6.34	8.33 – 12.73	
Toplam toprak solunumu ort \pm SD	TCO ₂ NO ₃ NH ₄	t C/ha/ay	0.024 \pm 0.01	0.023 \pm 0.003	-4.2
Min-Maks			0.021 – 0.036	0.019 – 0.055	
Atmosfere toplam N (N ₂ O+NO) salımı ort \pm SD	TCO ₂ NO ₃ NH ₄	t N/ha/ay	0.00024 \pm 0.00001	0.00045 \pm 0.00004	87.5
Min-Maks			0.00022 – 0.00029	0.00038 – 0.00073	
Toplam sediment C taşınımı ort \pm SD	SCT	t C/ha/ay	0.00027 \pm 0.00001	0.0013 \pm 0.0002	381.5
Min-Maks			0.00024 – 0.00032	0.0011 – 0.0029	
Toplam sediment N taşınımı ort \pm SD	SNT	t N/ha/ay	0.000024 \pm 0.000001	0.000043 \pm 0.000003	79.2
Min-Maks			0.000021 – 0.000029	0.000039 – 0.000059	

Çizelge 4.20. Ekin alanları için CO₂ gübrelemesi senaryo sonuçları

Model çıktısı	Kısaltma	Birimi	Mevcut Durum	İklim Senaryosu	Yüzde Fark
			2019	CO ₂ G 2070	
Aylık NPP ort \pm SD	NPPa	t C/ha/ay	0.48 \pm 0.10	0.55 \pm 0.11	14.6
Min-Maks			0.44 – 1.30	0.50 – 1.47	
Aylık BDOC stoku ort \pm SD	BDOC	t C/ha/ay	0.38 \pm 0.07	0.40 \pm 0.08	5.3
Min-Maks			0.32 – 1.05	0.33 – 1.07	
Aylık BDON stoku ort \pm SD	BDON	t N/ha/ay	0.04 \pm 0.002	0.38 \pm 0.07	850.0
Min-Maks			0.35 – 0.06	0.31 – 1.01	
Toplam TOC stoku ort \pm SD	TTOC	t C/ha/yıl	63.68 \pm 3.69	259.57 \pm 33.18	307.6
Min-Maks			54.24 – 69.39	223.75 – 549.31	
Toplam TON stoku ort \pm SD	TTON	t N/ha/yıl	5.56 \pm 0.35	9.94 \pm 0.37	78.8
Min-Maks			4.68 – 6.12	9.04 – 11.93	
Toplam toprak solunumu ort \pm SD	TCO ₂ NO ₃ NH ₄	t C/ha/ay	0.024 \pm 0.001	0.022 \pm 0.003	-8.3
Min-Maks			0.021 – 0.035	0.018 – 0.048	
Atmosfere toplam N (N ₂ O+NO) salımı ort \pm SD	TCO ₂ NO ₃ NH ₄	t N/ha/ay	0.00025 \pm 0.00009	0.00048 \pm 0.00002	92.0
Min-Maks			0.00023 – 0.00028	0.00043 – 0.00068	
Toplam sediment C taşınımı ort \pm SD	SCT	t C/ha/ay	0.00028 \pm 0.00001	0.0012 \pm 0.0002	328.6
Min-Maks			0.00024 – 0.00031	0.0010 – 0.0025	
Toplam sediment N taşınımı ort \pm SD	SNT	t N/ha/ay	0.000025 \pm 0.000001	0.000046 \pm 0.000002	84.0
Min-Maks			0.000021 – 0.000028	0.000042 – 0.000055	



Şekil 4.27. CO₂ Gübrelemesi model çıktılarının AKAÖ göre (a) TOC ve (b) TON stoklarının mekansal dağılım haritaları

4.2.1.1 Kuraklık İndisi

Kuraklık indisi senaryolarının yarattığı minimum pozitif etkiler ormanlık alanlar için NPP (t C/ha/ay)'de %14.6, çayır meralar için sediment N taşınımında (t N/ha/ay) %12.5 ve ekin alanları için TON stokunda (t N/ha/ay) %8.6, maksimum etkiler ise tüm AKAÖ için bitki döküntüsü N stoku (t N/ha/ay) için %800, %675 ve %475 olarak gerçekleşmiştir (Çizelge 4.21-23). Senaryoların minimum negatif etkileri ise sırasıyla ormanlar ve çayır meralarda bitki döküntüsü C stoku, ve ekin alanlarında topraktan N salımı için sırasıyla %9.5, %11.4 ve %4 maksimum etkileride ekin alanlarındaki ve çayır meralardaki toprak solunumu sırasıyla %94.1 ve %90 azalış olarak meydana gelmiştir (Çizelge 4.21-23) (bkz. Şekil 4.28 - 29).

Çizelge 4.21. Ormanlık alanlar için kuraklık indisi senaryo sonuçları

Model çıktısı	Kısaltma	Birimi	Mevcut Durum	İklim Senaryosu Kİ			
				2019	2070 %5	2070 %15	2070 %-5
Aylık NPP ort \pm SD	NPPa	t C/ha/ay	0.48 \pm 0.10	0.18 \pm 0.04 (-62.5)	0.17 \pm 0.04 (-64.6)	0.55 \pm 0.11 (14.6)	0.63 \pm 0.13 (31.2)
Min-Maks			0.44 – 1.30	0.11 – 0.30	0.09 – 0.26	0.30 – 0.82	0.35 – 0.93
Aylık BDOC stoku ort \pm SD	BDOC	t C/ha/ay	0.74 \pm 0.17	0.48 \pm 0.11 (-35.1)	0.41 \pm 0.09 (-44.6)	0.65 \pm 0.15 (-12.2)	0.67 \pm 0.15 (-9.5)
Min-Maks			0.38 – 1.24	0.27 – 0.79	0.20 – 0.64	0.33 – 0.97	0.34 – 1.00
Aylık BDON stoku ort \pm SD	BDON	t N/ha/ay	0.05 \pm 0.01	0.25 \pm 0.05 (400)	0.23 \pm 0.05 (360)	0.44 \pm 0.10 (780)	0.45 \pm 0.10 (800)
Min-Maks			0.04 – 0.07	0.15 – 0.40	0.11 – 0.35	0.21 – 0.67	0.22 – 0.68
Toplam TOC stoku ort \pm SD	TTOC	t C/ha/yıl	63.61 \pm 2.12	109.91 \pm 11.59 (72.8)	105.72 \pm 9.90 (66.2)	242.34 \pm 38.85 (280.9)	253.67 \pm 41.11 (298.8)
Min-Maks			56.55 – 68.68	88.23 – 142.75	80.28 – 132.31	147.21 – 341.71	154.22 – 356.75
Toplam TON stoku ort \pm SD	TTON	t N/ha/yıl	5.23 \pm 0.14	6.30 \pm 0.10 (20.5)	6.00 \pm 0.10 (14.7)	8.01 \pm 0.34 (53.1)	8.19 \pm 0.37 (56.6)
Min-Maks			4.89 – 5.64	6.11 – 6.56	5.68 – 6.21	7.02 – 8.93	7.15 – 9.15
Toplam toprak solunumu ort \pm SD	TCO ₂ NO ₃ NH ₄	t C/ha/ay	0.03 \pm 0.00	0.0033 \pm 0.0006 (-89)	0.0032 \pm 0.0005 (-89.3)	0.016 \pm 0.003 (53.3)	0.018 \pm 0.004 (60)
Min-Maks			0.02 – 0.04	0.0021 – 0.0051	0.0017 – 0.0048	0.009 – 0.024	0.010 – 0.028
Atmosfere toplam N (N ₂ O+NO) salımı ort \pm SD	TCO ₂ NO ₃ NH ₄	t N/ha/ay	0.00026 \pm 0.00001	0.000062 \pm 0.000007 (-23.8)	0.000062 \pm 0.000004 (-23.8)	0.00027 \pm 0.000027 (3.8)	0.00031 \pm 0.00003 (19.2)
Min-Maks			0.00022 – 0.00029	0.000047 – 0.000080	0.000046 – 0.000075	0.00019 – 0.00034	0.00022 – 0.00039
Toplam sediment C taşınımı ort \pm SD	SCT	t C/ha/ay	0.00027 \pm 0.00007	0.00051 \pm 0.000054 (88.9)	0.00049 \pm 0.000045 (81.4)	0.0011 \pm 0.00018 (307.4)	0.0012 \pm 0.0002 (344.4)
Min-Maks			0.00025 – 0.00029	0.00041 – 0.00066	0.00037 – 0.00061	0.00068 – 0.0016	0.00071 – 0.0016
Toplam sediment N taşınımı ort \pm SD	SNT	t N/ha/ay	0.000262 \pm 0.00001	0.000029 \pm 0.000005 (-88.93)	0.000027 \pm 0.000005 (-89.7)	0.000037 \pm 0.000002 (-85.8)	0.000038 \pm 0.000002 (-85.5)
Min-Maks			0.00022 – 0.00029	0.000028 – 0.000030	0.000026 – 0.000028	0.000033 – 0.000041	0.000033 – 0.000042

%5, %15, %-5 ve %-15 = Kuraklık indisi senaryosunda potansiyel evopotranspirasyonun sırasıyla artışı ve azalışlarını göstermektedir.

