



T.C. TARIM VE ORMAN BAKANLIĐI

Toprak Organik Karbonu Projesi

Teknik Özet



Teknik özeti hazırlayanlar:

Alptekin KARAGÖZ
Ayten NAMLI
Doğanay TOLUNAY
Erhan AKÇA
Erhan TERCAN
Fatih EVRENDİLEK
Gönül AYDIN
Günay ERPUL
Hamza KESKİN
Murat TÜRKEŞ
Orhan DENGİZ
Orhan DOĞAN
Taşkın ÖZTAŞ
Yalın YENER
Yasemin KAVDIR

Basıma hazırlayanlar:

Kenan ŞAHİN
Orhan DOĞAN
Özlem YAVUZ

Yayın için önerilen atıf:

ÇEM. 2018. "Toprak Organik Karbonu Projesi, Teknik Özet",
Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü,
Ankara, Türkiye.





Önsöz

Günümüz dünyasında karasal ekosistemlerin korunması tüm ülkelerin ortak amaçlarını oluşturmaktadır. UNCCD'ye taraf ülkelerin 2030 yılı için ortaya koyduğu hedef; gıda güvenliğinin sağlanması, beslenmenin iyileştirilmesi, sürdürülebilir tarımın teşvik edilmesi, ormanların sürdürülebilir yönetimi, çölleşme ile mücadele, biyoçeşitlilik kayıplarının durdurulması, kırsal fakirliğin en az düzeye indirilmesi ve arazi tahribatının dengelenmesinin sağlanmasıdır. Bütün bunların temelinde toprak varlıklarının korunması ve sürdürülebilirliğinin sağlanması hedeflenmektedir. Dolayısıyla "toprak" yönetimi sürdürülebilirliğin en önemli göstergesidir.

Karasal ekosistemlerde en büyük karbon havuzuna sahip olan toprak, mutlaka korunması gereken en duyarlı kaynaklardan birisidir. Topraklar, akılcıca yönetilirse, büyük miktarda karbon bağlama potansiyeline sahiptir; böylelikle; iklim değişikliğinin arzu edilmeyen etkilerini azaltacak ve iklim değişikliğine uyumu ciddi manada destekleyecektir.

Ülkemiz topraklarının 30 cm derinliğinde toplam organik karbon stok miktarı 3.5 milyar ton olarak hesaplanmaktadır. Bir hektarda depolanan karbon miktarı yaklaşık ormanda 56 ton, mera alanlarında 50 ton, tarım alanlarında ise 36 tondur. Sektörlerin Türkiye ortalaması ise 44 ton olarak belirlenmiştir. Amaç özellikle mera ve tarım alanlarında toprak organik karbon stoklarını bilinçli ve sürdürülebilir yönetimle daha üst düzeye çıkarmak olmalıdır. Böylece arazi tahribatının dengelenmesi çalışmalarında daha etkin olunabilecektir.

Bilindiği gibi arazi tahribatının dengelenmesine yönelik belirlenen 3 küresel göstergeden (arazi örtüsü, arazi üretkenliği, karbon stokları) birisi olan Toprak Organik Karbonuna ilişkin;

- Türkiye'nin karbon stokunun belirlenmesi,
- Toprak organik karbon stokunda yaşanan değişimin izlenmesi,
- Karbon stokunun artırılmasına yönelik çalışmalar yapılması hedefleri doğrultusunda Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü ve TÜBİTAK-BİLGEM-YTE işbirliği ile 5 Nisan 2017 tarihinde başlanan ve 15.5 ay süren çalışmalar neticesinde Toprak Organik Karbon Projesi başarıyla tamamlanmıştır.

Bu çalışmayla, Türkiye topraklarında bulunan organik karbon stoku belirlenmiş ve ülke olarak ortaya konulan stok artışındaki hedeflerin gerçekleştirilmesi için gerekli altyapı hazırlanmıştır. Çalışma, toprak konusunda faaliyet gösteren bütün kamu kurum ve kuruluşlarının yürüteceği faaliyetlere altlık teşkil edecektir. Ayrıca yapılacak çalışmaların toprak organik karbonuna etkisinin önceden tahmin edilmesi ile daha etkin kararların alınması ve politikaların geliştirilmesi sağlanacaktır.

Eserin hazırlanmasında emeği geçen tüm akademisyenlere, uygulayıcı arkadaşlarımıza ve yayına hazırlayan ekibe teşekkür ederim. Eserin doğal kaynakların korunmasında ve sürdürülebilirliğinin sağlanmasında çaba harcayan kurum, kuruluş ve uluslara yararlı olmasını gönülden temenni ederim.

Dr. Ahmet İPEK
Genel Müdür



İçindekiler

YÖNETİCİ ÖZETİ	4
1. GİRİŞ	7
2. TOPRAK ORGANİK KARBONU	9
3. TÜRKİYE TOPRAKLARINDAKİ ORGANİK KARBON STOKLARININ MODELLENMESİ ÇALIŞMALARI	11
4. TÜRKİYE TOPRAKLARINDAKİ ORGANİK KARBON STOKLARI	18
5. TÜRKİYE KARBON ODAKLI BİYOCOĞRAFYA BÖLGELERİ (KOB)	23
6. SENARYO ANALİZLERİ	25
7. ÖNCELİKLENDİRİLMİŞ SİSTEMATİK İZLEME NOKTALARI	27
8. BOŞLUK VE BELİRSİZLİK ANALİZLERİ	29
9. SONUÇ, GEREKSİNİMLER VE ÖNERİLER	30
10. ANA KAYNAK	32
PROJEDE GÖREV ALANLAR	32





Kısaltmalar

Kısaltma	Açıklama
AHP	Analytic Hierarchy Process - Analitik Hiyerarşi Süreci
AKAÖ	Arazi Kullanımı-Arazi Örtüsü
ATD	Arazi Tahribatının Dengelenmesi - Land Degradation Neutrality (LDN)
BİLGEM	Bilişim ve Bilgi Güvenliği İleri Teknolojiler Araştırma Merkezi
BMİDÇS	Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
CORINE	Coordination of Information on The Environment - Çevresel Bilginin Koordinasyonu
ÇEM	Çölleşme ve Erozyonla Mücadele
FAO	Food and Agriculture Organization - Gıda ve Tarım Örgütü
ICP Forest	International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests (Hava Kirliliğinin Ormanlar Üzerindeki Etkilerinin İzlenmesi ve Değerlendirilmesi Uluslararası İşbirliği Programı)
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change - Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli
IQR	Interquartile Range - Çeyrekler arası aralık (%25 ve %75 değerleri arasındaki fark)
LULUCF	Land Use, Land Use Change and Forestry - Arazi Kullanımı, Arazi Kullanım Değişikliği ve Ormancılık (AKAKDO)
NPP	Net Primary Productivity - Net Birincil Verimlilik
TOK	Toprak Organik Karbonu
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
UNCCD	United Nations Convention to Combat Desertification - Birleşmiş Milletler Çölleşmeyle Mücadele Sözleşmesi (BMÇMS)
YTE	Yazılım Teknolojileri Araştırma Enstitüsü

Yönetici Özeti

Türkiye'nin ev sahipliğinde 12-23 Ekim 2015 tarihleri arasında Ankara'da gerçekleştirilen Birleşmiş Milletler Çölleşme ile Mücadele Sözleşmesi 12. Taraflar Konferansında (UNCCD COP12); Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma 15.3 Hedefine yönelik, 2030 yılına kadar ülkelerin gönüllü olarak belirttikleri Arazi Tahribatının Dengelenmesi (ATD) hedeflerinin belirlenmesi ile yapılan çalışmaların ve arazi tahribatı eğilimlerinin izlenmesi kararlaştırılmıştır. Bu sebeple ATD'nin belirlenmesinde ve izlenmesinde kullanılabilirliği öngörülen 3 küresel gösterge (Arazi Örtüsü, Arazi Üretkenliği, Karbon Stokları) ile ilgili çalışmaların, özellikle de toprak organik karbonunun (TOK), ulusal ölçekli stok miktarının belirlenmesi, zamansal ve alansal değişkenliğinin izlenmesi ve stok miktarının korunmasına ve artırılmasına yönelik çalışmaların yapılması öncelikli hedefler haline gelmiştir.