Çizelge 4.22. Çayır ve meralar için kuraklık indisi senaryo sonuçları

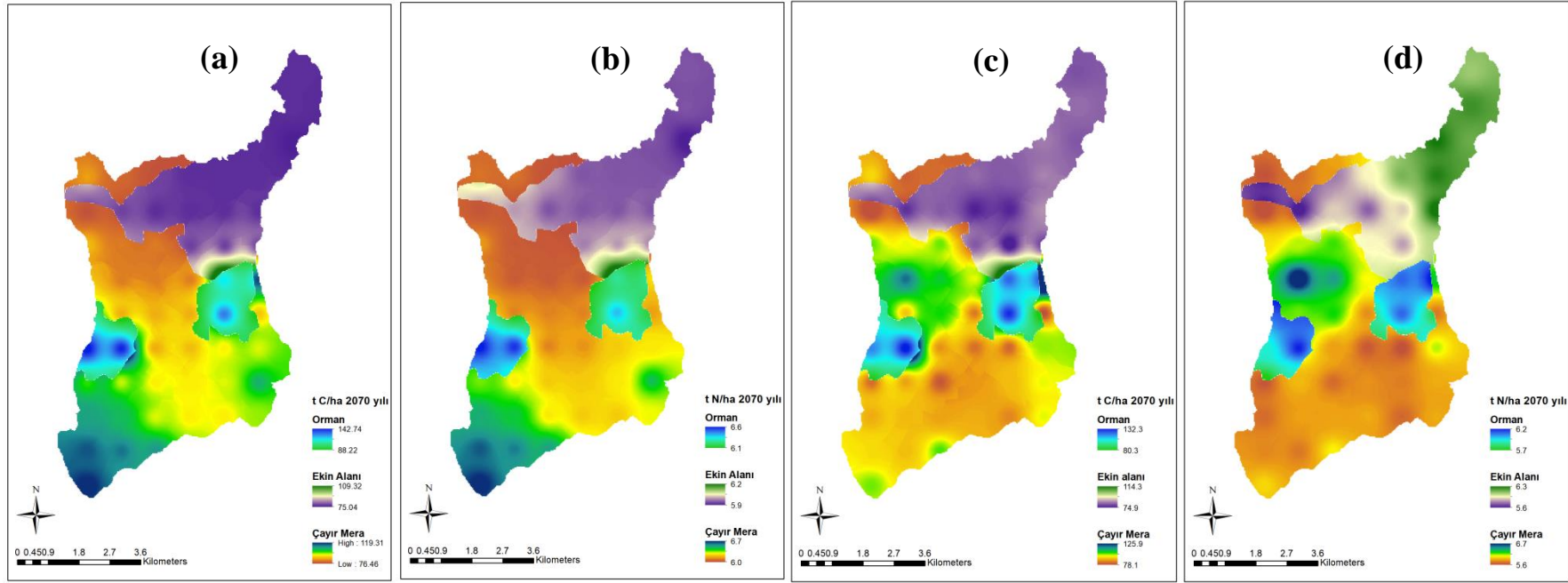
Model çıktısı	Kısaltma	Birimi	Mevcut Durum	İklim Senaryosu Kİ			
				2019	2070 %5	2070 %15	2070 %-5
Aylık NPP ort ± SD	NPPa	t C/ha/ay	0.48 ± 0.10	0.12 ± 0.03 (-75)	0.11 ± 0.01 (-77.1)	0.36 ± 0.05 (-25)	0.40 ± 0.06 (-16.7)
Min-Maks			0.44 – 1.30	0.06 – 0.22	0.08 – 0.24	0.25 – 0.77	0.27 – 0.85
Aylık BDOC stoku ort ± SD	BDOC	t C/ha/ay	0.44 ± 0.06	0.27 ± 0.06 (-38.6)	0.26 ± 0.03 (-40.9)	0.38 ± 0.05 (-13.6)	0.39 ± 0.05 (-11.4)
Min-Maks			0.35 – 1.11	0.15 – 0.57	0.18 – 0.62	0.29 – 0.98	0.29 – 1.01
Aylık BDON stoku ort ± SD	BDON	t N/ha/ay	0.04 ± 0.002	0.16 ± 0.04 (300)	0.15 ± 0.02 (275)	0.26 ± 0.04 (550)	0.27 ± 0.04 (575)
Min-Maks			0.03 – 0.06	0.09 – 0.30	0.11 – 0.33	0.20 – 0.66	0.21 – 0.67
Toplam TOC stoku ort ± SD	TTOC	t C/ha/yıl	59.84 ± 3.16	94.52 ± 10.23 (57.9)	89.56 ± 4.91 (49.7)	177.54 ± 13.98 (196.7)	184.45 ± 15.04 (208.2)
Min-Maks			53.71 – 72.77	76.47 – 119.31	78.08 – 125.88	144.88 – 320.47	151.78 – 337.74
Toplam TON stoku ort ± SD	TTON	t N/ha/yıl	5.15 ± 0.27	6.25 ± 0.17 (21.3)	5.90 ± 0.17 (14.6)	7.56 ± 0.24 (46.8)	7.69 ± 0.26 (49.3)
Min-Maks			4.62 – 6.34	6.02 – 6.7	5.61 – 6.69	6.99 – 8.76	7.12 – 9.00
Toplam toprak solunumu ort ± SD	TCO ₂ NO ₃ NH ₄	t C/ha/ay	0.024 ± 0.01	0.0024 ± 0.0007 (-90)	0.0026 ± 0.0003 (-89.2)	0.011 ± 0.0001 (-54.2)	0.013 ± 0.001 (-45.8)
Min-Maks			0.021 – 0.036	0.0012 – 0.0044	0.0017 – 0.0045	0.0008 – 0.023	0.010 – 0.025
Atmosfere toplam N (N ₂ O+NO) salımı ort ± SD	TCO ₂ NO ₃ NH ₄	t N/ha/ay	0.00024 ± 0.00001	0.00006 ± 0.00001 (-75)	0.00006 ± 0.000007 (-75)	0.00024 ± 0.00001 (0)	0.00027 ± 0.00001 (12.5)
Min-Maks			0.00022 – 0.00029	0.000038 – 0.00010	0.000046 – 0.000085	0.00018 – 0.00032	0.00021 – 0.00036
Toplam sediment C taşınımı ort ± SD	SCT	t C/ha/ay	0.00027 ± 0.00001	0.00043 ± 0.00004 (59.2)	0.00041 ± 0.00002 (51.8)	0.00082 ± 0.00006 (203.7)	0.00085 ± 0.00007 (214.8)
Min-Maks			0.00024 – 0.00032	0.00035 – 0.00055	0.00036 – 0.00059	0.00067 – 0.0015	0.00070 – 0.0016
Toplam sediment N taşınımı ort ± SD	SNT	t N/ha/ay	0.000024 ± 0.000001	0.000029 ± 0.000007 (20.8)	0.000027 ± 0.000001 (12.5)	0.000035 ± 0.000001 (45.8)	0.000036 ± 0.000001 (50)
Min-Maks			0.000021 – 0.000029	0.000028 – 0.000031	0.000026 – 0.000031	0.000032 – 0.000041	0.000033 – 0.000042

%5, %15, %-5 ve %-15 = Kuraklık indisi senaryosunda potansiyel evopotranspirasyonun sırasıyla artışı ve azalışlarını göstermektedir.

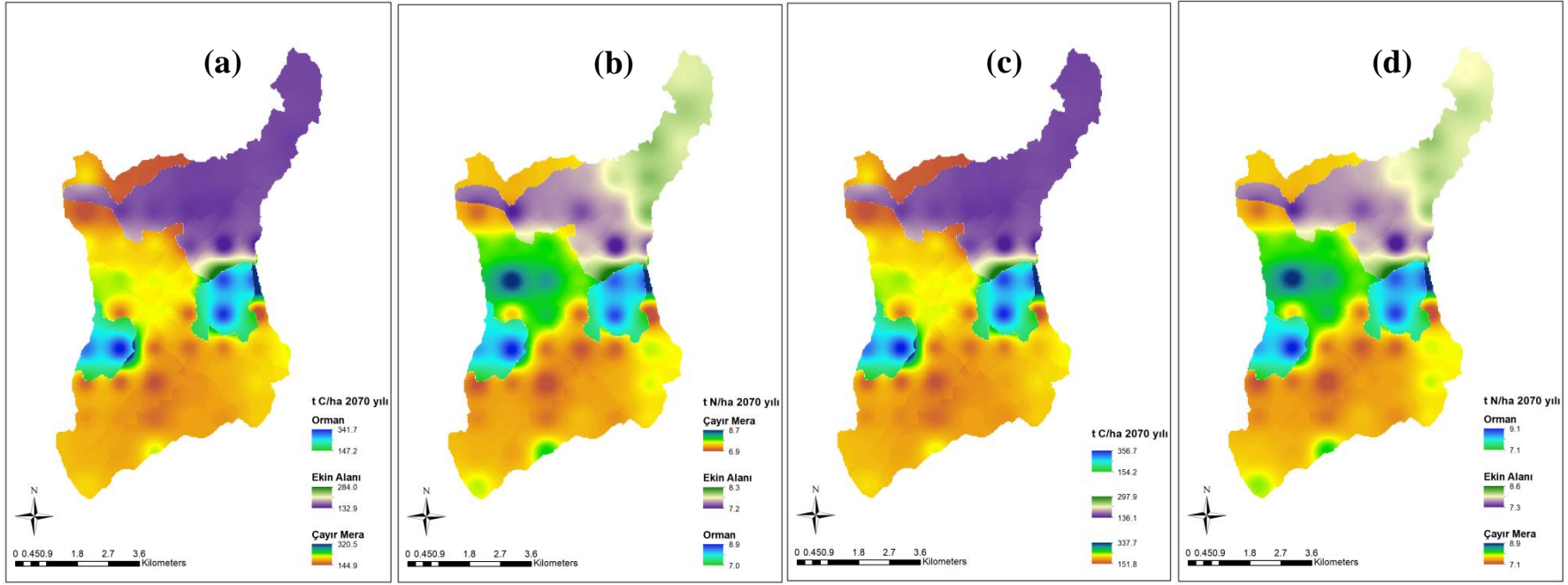
Çizelge 4.23. Ekin alanları için kuraklık indisi senaryo sonuçları