Toprak Organik Karbonu (TOK); arazi tahribatının dengelenmesi, ülke topraklarının sürdürülebilir kullanımı ve iklim değişikliğinin yarattığı olumsuz etkilerinin azaltılması ve/veya giderilmesi açısından son derece önemli ve etkin bir göstergedir. Ulusal ölçekte TOK stoklarının düşük, yeterli veya yüksek olduğu arazi kullanım türlerinin belirlenmesi ve konularının haritalanması ulusal arazi kullanım politikalarının geliştirilmesi için de gereklidir. Bu bağlamda, Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü (ÇEM) ve TÜBİTAK-BİLGEM-YTE işbirliği ile yürütülen "Türkiye Toprak Organik Karbonu (KARBON) Projesi" sonucunda, yüksek çözünürlüklü ve çok ayrıntılı bir Türkiye Toprak Organik Karbonu Stok Haritası hazırlanmıştır.

KARBON Projesinde, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü (TAGEM) başta olmak üzere çeşitli kamu kurumları, üniversiteler ve kaynaklardan temin edilen koordinatları belli 21.061 noktaya ait mevcut ve güncel veri setleri oluşturulmuş ve bu veriler çeşitli karar kurallarından geçirildikten sonra değerlendirmeye alınmıştır. Farklı arazi kullanımına ait toprak organik karbon stoklarının karşılaştırılabilir olması için TOK Stok Haritasının 0-30 cm toprak derinliği için ve taşlılık dikkate alınmadan hazırlanması kararlaştırılmıştır. TOK stok modellemesi ve haritalaması için Random Forest makine öğrenme algoritması kullanılmıştır. Mekânsal ve zamansal dinamikliğe sahip Türkiye TOK Modelinde; iklim, arazi kullanımı ve arazi örtüsü (AKAÖ), toprak, ana materyal, topografya ve net birincil üretim ana kriterleri altında 260 değişken tanımlanmıştır. Bunlar arasından Tablo 3'te sunulan 16 değişkenin toprakta organik karbonun davranışını en iyi şekilde temsil ettiği belirlenmiş ve söz konusu 16 değişken kullanılarak model haritası üretilmiştir. Tüm verilerin % 70'inin eğitim ve % 30'unun doğrulama veri kümesi olarak kullanıldığı Türkiye TOK Modelinin doğrulama "r" değeri 0.65 olarak belirlenmiştir.

Projede, Türkiye TOK Stok Haritasının üretilmesinin yanı sıra, Ulusal toprak kaynaklarımızın organik karbon içerik dağılım analizleri de; AKAÖ, yükselti, arazi bozulumu /çölleşme risk sınıflarına göre farklı ölçeklerde (havza, TOK odaklı biyocoğrafya bölgeleri, coğrafi bölgeler, il ve ilçe tabanlı) yapılmıştır. Ayrıca, proje kapsamında senaryo-haritalama analizleri yardımıyla, AKAÖ dönüşümleri ve yönetim pratiklerinin TOK stokları üzerindeki etkileri değerlendirilmiş ve gelecek 25 yıl için en iyi yönetim senaryosuna göre potansiyel TOK stok artışı haritası ile TOK açısından sıcak-soğuk alanların dağılım haritası da üretilmiştir.



Bu çalışma sonucunda Türkiye'nin 30 cm toprak derinliğinde toplam karbon stok miktarı 3.51 milyar ton olarak belirlenmiştir. Toprak C stok miktarının en fazla depolandığı alanlar orman alanları (%38.33) olup bunu %33.39 ile mera ve %26.94 ile tarım alanları izlemektedir. Sulak alanlar ve su yüzeyleri ile yapay ve çıplak alanlardaki TOK stokları ise Türkiye toplam TOK stokunun ancak %1.36'ün oluşturmaktadır. Modelleme sonucunda 6 arazi kullanım sınıfı için birim alandaki ortalama karbon miktarları;

- **Orman Alanları için** 55.68 ton C ha⁻¹,
- **Mera Alanları için** 49.77 ton C ha⁻¹,
- **Sulak Alanlar ve Su Yüzeyleri için** 49.71 ton C ha⁻¹,
- **Tarım Alanları için** 35.96 ton C ha⁻¹,
- **Yapay Alanlar için** 16.12 ton C ha⁻¹
- **Çıplak Alanlar için** 12.78 ton C ha⁻¹ olarak tahmin edilmiştir.