Model çıktısı	Kısaltma	Birimi	Mevcut Durum	İklim Senaryosu Kİ			
				2019	2070 %5	2070 %15	2070 %-5
Aylık NPP ort \pm SD	NPPa	t C/ha/ay	0.48 \pm 0.10	0.07 \pm 0.01 (-85.4)	0.08 \pm 0.02 (-83.3)	0.27 \pm 0.05 (-43.75)	0.29 \pm 0.05 (-39.6)
Min-Maks			0.44 – 1.30	0.05 – 0.18	0.07 – 0.22	0.23 – 0.67	0.23 – 0.72
Aylık BDOC stoku ort \pm SD	BDOC	t C/ha/ay	0.38 \pm 0.07	0.17 \pm 0.04 (-55.3)	0.20 \pm 0.04 (-47.4)	0.31 \pm 0.06 (-18.4)	0.32 \pm 0.06 (-15.8)
Min-Maks			0.32 – 1.05	0.15 – 0.53	0.16 – 0.51	0.26 – 0.84	0.26 – 0.85
Aylık BDON stoku ort \pm SD	BDON	t N/ha/ay	0.04 \pm 0.002	0.10 \pm 0.02 (150)	0.12 \pm 0.02 (200)	0.23 \pm 0.04 (475)	0.23 \pm 0.04 (475)
Min-Maks			0.35 – 0.06	0.08 – 0.27	0.09 – 0.28	0.18 – 0.58	0.17 – 0.58
Toplam TOC stoku ort \pm SD	TTOC	t C/ha/yıl	63.68 \pm 3.69	78.28 \pm 4.06 (22.9)	82.94 \pm 3.93 (30.2)	157.31 \pm 14.77 (147.1)	162.58 \pm 15.86 (155.3)
Min-Maks			54.24 – 69.39	75.04 – 109.33	74.88 – 114.29	132.87 – 284.04	136.09 – 297.99
Toplam TON stoku ort \pm SD	TTON	t N/ha/yıl	5.56 \pm 0.35	6.04 \pm 0.03 (8.6)	6.04 \pm 0.16 (8.6)	7.65 \pm 0.17 (37.6)	7.77 \pm 0.17 (39.7)
Min-Maks			4.68 – 6.12	5.99 – 6.22	5.64 – 6.35	7.18 – 8.37	7.26 – 8.58
Toplam toprak solunumu ort \pm SD	TCO ₂ NO ₃ NH ₄	t C/ha/ay	0.024 \pm 0.001	0.0014 \pm 0.00023 (-94.1)	0.0018 \pm 0.00030 (-92.5)	0.0098 \pm 0.0012 (-59.2)	0.010 \pm 0.001 (-58.3)
Min-Maks			0.021 – 0.035	0.0011 – 0.0032	0.0015 – 0.0036	0.0075 – 0.020	0.008 – 0.022
Atmosfere toplam N (N ₂ O+NO) salımı ort \pm SD	TCO ₂ NO ₃ NH ₄	t N/ha/ay	0.00025 \pm 0.00009	0.000042 \pm 0.000002 (-83.2)	0.000053 \pm 0.000006 (-78.8)	0.00024 \pm 0.00001 (-4)	0.00025 \pm 0.00001 (0)
Min-Maks			0.00023 – 0.00028	0.000035 – 0.000055	0.000044 – 0.000068	0.0002 – 0.0003	0.00021 – 0.00033
Toplam sediment C taşınımı ort \pm SD	SCT	t C/ha/ay	0.00028 \pm 0.00001	0.00036 \pm 0.000018 (28.6)	0.00039 \pm 0.00002 (39.3)	0.00073 \pm 0.00007 (160.71)	0.00075 \pm 0.00007 (167.8)
Min-Maks			0.00024 – 0.00031	0.00034 – 0.00050	0.00034 – 0.00053	0.00061 – 0.0013	0.00063 – 0.0014
Toplam sediment N taşınımı ort \pm SD	SNT	t N/ha/ay	0.000025 \pm 0.000001	0.000028 \pm 0.0000001 (12)	0.000028 \pm 0.000001 (12)	0.000036 \pm 0.0000008 (44)	0.000036 \pm 0.0000008 (44)
Min-Maks			0.000021 – 0.000028	0.000027 – 0.000028	0.000026 – 0.000030	0.000033 – 0.000039	0.000034 – 0.000040

%5, %15, %-5 ve %-15 = Kuraklık indisi senaryosunda potansiyel evopotranspirasyonun sırasıyla artışı ve azalışlarını göstermektedir.



Şekil 4.28. Kuraklık indisi model çıktılarının AKAÖ göre Kİ1 senaryosunun (a) TOC ve (b) TON ve Kİ2 senaryosunun (c) TOC ve (d) TON stoklarının mekansal dağılım haritaları



Şekil 4.29. Kuraklık indisi model çıktılarının AKAÖ göre Kİ3 senaryosunun (a) TOC ve (b) TON ve Kİ4 senaryosunun (c) TOC ve (d) TON stoklarının mekansal dağılım haritaları

4.2.2 Arazi Kullanımı ve Örtüsü Dönüşümü Model Çıktıları

Tüm AKAÖ dönüşümü senaryoları sonucunda pozitif etkilerin minimum sonuçları her bir senaryo için NPP (t C/ha/ay) üzerinde ve %4.2 artış olarak ve maksimum sonuçları ise bitki döküntüsü N stoku (t N/ha/ay) için %1300 şeklinde gerçekleşmiştir (Çizelge 4.24-26). Negatif etkilerin minimum değerleri ise yine her bir senaryo için bitki döküntüsü C (t C/ha/ay) stokunda ve en düşük %1.4, maksimum değerleri ise sediment N taşınımı (t N/ha/ay) üzerinde %82.4 oranında bir azalış olarak etki etmiştir (Çizelge 4.24-26) (Şekil 4.30-31).



Çizelge 4.24. Ormanlık alanlar için AKAÖ dönüşüm senaryo sonuçları

Model çıktısı	Kısaltma	Birimi	Mevcut Durum	AKAÖ Senaryosu		
			2019	2070 +10G	2070 -10F	2070 -10C
Aylık NPP ort \pm SD	NPPa	t C/ha/ay	0.48 \pm 0.10	0.94 \pm 0.24 (95.8)	0.90 \pm 0.25 (87.5)	1.03 \pm 0.22 (114.6)
Min-Maks			0.44 – 1.30	0.57 – 1.50	0.57 – 1.50	0.59 – 1.50
Aylık BDOC stoku ort \pm SD	BDOC	t C/ha/ay	0.74 \pm 0.17	0.68 \pm 0.21(-8.1)	0.64 \pm 0.20 (-13.6)	0.73 \pm 0.18 (-1.4)
Min-Maks			0.38 – 1.24	0.33 – 1.26	0.35 – 1.26	0.35 – 1.26
Aylık BDON stoku ort \pm SD	BDON	t N/ha/ay	0.05 \pm 0.01	0.65 \pm 0.20 (1200)	0.61 \pm 0.19 (1120)	0.70 \pm 0.18 (1300)
Min-Maks			0.04 – 0.07	0.32 – 1.20	0.33 – 1.20	0.33 – 1.20
Toplam TOC stoku ort \pm SD	TTOC	t C/ha/yıl	63.61 \pm 2.12	379.24 \pm 97.38 (496.2)	362.43 \pm 89.47 (469.8)	404.14 \pm 83.78 (535.3)
Min-Maks			56.55 – 68.68	218.82 – 644.30	226.13 – 644.17	226.13 – 644.31
Toplam TON stoku ort \pm SD	TTON	t N/ha/yıl	5.23 \pm 0.14	10.00 \pm 1.04 (91.2)	9.84 \pm 0.92 (88.1)	10.23 \pm 0.87 (95.6)
Min-Maks			4.89 – 5.64	8.02 – 12.80	8.06 – 12.80	8.06 – 12.80
Toplam toprak solunumu ort \pm SD	TCO ₂ NO ₃ NH ₄	t C/ha/ay	0.03 \pm 0.00	0.032 \pm 0.009 (6.7)	0.030 \pm 0.008 (0)	0.034 \pm 0.008 (13.3)
Min-Maks			0.02 – 0.04	0.017 – 0.056	0.017 – 0.056	0.017 – 0.056
Atmosfere toplam N (N ₂ O+NO) salımı ort \pm SD	TCO ₂ NO ₃ NH ₄	t N/ha/ay	0.00026 \pm 0.00001	0.00050 \pm 0.00009 (92.3)	0.00048 \pm 0.00008 (84.6)	0.00052 \pm 0.00008 (100)
Min-Maks			0.00022 – 0.00029	0.00034 – 0.00074	0.00035 – 0.00074	0.00035 – 0.00074
Toplam sediment C taşınımı ort \pm SD	SCT	t C/ha/ay	0.00027 \pm 0.00007	0.0018 \pm 0.0004 (566.7)	0.0017 \pm 0.0004 (529.6)	0.0019 \pm 0.0004(603.7)
Min-Maks			0.00025 – 0.00029	0.0010 – 0.0030	0.0010 – 0.0030	0.0010 – 0.0030
Toplam sediment N taşınımı ort \pm SD	SNT	t N/ha/ay	0.000262 \pm 0.00001	0.000046 \pm 0.000005 (-82.4)	0.000046 \pm 0.000004 (-82.4)	0.000047 \pm 0.000004 (-82.1)
Min-Maks			0.00022 – 0.00029	0.000037 – 0.000059	0.000037 – 0.000059	0.000037 – 0.000059

+10G: Çayır ve meraların %10 artmış olduğu durum senaryo
-10F: Ormanlık alanların %10 azalmış olduğu durum senaryosu
-10C: Ekin alanlarının %10 azalmış olduğu durum senaryosu