Yoğun çalışma sonucu üretilen Türkiye TOK stok haritası aşağıda sunulmuştur.

Havza ölçeğinde en yüksek birim TOK miktarı "Doğu Karadeniz Havzasında" (100.68 ton C ha⁻¹), en düşük birim TOK miktarı ise "Meriç Ergene" (34.03 ton C ha⁻¹) havzasında belirlenmiştir. TOK dağılım istatistikleri 2015 yılında ÇEM-TUBİTAK/BİLGEM işbirliği ile üretilen Türkiye Çölleşme Risk Haritası istatistikleri ile de uyumludur. TOK miktarı "Çok Düşük-Düşük" çölleşme risk sınıfında en yüksek (63.79 ton C ha⁻¹), "Çok Yüksek-Çok Yüksek" çölleşme risk sınıfında ise en düşük (31.49 ton C ha⁻¹) bulunmuştur.

Bilindiği üzere, Türkiye topraklarının mevcut organik karbon stoklarının belirlenmesi bağlamında, büyük ölçüde tarım topraklarına ait organik karbon değerleri kullanılarak TAGEM tarafından üretilen ve hali hazırda FAO tarafından hizmete ve kullanıma sunulan bir "Türkiye Topraklarının Karbon Bütçesi Haritası" da mevcuttur. TAGEM-Karbon Bütçesi Haritası verilerine ilave olarak, farklı arazi kullanımı altındaki topraklara ait organik karbon verilerinin de kullanıldığı ÇEM-TÜBİTAK Türkiye TOK Modeli, Türkiye topraklarının güncel organik karbon potansiyelini ve arazi kullanım değişkenliklerine bağlı eğilimleri de içeren farklı yönetim senaryolarına yönelik analiz olanağı sunmakta ve yüksek çözünürlükte dağılım haritalarının hazırlanmasına olanak vermektedir. Proje çıktılarının aynı zamanda her yıl düzenli olarak hazırlanan Sera Gazları Ulusal Envanterinin Arazi Kullanımı, Arazi Kullanım Değişikliği ve Ormancılık (AKAKDO/LULUCF) sektörüne de katkı sağlayacağı düşünülmektedir.



1 GİRİŞ

Sanayi devriminden itibaren hızlı nüfus artışına bağlı olarak ortaya çıkan beslenme, barınma, istihdam ve enerji gereksinimlerinin karşılanması amacıyla daha fazla fosil yakıt, maden, orman ve tarımsal ürün kullanılmaya başlanmış, tarımsal üretimi arttırmak için topraklar daha yoğun işlenmiş, kimyasal gübre ve ilaç kullanımı artmış, tarım, orman ve mera alanları plansız sanayileşme ve kentleşme ile baskı altında kalmıştır. Bu durumun önceleri çeşitli çevre kirliliği sorunlarının ortaya çıkmasına yol açtığı kabullenilmekle birlikte, XX. yy'ın sonlarına doğru başta fosil yakıt kullanımı ve arazi kullanım değişikliklerinden kaynaklanan bir küresel ısınma olduğu ve küresel ısınmanın da iklim değişikliğine yol açtığı anlaşılmıştır. Benzer şekilde doğal-yarı doğal ekosistemlerin tahrip edilmesinin biyolojik çeşitliliği azalttığı ve özellikle yarı kurak ve kurak alanlarda çölleşmeye neden olduğu da ortaya konmuştur. Böylece 1992 yılında iklim değişikliği ve biyolojik çeşitlilik sözleşmesi, 1994 yılında ise çölleşmeyle mücadele sözleşmesi imzalanmıştır.