Çizelge 4.25. Çayır ve meralar için AKAÖ dönüşüm senaryo sonuçları

Model çıktısı	Kısaltma	Birimi	Mevcut Durum	AKAÖ Senaryosu		
				2019	2070 +10G	2070 -10F
Aylık NPP ort \pm SD	NPPa	t C/ha/ay	0.48 \pm 0.10	0.60 \pm 0.07 (25)	0.59 \pm 0.08 (22.9)	0.60 \pm 0.08 (25)
Min-Maks			0.44 – 1.30	0.44 – 1.50	0.44 – 1.50	0.44 – 1.50
Aylık BDOC stoku ort \pm SD	BDOC	t C/ha/ay	0.44 \pm 0.06	0.41 \pm 0.06 (-9.1)	0.41 \pm 0.06 (-6.8)	0.41 \pm 0.06 (-6.8)
Min-Maks			0.35 – 1.11	0.33 – 1.09	0.33 – 1.09	0.33 – 1.09
Aylık BDON stoku ort \pm SD	BDON	t N/ha/ay	0.04 \pm 0.002	0.39 \pm 0.06 (875)	0.39 \pm 0.06 (875)	0.39 \pm 0.06 (875)
Min-Maks			0.03 – 0.06	0.31 – 1.04	0.31 – 1.04	0.31 – 1.04
Toplam TOC stoku ort \pm SD	TTOC	t C/ha/yıl	59.84 \pm 3.16	259.11 \pm 30.65 (333.1)	256.56 \pm 29.39 (328.7)	260.08 \pm 31.22 (334.6)
Min-Maks			53.71 – 72.77	219.57 – 568.89	219.56 – 568.86	219.56 – 568.90
Toplam TON stoku ort \pm SD	TTON	t N/ha/yıl	5.15 \pm 0.27	8.89 \pm 0.60 (72.6)	8.87 \pm 0.59 (72.2)	8.90 \pm 0.60 (72.8)
Min-Maks			4.62 – 6.34	7.97 – 11.99	7.97 – 11.99	7.97 – 11.99
Toplam toprak solunumu ort \pm SD	TCO ₂ NO ₃ NH ₄	t C/ha/ay	0.024 \pm 0.01	0.021 \pm 0.003 (-12.5)	0.021 \pm 0.003 (-12.5)	0.021 \pm 0.003 (-12.5)
Min-Maks			0.021 – 0.036	0.017 – 0.049	0.017 – 0.049	0.017 – 0.049
Atmosfere toplam N (N ₂ O+NO) salımı ort \pm SD	TCO ₂ NO ₃ NH ₄	t N/ha/ay	0.00024 \pm 0.00001	0.00041 \pm 0.00004 (70.8)	0.00041 \pm 0.00004 (70.8)	0.00041 \pm 0.00004 (70.8)
Min-Maks			0.00022 – 0.00029	0.00035 – 0.00066	0.00035 – 0.00066	0.00035 – 0.00066
Toplam sediment C taşınımı ort \pm SD	SCT	t C/ha/ay	0.00027 \pm 0.00001	0.0012 \pm 0.0001 (344.4)	0.0012 \pm 0.0001 (344.4)	0.0012 \pm 0.0001 (344.4)
Min-Maks			0.00024 – 0.00032	0.0010 – 0.0026	0.0010 – 0.0026	0.0010 – 0.0026
Toplam sediment N taşınımı ort \pm SD	SNT	t N/ha/ay	0.000024 \pm 0.000001	0.000041 \pm 0.000003 (70.8)	0.000041 \pm 0.000003 (70.8)	0.000041 \pm 0.000003 (70.8)
Min-Maks			0.000021 – 0.000029	0.000037 – 0.000056	0.000037 – 0.000056	0.000037 – 0.000056

+10G: Çayır ve meraların %10 artmış olduğu durum senaryosu

-10F: Ormanlık alanların %10 azalmış olduğu durum senaryosu

-10C: Ekin alanlarının %10 azalmış olduğu durum senaryosu

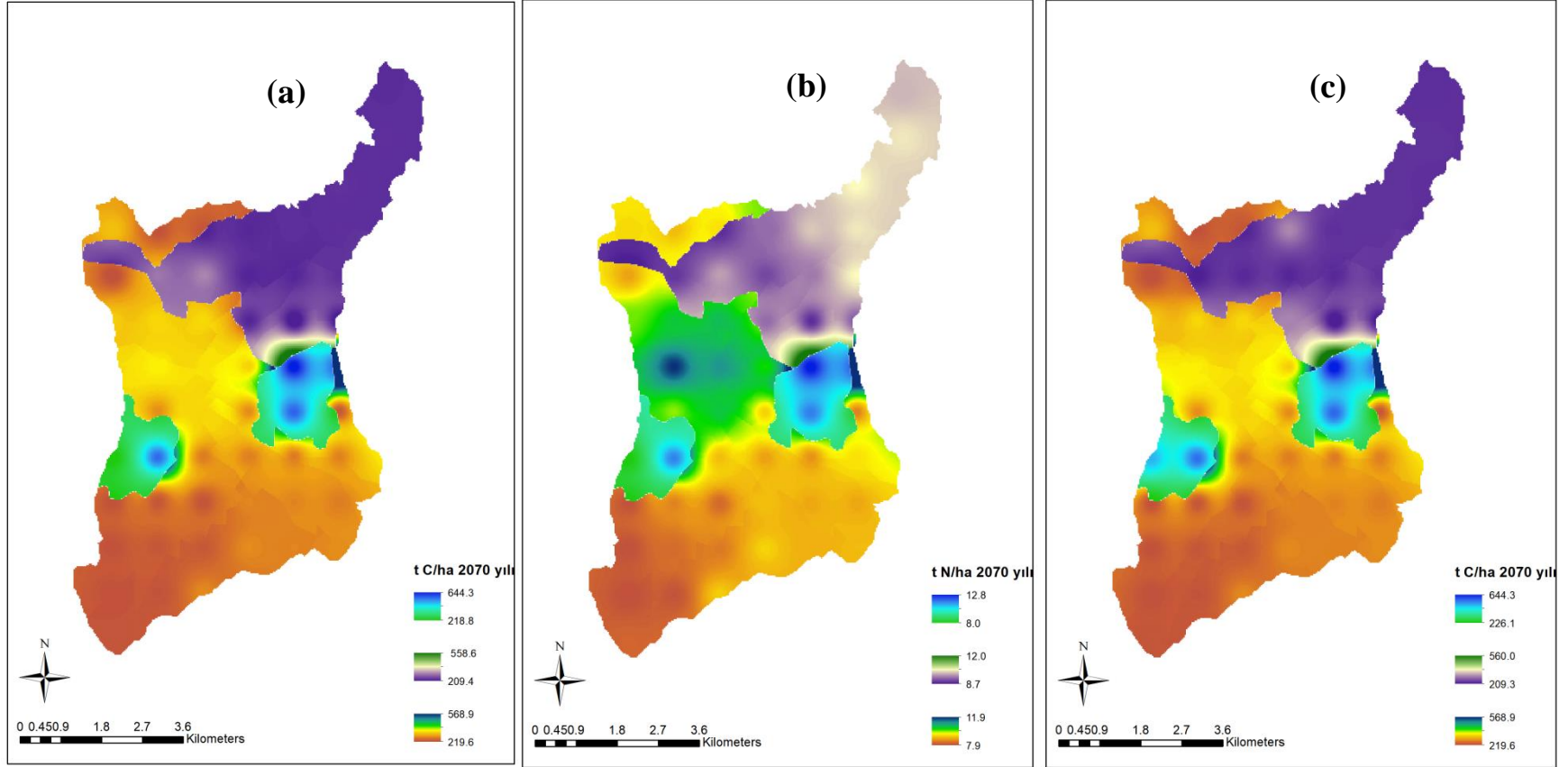
Çizelge 4.26. Ekin alanları için AKAÖ dönüşüm senaryo sonuçları

Model çıktısı	Kısaltma	Birimi	Mevcut Durum	AKAÖ Senaryosu		
				2019	2070 +10G	2070 -10F
Aylık NPP ort \pm SD	NPPa	t C/ha/ay	0.48 \pm 0.10	0.50 \pm 0.10 (4.2)	0.48 \pm 0.09 (0)	0.50 \pm 0.10 (4.2)
Min-Maks			0.44 – 1.30	0.44 – 1.30	0.44 – 1.27	0.44 – 1.30
Aylık BDOC stoku ort \pm SD	BDOC	t C/ha/ay	0.38 \pm 0.07	0.37 \pm 0.08 (-2.6)	0.36 \pm 0.07 (-5.3)	0.37 \pm 0.08 (-2.6)
Min-Maks			0.32 – 1.05	0.29 – 1.07	0.29 – 1.05	0.29 – 1.07
Aylık BDON stoku ort \pm SD	BDON	t N/ha/ay	0.04 \pm 0.002	0.35 \pm 0.08 (775)	0.34 \pm 0.07 (750)	0.36 \pm 0.08 (800)
Min-Maks			0.35 – 0.06	0.28 – 1.02	0.28 – 1.00	0.28 – 1.02
Toplam TOC stoku ort \pm SD	TTOC	t C/ha/yıl	63.68 \pm 3.69	248.88 \pm 34.72 (290.8)	242.91 \pm 31.90 (281.4)	249.66 \pm 35.40 (292.1)
Min-Maks			54.24 – 69.39	209.37 – 558.27	209.35 – 550.02	209.39 – 560.02
Toplam TON stoku ort \pm SD	TTON	t N/ha/yıl	5.56 \pm 0.35	9.54 \pm 0.36 (71.6)	9.50 \pm 0.38 (70.9)	9.55 \pm 0.39 (71.8)
Min-Maks			4.68 – 6.12	8.68 – 12.01	8.59 – 11.93	8.59 – 12.02
Toplam toprak solunumu ort \pm SD	TCO ₂ NO ₃ NH ₄	t C/ha/ay	0.024 \pm 0.001	0.020 \pm 0.003 (-16.7)	0.019 \pm 0.003 (-20.8)	0.020 \pm 0.003 (-16.7)
Min-Maks			0.021 – 0.035	0.016 – 0.048	0.016 – 0.047	0.016 – 0.048
Atmosfere toplam N (N ₂ O+NO) salımı ort \pm SD	TCO ₂ NO ₃ NH ₄	t N/ha/ay	0.00025 \pm 0.00009	0.00044 \pm 0.00002 (76)	0.00043 \pm 0.00002 (72)	0.00044 \pm 0.00002 (76)
Min-Maks			0.00023 – 0.00028	0.00038 – 0.00067	0.00038 – 0.00066	0.00038 – 0.00067
Toplam sediment C taşınımı ort \pm SD	SCT	t C/ha/ay	0.00028 \pm 0.00001	0.0012 \pm 0.0002 (328.6)	0.0011 \pm 0.0001 (292.9)	0.0012 \pm 0.0002 (328.6)
Min-Maks			0.00024 – 0.00031	0.0010 – 0.0026	0.0010 – 0.0025	0.0010 – 0.0026
Toplam sediment N taşınımı ort \pm SD	SNT	t N/ha/ay	0.000025 \pm 0.000001	0.000044 \pm 0.000002 (76)	0.000044 \pm 0.000002 (76)	0.000044 \pm 0.000002 (76)
Min-Maks			0.000021 – 0.000028	0.000040 – 0.000056	0.000040 – 0.000055	0.000040 – 0.000056

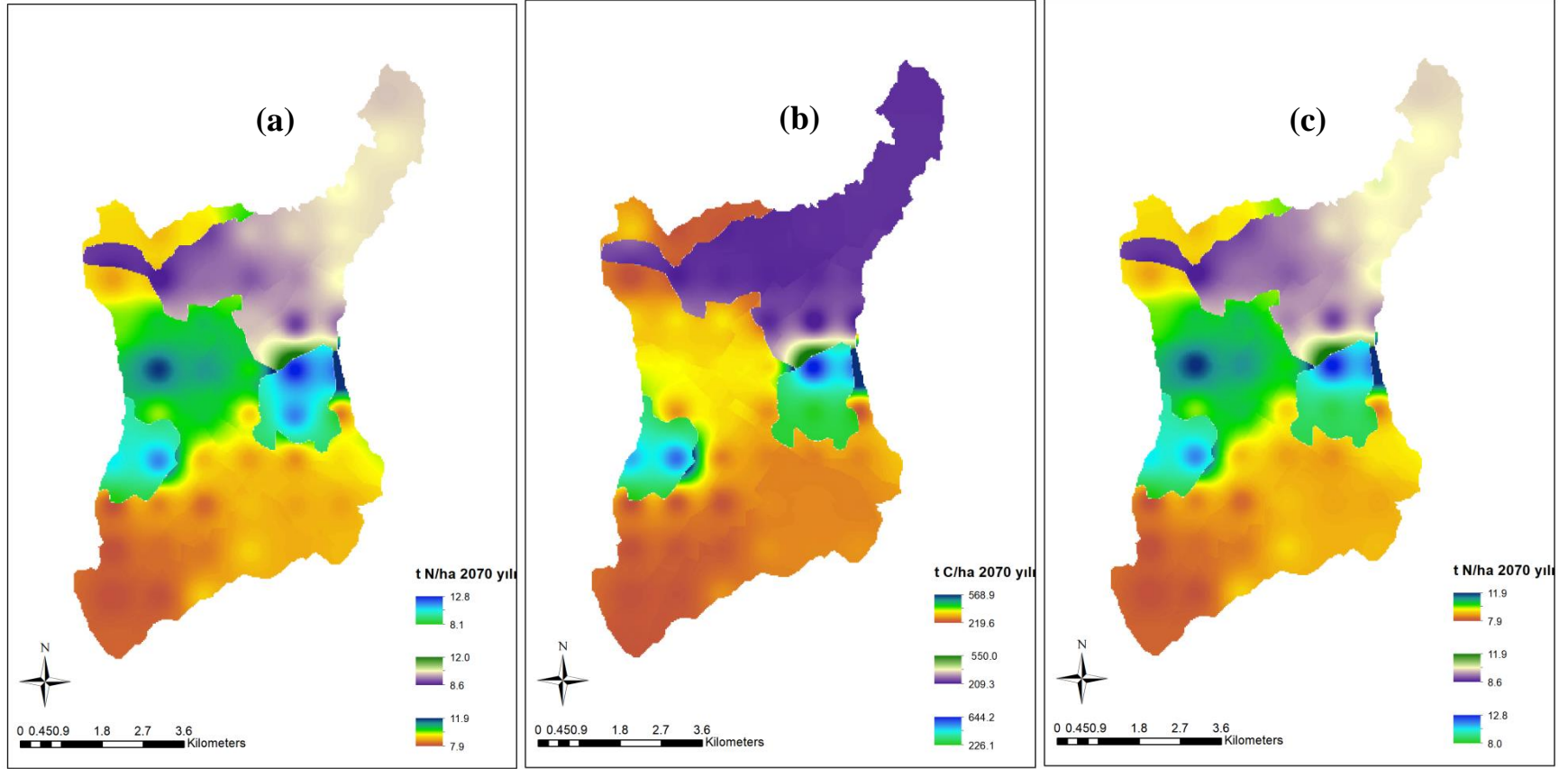
+10G: Çayır ve meraların %10 artmış olduğu durum senaryosu

-10F: Ormanlık alanların %10 azalmış olduğu durum senaryosu

-10C: Ekin alanlarının %10 azalmış olduğu durum senaryosu



Şekil 4.30. AKAÖ dönüşüm senaryo çıktılarının AKAÖ göre +10G senaryosunun (a) TOC ve (b) TON ve -10F senaryosunun (c) TOC stoklarının mekansal dağılım haritaları



Şekil 4.31. AKAÖ dönüşüm senaryo çıktıların AKAÖ göre -10F senaryosunun (a) TON ve -10C senaryosunun (b) TOC ve (c) TON stoklarının mekansal dağılım haritaları

4.2.1 En İyi Arazi Yönetimi Pratikleri Model Çıktıları

En iyi yönetim pratikleri senaryosu sonucunda pozitif etkilerin minimum sonucu ekin alanlarına NPP (t C/ha/ay) üzerinde %4.2, maksimum sonucu ormanlık alanlar için bitki döküntüsü C stokunda (t C/ha/ay) %27458 oranında artışla gerçekleşmiştir (Çizelge 4.27-29). Negatif etkilerin minimumu ise ekin alanlarındaki topraktan N salımı (t N/ha/ay) için %8, maksimum değeri ise ormanlık alanlardaki sediment N taşınımında %90.1 oranında azalış olarak gerçekleşmiştir (Çizelge 4.27-29) (bkz. Şekil 4.32).

4.2.2 Etkileşim Etkileri Model Çıktıları

Etkileşim etkilerinin incelendiği senaryo sonuçlarına göre pozitif etkilerin minimum sonucu ormanlık alanlarda TON (t N/ha/yıl) stokunda %3.8 maksimum değeri ise bitki döküntüsü C stokunda (t C/ha/ay) %17952 artış olarak gerçekleşmiştir (Çizelge 4.27-29) (bkz. Şekil 4.33). Negatif etkilerin minimumu çayır ve meralarda NPP (t N/ha/ay) için %14.6, maksimum sonucu ise ormanlık alanlarda sediment N taşınımında (t N/ha/ay) %90.5 oranında azalış olarak meydana gelmiştir (Çizelge 4.27-29).

Çizelge 4.27. Ormanlık alanlar için en iyi yönetim pratikleri ve etkileşim etkileri senaryo sonuçları

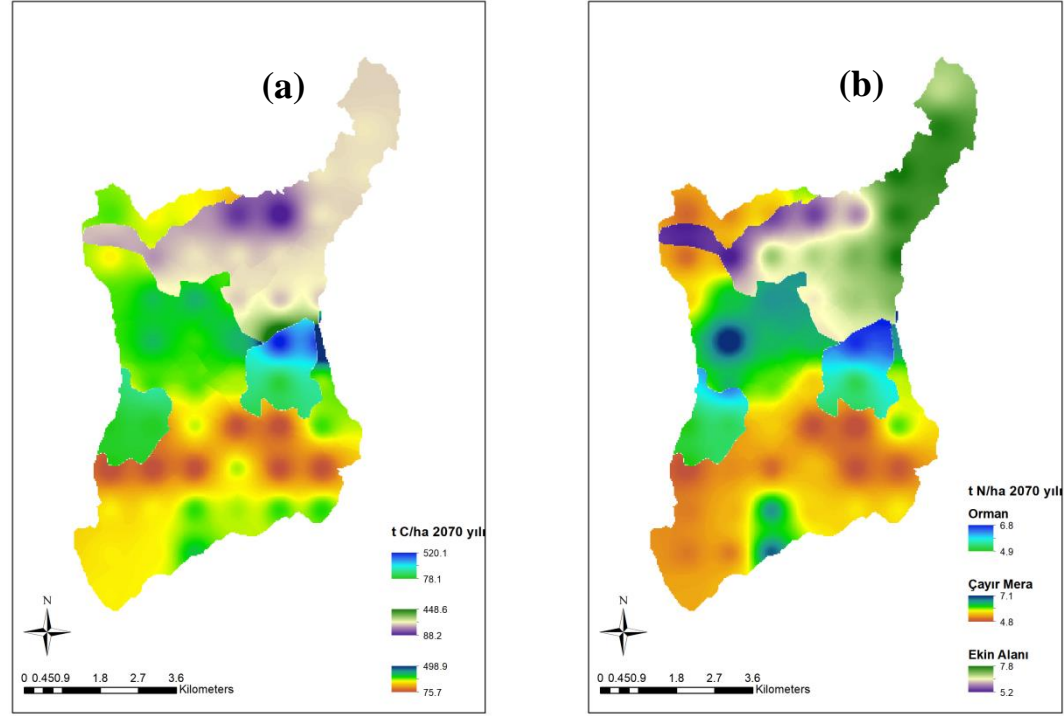
Model çıktısı	Kısaltma	Birimi	Mevcut Durum	Yönetim Senaryosu	Etkileşim Senaryosu
			2019	2070	2070
Aylık NPP ort \pm SD	NPPa	t C/ha/ay	0.48 \pm 0.10	1.03 \pm 0.22 (114.6)	0.63 \pm 0.13 (31.25)
Min-Maks			0.44 – 1.30	0.59 – 1.53	0.35 – 0.93
Aylık BDOC stoku ort \pm SD	BDOC	t C/ha/ay	0.74 \pm 0.17	203.93 \pm 106.03 (27458.1)	133.59 \pm 65.57 (17952.7)
Min-Maks			0.38 – 1.24	30.60 – 472.85	22.54 – 307.25
Aylık BDON stoku ort \pm SD	BDON	t N/ha/ay	0.05 \pm 0.01	5.37 \pm 0.86 (10640)	3.35 \pm 0.51 (6600)
Min-Maks			0.04 – 0.07	3.13 – 7.69	1.89 – 4.86
Toplam TOC stoku ort \pm SD	TTOC	t C/ha/yıl	63.61 \pm 2.12	203.82 \pm 105.10 (220.4)	136.28 \pm 55.17 (114.2)
Min-Maks			56.55 – 68.68	78.08 – 520.09	70.33 – 301.51
Toplam TON stoku ort \pm SD	TTON	t N/ha/yıl	5.23 \pm 0.14	5.68 \pm 0.47 (8.6)	5.43 \pm 0.27 (3.8)
Min-Maks			4.89 – 5.64	4.91 – 6.77	4.89 – 6.06
Toplam toprak solunumu ort \pm SD	TCO ₂ NO ₃ NH ₄	t C/ha/ay	0.03 \pm 0.00	0.011 \pm 0.006 (-63.3)	0.0059 \pm 0.003 (-80.3)
Min-Maks			0.02 – 0.04	0.003 – 0.028	0.0020 – 0.015
Atmosfere toplam N (N ₂ O+NO) salımı ort \pm SD	TCO ₂ NO ₃ NH ₄	t N/ha/ay	0.00026 \pm 0.00001	0.000097 \pm 0.00007 (-62.7)	0.000045 \pm 0.00003 (-82.7)
Min-Maks			0.00022 – 0.00029	0.000008 – 0.00028	0.0000040 – 0.00012
Toplam sediment C taşınımı ort \pm SD	SCT	t C/ha/ay	0.00027 \pm 0.00007	0.00094 \pm 0.0005 (248.1)	0.00063 \pm 0.0003 (133.3)
Min-Maks			0.00025 – 0.00029	0.00036 – 0.0024	0.00033 – 0.0014
Toplam sediment N taşınımı ort \pm SD	SNT	t N/ha/ay	0.000262 \pm 0.00001	0.000026 \pm 0.000002 (-90.1)	0.000025 \pm 0.000001 (-90.5)
Min-Maks			0.00022 – 0.00029	0.000023 – 0.000031	0.000023 – 0.000028

Çizelge 4.28. Çayır ve meralar için en iyi yönetim pratikleri ve etkileşim etkileri senaryo sonuçları

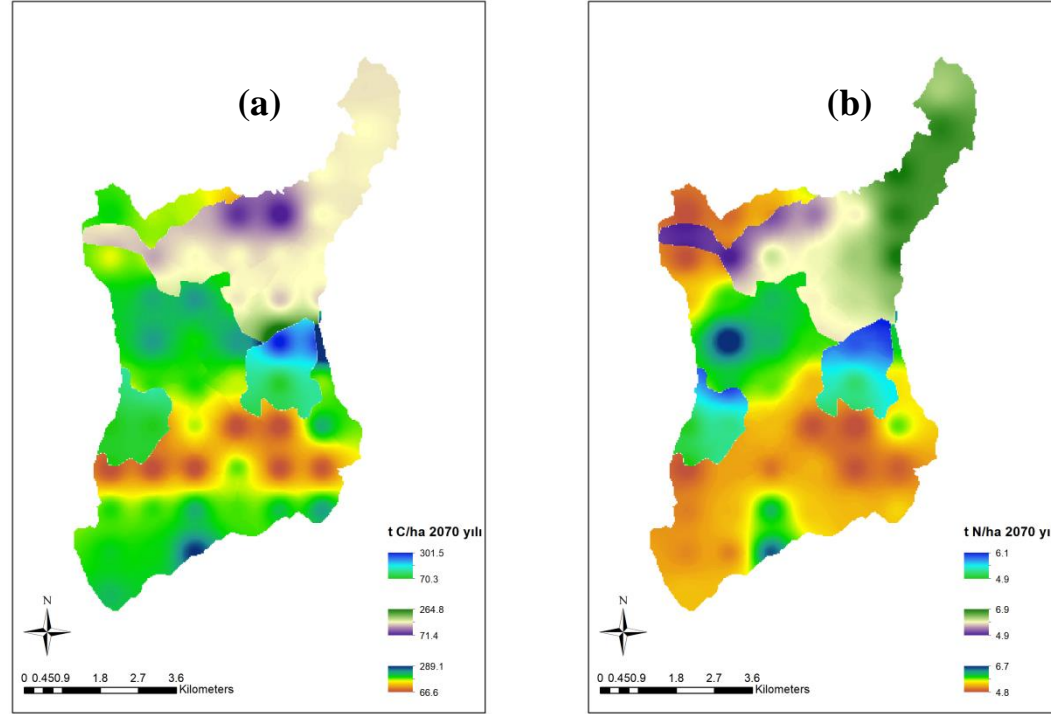
Model çıktısı	Kısaltma	Birimi	Mevcut Durum	Yönetim Senaryosu	Etkileşim Senaryosu
			2019	2070	2070
Aylık NPP ort ± SD	NPPa	t C/ha/ay	0.48 ± 0.10	0.61 ± 0.08 (27.1)	0.41 ± 0.06 (-14.6)
Min-Maks			0.44 – 1.30	0.44 – 1.52	0.29 – 0.89
Aylık BDOC stoku ort ± SD	BDOC	t C/ha/ay	0.44 ± 0.06	81.67 ± 43.49 (18461.4)	58.37 ± 27.89 (13165.9)
Min-Maks			0.35 – 1.11	8.46 – 305.92	6.48 – 200.42
Aylık BDON stoku ort ± SD	BDON	t N/ha/ay	0.04 ± 0.002	3.85 ± 0.44 (9525)	2.61 ± 0.22 (6425)
Min-Maks			0.03 – 0.06	2.33 – 6.79	1.64 – 4.00
Toplam TOC stoku ort ± SD	TTOC	t C/ha/yıl	59.84 ± 3.16	184.95 ± 47.89 (209.1)	137.44 ± 28.79 (129.7)
Min-Maks			53.71 – 72.77	75.75 – 498.91	66.57 – 289.08
Toplam TON stoku ort ± SD	TTON	t N/ha/yıl	5.15 ± 0.27	5.64 ± 0.46 (9.5)	5.43 ± 0.35 (5.4)
Min-Maks			4.62 – 6.34	4.85 – 7.15	4.84 – 6.74
Toplam toprak solunumu ort ± SD	TCO ₂ NO ₃ NH ₄	t C/ha/ay	0.024 ± 0.01	0.010 ± 0.003 (-58.3)	0.0064 ± 0.002 (-73.3)
Min-Maks			0.021 – 0.036	0.0029 – 0.027	0.0016 – 0.015
Atmosfere toplam N (N ₂ O+NO) salımı ort ± SD	TCO ₂ NO ₃ NH ₄	t N/ha/ay	0.00024 ± 0.00001	0.00011 ± 0.00005 (-54.2)	0.000060 ± 0.00003 (-75)
Min-Maks			0.00022 – 0.00029	0.0000072 – 0.00030	0.000004 – 0.00023
Toplam sediment C taşınımı ort ± SD	SCT	t C/ha/ay	0.00027 ± 0.00001	0.00085 ± 0.0002 (214.8)	0.00064 ± 0.0001 (137.1)
Min-Maks			0.00024 – 0.00032	0.00035 – 0.0023	0.00031 – 0.0013
Toplam sediment N taşınımı ort ± SD	SNT	t N/ha/ay	0.000024 ± 0.000001	0.000026 ± 0.000002 (8.3)	0.000025 ± 0.0000016 (4.2)
Min-Maks			0.000021 – 0.000029	0.000023 – 0.000033	0.000023 – 0.000031

Çizelge 4.29. Ekin alanları için en iyi yönetim pratikleri ve etkileşim etkileri senaryo sonuçları

Model çıktısı	Kısaltma	Birimi	Mevcut Durum	Yönetim Senaryosu	Etkileşim Senaryosu
			2019	2070	2070
Aylık NPP ort ± SD	NPPa	t C/ha/ay	0.48 ± 0.10	0.50 ± 0.10 (4.2)	0.31 ± 0.05 (-35.4)
Min-Maks			0.44 – 1.30	0.44 – 1.32	0.27 – 0.77
Aylık BDOC stoku ort ± SD	BDOC	t C/ha/ay	0.38 ± 0.07	34.25 ± 26.11 (8913.2)	24.97 ± 16.72 (6471.1)
Min-Maks			0.32 – 1.05	7.91 – 148.31	6.21 – 90.80
Aylık BDON stoku ort ± SD	BDON	t N/ha/ay	0.04 ± 0.002	3.34 ± 0.50 (8250)	2.14 ± 0.30 (5250)
Min-Maks			0.35 – 0.06	2.45 – 5.90	1.51 – 3.52
Toplam TOC stoku ort ± SD	TTOC	t C/ha/yıl	63.68 ± 3.69	212.75 ± 37.45 (234.1)	144.56 ± 20.68 (127.1)
Min-Maks			54.24 – 69.39	88.25 – 448.52	71.38 – 264.77
Toplam TON stoku ort ± SD	TTON	t N/ha/yıl	5.56 ± 0.35	6.74 ± 0.67 (21.2)	6.09 ± 0.47 (9.5)
Min-Maks			4.68 – 6.12	5.16 – 7.78	4.93 – 6.87
Toplam toprak solunumu ort ± SD	TCO ₂ NO ₃ NH ₄	t C/ha/ay	0.024 ± 0.001	0.012 ± 0.002 (-50)	0.0066 ± 0.001 (72.5)
Min-Maks			0.021 – 0.035	0.0044 – 0.024	0.0019 – 0.013
Atmosfere toplam N (N ₂ O+NO) salımı ort ± SD	TCO ₂ NO ₃ NH ₄	t N/ha/ay	0.00025 ± 0.00009	0.00023 ± 0.00007 (-8)	0.00011 ± 0.00003 (-56)
Min-Maks			0.00023 – 0.00028	0.000013 – 0.00032	0.000006 – 0.00016
Toplam sediment C taşınımı ort ± SD	SCT	t C/ha/ay	0.00028 ± 0.00001	0.00098 ± 0.0002 (250)	0.00067 ± 0.0001 (139.3)
Min-Maks			0.00024 – 0.00031	0.00041 – 0.0021	0.00033 – 0.0012
Toplam sediment N taşınımı ort ± SD	SNT	t N/ha/ay	0.000025 ± 0.000001	0.000031 ± 0.000003 (24)	0.000028 ± 0.000002 (12)
Min-Maks			0.000021 – 0.000028	0.000024 – 0.000036	0.000023 – 0.000032



Şekil 4.32. En iyi yönetim pratikleri senaryo çıktılarının AKAÖ göre (a) TOC ve (b) TON stoklarının mekansal dağılım haritaları



Şekil 4.33. Etkileşim etkileri senaryo çıktılarının AKAÖ göre (a) TOC ve (b) TON stoklarının mekansal dağılım haritaları

5. TARTIŞMA

Model tahminleri ile yersel veriler arasında genel olarak bir uyumun olduğu tespit edilmiştir. Modelin tahmin gücü iyi bir performans sergilediği için, kalibrasyon aşamasında modelin jenerik parametreleri yersel gözlem değerlerine yakınsaması yapılmamış ve değiştirilmemiştir. TOCN_{Anadolu} modeli hem zamansal hemde mekansal dinamikleri entegre edecek şekilde kurgulanmıştır. Modelin geliştirilmesi için kullanılan 2018 yılı verilerinden bağımsız olarak 2019 yılı verileri modelin validasyonunda kullanılmıştır. Model; 50 yıllık bir simülasyon süresi benimsenerek farklı senaryolar ışığı altında 2070 yılındaki ekosistemlerin durumunu öngörmüştür.

Aylık NPP ve toprak solunumu mevcut duruma göre azalmış olduğu simülasyonlar muhtemelen, akı kulesinde ölçülen çalışma bölgesinin oldukça düşük ortalama yıllık sıcaklık (9.5 ± 8.3 °C; minimum ve maksimum sıcaklıklar sırasıyla Mart'ta -13.1 ve Temmuz'da 32.1 °C'dir) değerinden kaynaklanmaktadır (bkz. Çizelge 4.12) (bkz. Şekil 4.23). Sediment taşınımı C içeriğinin mevcut duruma göre azalmış olarak tahmin edilmesinin arkasında yatan sebep kuvvetle muhtemel Ardahan havzasının sahip olduğu ekstrem (uç) sıcaklık rejiminin toprak solunumu üzerindeki tesiridir. Ayrıca literatürde Toros dağlarında içine alan Seyhan havzasında yapılan NPP modelleme çalışmaları gelecek tahminlerinde NPP'nin mevcut duruma göre azalmış olacağını ve farklı deniz seviyesi yüksekliklerinin NPP miktarının azalmasında önemli bir faktör olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada 1701-2200 metre rakımlarında en yüksek NPP azalışının geniş yapraklı ve herdem yeşil ormanlar ile çayır meralarda olduğu gözlenmiştir (Dönmez vd., 2010). Bu veriler model çıktılarımız ile paralellik göstermekte olup, bu bilgiler ışığında çalışma alanının deniz seviyesi yüksekliği ve ışık kullanım etkinliği gibi etmenlerin simüle edilen NPP sonuçlarındaki azalmanın ana nedeni olarak kabul edilebilir.

Simüle edilen senaryo sonuçlarına göre C:N oranı literatürde yer alan aralık değerlerini (8:1-15:1) önemli derecede aşarak yaklaşık 30:1-40:1 gibi değerler arasında değiştiği gözlemlenmiştir (bkz. Çizelge 4.18-29). Buna karşın CarbSOIL modelinin İspanya güneyinde uygulanmış örnekleri 2070 yılı için farklı toprak derinliklerinde TOC değerlerinin 130-235 tC/ha/yıl olacağı tahmininde bulunmuştur

(Munos-Rojas vd., 2013). Yani modelin TOC tahmin performansının başarılı olduğu söylenebilir. Bu durumda C:N oranının yüksek olmasının TON tahminlerinden kaynaklı olabileceği düşünülebilir. TON miktarını etkileyen başlıca nedenler çalışma sahasının düşük yıllık ortalama sıcaklığı, toprak nemliliği ve buna bağlı olarak nitrifikasyona etkileri olarak bilinmektedir (Malhi ve McGill, 1982) . Sıcaklık ile nitrifikasyonun birbirine olan bağlarının kuvveti geçmiş çalışmalarda ortaya konmuştur. Bu durum çalışma bölgesinin aşırı düşük yıllık ortalama sıcaklığının en önemli faktör olduğunu göstermektedir. Bu oranın optimum koşullara çekilmesi toprakta yaşayan ve besin maddesi olarak C ve N kullanan bakteriler ve toprak verimliliği açısından hayati öneme sahiptir.

Tüm senaryolar içinde pozitif etkilerin maksimum değerleri en iyi yönetim pratikleri senaryosu için BDOC-N çıktıları üzerinde gerçekleşmiştir (% 27458.1-8913.2) (bkz. Çizelge 4.27-29). Aslında bu değerlerin özellikle yönetim pratikleri senaryosu sonucunda artmış olması beklenen bir durumdur. Nitekim güney Ontario'da 2010 yılında yapılan çalışma yönetim pratikleri ve ekilebilir arazide kullanılan ürün tipinin doğrudan BDOC-N üzerinde etkili olduğunu kanıtlamıştır (Bayaert ve Voroney, 2011). TOC-N_{Anadolu} modelinin yalnızca yönetim pratikleri senaryosunda bu değerlerin mevcut duruma göre aşırı artmış olması literatür bilgileri ışığında kabul edilebilir bir durumdur.

Negatif etkilerin maksimum değerleri ise kuraklık senaryoları için topraktan N salımı üzerinde %94.1 olarak meydana gelmiştir (bkz. Çizelge 4.23). Azot topraktan N₂O+NO formatında salınır. Bu salım için nitrifikasyon ve denitrifikasyon döngüleri çok önemli olup döngü için gerekli optimum sıcaklıkların yanı sıra toprak tipi nemliliği en önemli faktörlerdendir (Van Cleemput vd., 1994). Bu durumda kuraklık indisi senaryosu sonucunda toprak nemliliğine bağlı olarak N salımı değerlerinin mevcut duruma göre azalıyor olması modelin tüm kompartmanlarının gerçeğe yakın simülasyonlar gerçekleştirdiğinin bir kanıtı olmaktadır.

Bu bilgiler ışığında geliştirdiğimiz TOC-N_{Anadolu} modelinin literatür değerlerine yakın veya tutarlı tahminlerde bulunduğu yorumu yapılabilir. Model farklı arazi tipi ve iklim özelliklerinin hakim olduğu bölgelerde çalıştırılarak performans karşılaştırması gerçekleştirilebilir.

6. VARGILAR VE ÖNERİLER

Geliştirilen TOCN_{Anadolu} modeli ve 50 yıllık simülasyonları neticesinde elde edilen tespitler aşağıda sunulmaktadır;

(1) Geliştirilen model orman, çayır mer'a ve ekin alanlarının C-N dinamiklerini ekosistem seviyesinde hem zamansal hem de mekansal olarak genel olarak doğru tahminlerde bulunmuştur.

(2) Ardahan havzasına özel ekstrem iklim koşulları bazı model çıktılarının; karşılaştırma için göz önünde tutulan hem küresel hem de ulusal ortalamalarından sapmasına neden olmuştur.

(3) Türkiye'de C-N zamansal-mekansal dinamiklerini farklı AKAÖ tipleri için eş zamanlı olarak nicelleştirebilen süreç temelli bir model ilk defa geliştirilmiştir.

(4) Geliştirilen model aynı zamanda hidrolojik havza modellerine girdi oluşturan karasal ekosistemlerden sucul ekosistemlere sediment taşınımı da kestirmektedir.

(5) Zaman ve mekan veri serilerini girdi olarak kullanmasından ötürü modelin kolaylıkla dinamik tahmin ve gözlemler gerçekleştirme ve valide edilmesi imkanı sağlanmıştır.

(6) Bu çalışma neticesinde 1 km çözünürlüklü evapotranspirasyon dijital verilerinin küresel ölçekte mevcut olmadığı ve bu boşluğun doldurulması gerektiği tespit edilmiştir.

(7) Kuraklık indisi senaryo analizlerine entegre edilerek iklim değişikliğinin sıcaklık, yağış ve evapotranspirasyon üzerindeki etkileri kompozit hale getirilmiştir.

(8) Özgün bir en iyi yönetim pratikleri indisi "TOC-N doygunluk", "RUSLE-C tabanlı iyileştirme potansiyeli" ve "4/1000 inisiyatifi" kavramlarına istinaden oluşturulmuştur.

(9) Etkileşim etkisi senaryosu ile karasal ve sucul C-N dinamikleri üzerindeki iklim değişikliğinin (a) CO₂ gübrelemesi ve (b) kuraklık rejimi bileşenleri ile AKAÖ dönüşümleri ve en iyi yönetim pratikleri arasındaki sinerjistik etkileri belirlenmiştir.

(10) Farklı AKAÖ, bitki fonksiyonel tipleri ve biyomlar için TOCN_{Anadolu} modelinin validasyonu gerçekleştirilmelidir.

(11) Phyton ve R gibi araçlar kullanılarak modelin girdi verileri ile çıktılarının temini daha kolay hale getirilebilir.

(12) Model çıktılarının haritalandırılması işlemi rassal ormanlar (random forests) gibi makine öğrenme algoritmaları ile kuvvetlendirilebilir.

(13) Modelin 1 km²'lik mekansal çözünürlüğü 30 m Landsat uydu verilerine uyumlu hale getirilebilir.

(14) Modelin aylık zamansal çözünürlüğü günlük olarak değiştirilerek hidrolojik modellerle entegrasyonu sağlanabilir.

(15) Arazi tahribinin dengelenmesi ve sürdürülebilir kalkınma eylemleri çerçevesinde bu modelin kullanılmasıyla sıcak ve soğuk ekosistemlerin (hotspots ve coldspots) tespiti gerçekleştirilebilir.

(16) Modelin inşasında ve çıktılarının hayata geçirilmesinde tüm paydaşların (kamu ve özel kurumlar, yöre halkı ve sivil toplum kuruluşları) katılımı sağlanmalıdır.

(17) Geliştirilen model sucul ekosistem metabolizmasına kolaylıkla eklenilebilir.

(18) Modele girdi teşkil eden uluslararası veri tabanlarının ulusal karşılıkları geliştirilmelidir.

(19) Modelin NPP alt modülü ışık kullanım etkinliği (LUE), NDVI ve APAR verileri kullanılarak geliştirilebilir.

(20) Modelin belirsizlik ve hassasiyet analizleri gerçekleştirilmelidir.

7. KAYNAKLAR

- Agren GI and Andersson FO (2012) *Terrestrial Ecosystem Ecology: Principles and Applications*, Cambridge University Press, New York
- André M, Thiery JM, and Courmac L (1992) “ECOSIMP model: prediction of CO₂ concentration changes and carbon status in closed ecosystems”, *COSPAR*
- Andrén O and Katterer T (1997) “ICBM - the Introductory Carbon Balance Model for exploration of soil carbon balances”, *Ecological Applications*, 7, 1226-1236.
- Beyaert RP and Voroney RP (2011) “Estimation of decay constants for crop residues measured over 15 years in conventional and reduced tillage systems in a coarse-textured soil in southern Ontario” *Canadian Journal of Soil Science*,
- Batjes NH (1996) “Total carbon and nitrogen in the soils of the world”, *European Journal of Soil Science*, 47, 151-163.
- Bosatta E and Agren GI (1991) “Dynamics of carbon and nitrogen in the organic matter of the soil: a generic theory”, *The American Naturalist*, 138, 227-245.
- Bonan GB (1996) “The NCAR Land Surface Model (LSM version 1.0) coupled to the NCAR Community Climate Model”, NCAR Tech. Note NCAR/TN-429 STR, 171 pp.
- Campbell EE and Paustian K (2015) “Current developments in soil organic matter modeling and the expansion of model applications: a review”, *Environmental Research Letters* 10 123004.
- Coleman K, Jenkinson DS, Crocker GJ, Grace PR, Klir J, Körschens M, Poulton PR and Richter DD (1997) “Simulating trends in soil organic carbon in long-term experiments using RothC-26.3”, *Geoderma* 81, 29-44.
- Coleman K and Jenkinson DS (1999) “RothC-26.3 – A Model for the Turnover of Carbon in Soil. Model Description and Windows Users Guide” Harpenden: IARC–Rothamsted.
- Doney SC, Lindsay K, Fung I and John J (2006) “Natural variability in a stable, 1000-yr global coupled climate–carbon cycle simulation”, *Journal of Climate* 19: 3033-3054.
- Donmez C, Berberoglu S and P Curran (2011) “Modelling the current and future spatial distribution of NPP in a Mediterranean watershed” *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.*, 13, 336–345.

- Douglas CL and Rickman RW (1992) “Estimating crop residue decomposition from air temperature, initial nitrogen content and residue placement”, *Soil Science Society of America Journal*, 56, 272-278.
- Evrendilek F, Wali MK (2001) “Modelling long-term C dynamics in croplands in the context of climate change: a case study from Ohio” *Environmental Modelling & Software* 16 (4), 361-375.
- Franko U, Oelshagel B and Schenk S (1995) “Simulation of temperature, water and nitrogen dynamics using the model”, CATENA-Verlag, *Modelling of Geo-Biosphere Processes*.
- Grace PR, Ladd JN, Robertson GP and Gage SH (2006) “SOCRATES—A simple model for predicting long-term changes in soil organic carbon in terrestrial ecosystems”, *Soil Biology & Biochemistry* 38: 1172–1176.
- Grant RF (1995) “Dynamics of water, carbon, and nitrogen in agricultural ecosystems: Simulation and experimental validation”, *Ecological Modelling*, 81, 169-181.
- Goudriaan J (1992) “Biosphere structure, carbon sequestering potential and the atmospheric ¹⁴C carbon record”, *Journal of Experimental Botany* 43: 1111-1119
- Goudriaan J and Zadoks JC (1995) “Global climate change: modelling the potential responses of agro-ecosystems with special reference to crop protection” *Environmental Pollution* 87:215-224.
- Heimann M and Keeling CD (1989) “A three dimensional model of atmospheric CO₂ transport based on observed winds: 2. Model description and simulated tracer experiments”, *American Geophysical Union*, 237-275
- Hogenboom G, Jones JW, Hunt LA, Thornton PK and Tsuji GY (1994) “An integrated decision support system for crop model applications”, *Proceedings of the American Society of Agricultural Engineers, Kansas, June 1994*, 23pp
- Irmak S, Irmak A, Allen RG and Jones JW (2003) “Solar and net radiation-based equations to estimate reference evapotranspiration in humid climates”, *J Irrig Drain Eng ASCE* 129(5):336–347.
- Izaurrealde RC, Williams JR, McGill WB, Rosenberg NJ and Jakas MCQ (2006) “Simulating soil C dynamics with EPIC: Model description and testing against long-term data”, *Ecol. Model.* 192:362-384.
- Jensen C, Stougaard B and Ostergaard HS (1994) “. Simulation of nitrogen dynamics in farmland areas of Denmark (1989-1993)”, *Soil Use and Management*, 10, 111-118.

- Kimball BA, Mauney JR, Nakayama FS and Idso SB (1993) "Effects of elevated CO₂ and climate variables on plants", *Journal of Soil and Water Conservation* 48: 9- 14.
- Li C, Frohling TA, Frohling S (1992) "A model of N₂O evolution from soil driven by rainfall events: 1. Model structure and sensitivity", *J. Geophys. Res.*, 97, pp. 9759–9776.
- Li C, Folking S and Harris R (1994) "Modelling carbon biogeochemistry in agricultural soils", *Global Biogeochemical Cycles*, 8, 237-254.
- Li C, Narayanan V and Harriss RC (1996) "Model estimates of nitrous oxide emissions from agricultural lands in the United States", *Global Biogeochemical Cycles*, 10, 297-306.
- Lin C, Liu TS and Hu TL (1987) "Assembling a model for organic residue transformation in soils", *Proceedings of the National Council (Taiwan) Part B*, 11, 175-186.
- Malhi SS and WB McGill (1982) "Nitrification in three Alberta soils: Effect of temperature, moisture and substrate concentration" *Soil Biol. Biochem.*, 14, 393-399.
- Mccown RL, Hammer GL, Hargreaves JNG, Holzworth DP and Freebairn DM (1996) "APSIM: a novel software system for model development, model testing and simulation in agricultural systems research", *Agricultural Systems*, 50, 255-271.
- Melillo JM, Houghton RA, Kicklighter DW and McGuire AD (1996) "Tropical deforestation and the global carbon budget", *Annual Review of Energy and the Environment* 21, 293-310.
- Molina JAE, Clapp CE, Shaffer MJ, Chichester FW and Larrison WE (1993) "NCSOIL, a model of nitrogen and carbon transformations in the soil: description, calibration and behaviour", *Soil Science Society of America Journal*, 47, 85-91.
- Moorhead DL and Reynolds JF (1993) "A general model of litter decomposition in the northern Chihuahuan Desert", *Ecological Modelling*, 56, 197-219.
- Munoz-Rojas M, Jordan A, Zavala LM, Gonzalez Penaloza FA, Dela Rosa D, Pino Mejías R and Anaya Romero M (2013) "Modelling soil organic carbon stocks in global change scenarios: a CarboSOIL application" *Biogeosciences* 10, 8253e8268
- Parton WJ, Schimel DS, Cole CV and Ojima DS (1987) "Analysis of factors controlling soil organic matter levels in Great Plains grasslands", *Soil Science Society of America Journal*, 51, 1173-1179.

- Parton WJ, Scurlock JMO, Ojima DS, Gilmanov TG, Scholes RJ, Schimel DS, Kirchner T, Menaut JC, Seastedt T, Garcia Moya E, Kamnalrut A and Kinyamario JL (1993) "Observations and modeling of biomass and soil organic matter dynamics for the grassland biome worldwide", *Global Biogeochemical Cycles* 7:785-809. 672.
- Potter CS, Randerson JT, Field CB, Matson PA, Vitousek PM, Moonet HA and Klooster SA (1993) "Terrestrial ecosystem production: a process model based on global satellite and surface data", *Global Biogeochemical Cycles*, 7(4), 811-841.
- Randerson JT, Thompson MV, Conway TJ, Fung IY and Field CB (1997) "The contribution of terrestrial sources and sinks to trends in the seasonal cycle of atmospheric carbon dioxide", *Global Biogeochem. Cycles*, 11, 535–560.
- Reeburgh WS (1997) "Figures summarizing the global cycles of biogeochemically important elements", *Bulletin of the Ecological Society of America* 78:260–267.
- Rhyzova IM (1993) "Analysis of soil-vegetation systems to variations in carbon turnover parameters based on a mathematical model", *Eurasian Soil Science*, 25, 43-50.
- Rijtema PE and Kroes JG (1991) "Some results of nitrogen simulation with the model ANIMO", *Fertiliser Research*, 27, 189-198.
- Running SW and Hunt Jr ER (1993) "Generalization of a forest ecosystem process model for other biomes, BIOME-BGC, and an application for global-scale models", *Scaling Physiological Processes: Leaf to Globe*. Academic Press, Inc. New York, Pp. 141-158
- Shao P, X Zeng, K Sakaguchi, RK Monson and X Zeng (2013) "Terrestrial carbon cycle: Climate relations in eight CMIP5 earth system models", *J. Clim.*, 26(22), 8744–8764.
- Siretenko OD (1991) "The USSR climate-soil-yield simulation system", *Meteorologia i Hidrologia*, 4, 67-73.
- Smith JU, Bradbury NJ and Addiscott TM (1995) "SUNDIAL: Simulation of nitrogen dynamics in arable land. A user friendly, PC based version of the Rothamsted Nitrogen Turnover Model", *Agronomy Journal*, 88, 38-43.
- Stehfest E (2005) "Modelling of Global Crop Production and Resulting N₂O Emissions" 167 pp., Cent. for Environ. Syst. Res., Int. Max Planck Res. School on Earth Syst. Modell., Univ. Kassel, Kassel, Germany.
- Thornley JHM and Channell MGR (1994) "Prediction of the effects of climate and management change on temperate grassland", *Journal of Agricultural Science*, 123, 151-152.

- Torn MS, Trumbore SE, Chadwick OA, Vitousek PM and Hendricks DM (1997) “Mineral control of soil organic carbon storage and turnover”, *Nature* 389, 170-173.
- Van Cleemput O, Vermoesen A, Degroot CJ and Vanryckeghem K (1994) “Nitrous oxide emission out of grassland” *Environ Monit Assess* 1994;31:145–52.
- Vanclooster M, Vereeken H, Diels J, Hyusmans F, Verstraete F and Feyen J (1992) “Effect of mobile and immobile water in predicting nitrogen leaching from cropped soils”, *Modelling of Geo-Biosphere Processes*, 1, 23-40.
- Wali MK, Evrendilek F, West T, Watts S, Pant D, Gibbs H and McClead B (1999) “Assessing terrestrial ecosystem sustainability usefulness of regional carbon and nitrogen models”. *Nat Resour.* 35:20–33.
- Yu D, Shi P, Shao H, Zhu W and Pan Y (2009) “Modelling net primary productivity of terrestrial ecosystems in East Asia based on an improved CASA ecosystem model”, *International Journal of Remote Sensing*, 30(18), 4851-4866.
- Zhao M, Heinsch FA, Nemani RR and Running SW (2005) “Improvements of the MODIS terrestrial gross and net primary production global data set”, *Remote sensing of Environment*, 95(2), 164-176.

8. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Kadir Yıldız

Doğum Yeri ve Tarihi : Sultanbeyli-22.04.1993

Lisans Üniversite : Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Elektronik posta : kadiryildiz19@gmail.com

İletişim Adresi : Borazanlar Mah. 430. Sok. No 2. D.4
Merkez/BOLU