Her üç sözleşmenin de kesişim noktalarından birisi arazi kullanım değişiklikleri ve arazi tahribatlarıdır. Nitekim Ulusal Sera Gazları Envanter Raporlarının hazırlanmasında envanteri hazırlanacak sektörlerden birisi Arazi Kullanımı, Arazi Kullanım Değişikliği ve Ormancılık (LULUCF/AKAKDO)'tır. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Sekreteriyasına her yıl (UNFCCC) IPCC tarafından hazırlanmış olan kılavuzlara göre altı sektör (enerji, endüstriyel süreçler ve ürün kullanımı, tarım, LULUCF, atık, diğer) raporlama yapılmaktadır. LULUCF sektöründe altı arazi kullanımında (tarım, orman, otlak/mera, sulak alanlar, yerleşim ve diğer arazi kullanımları) biyokütle (toprak altı ve toprak üstü biyokütle), ölü organik madde (ölü örtü ve ölü odun) ve toprak karbon havuzlarından gerçekleşen karbon tutulumları ya da emisyonları hesaplanmaktadır. Hesaplamaların hem arazi kullanım değişikliği olmayan alanlar hem de arazi kullanım değişikliği olan alanlar için karbon havuzları bazında ayrı ayrı yapılması gerekmektedir. Bu karbon havuzlarından en yüksek karbon stoku topraklarda bulunmaktadır.

Topraklar sadece küresel ısınma açısından önemli değildir. Toprakların sürdürülebilir olarak kullanımı daha 1992 yılında Rio Zirvesinde "Sürdürülebilir Arazi Yönetimi (SAY)" yaklaşımı olarak gündeme gelmiştir. SAY'ın amacı toprakların özelliklerinin bilinerek bu özelliklere göre toprakların planlı, dengeli ve bilinçli olarak devamlılığını ve verimliliğini riske atmadan yönetmektir. Nitekim sürdürülebilir olarak yönetilmeyen arazilerde toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri bozulmakta, araziler ekolojik ve ekonomik verimliliklerini kaybetmektedir. Arazi tahribatı olarak adlandırılan bu süreç çölleşmenin de ana faktörlerindedir.

İklim değişikliği ve çölleşme gibi küresel boyuttaki ekolojik sorunların dünyamızı tehdit eder bir boyuta gelmesi ve bu sorunların yoksulluğa, açlığa, sağlığa, temiz suya ulaşımına, biyolojik çeşitliliğin azalmasına ve diğer sorunlara yol açması nedeniyle Birleşmiş Milletler tarafından "Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri (SKH)" oluşturulmuştur. SKH toplamda 17 adet olup sürdürülebilir arazi yönetimi neredeyse tüm hedefler ile ilgilidir.

Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerinden 15 numaralı hedef "Karasal ekosistemleri korumak, restore etmek ve sürdürülebilir kullanımını sağlamak, ormanların sürdürülebilir kullanımını sağlamak, çölleşme ile mücadele etmek, toprakların verimlilik kaybını durdurmak ve geriye çevirmek ve biyoçeşitlilik kaybını durdurmak" şeklinde açıklanmış olup karasal ekosistemlerle ilgilidir. Bu hedef altında "çölleşme, kuraklık ve sellerden etkilenmiş araziler de dâhil olmak üzere tahribata uğramış arazi ve toprakların ıslahı ve arazi tahribatı dengelenmiş bir dünyaya erişmek için çabalamak" şeklinde bir alt hedef açıklanmıştır. 15.3 numaralı bu alt SKH ile de arazi tahribatının dengelenmesi (ATD) yaklaşımı oluşturulmuştur.

Ülkemiz ev sahipliğinde 12-23 Ekim 2015 tarihlerinde Ankara'da gerçekleştirilen Birleşmiş Milletler Çölleşme ile Mücadele Sözleşmesi 12. Taraflar Konferansı (UNCCD COP12)'nda 2030

yılına kadar ülkelerin gönüllü ATD hedeflerinin belirlenmesi, yapılan çalışmaların ve arazi tahribatı eğilimlerinin izlenmesi kararlaştırılmıştır. Türkiye’de bu karar üzerine 2016 yılında Türkiye Arazi Tahribatının Dengelenmesi Ulusal Raporunu UNCCD Sekretaryasına sunarak öncü olmuştur.

Ülke genelinde tahrip olan ve olması muhtemel arazilerin Sürdürülebilir Arazi Yönetimi uygulamaları ve rehabilitasyon faaliyetleriyle belli bir hedef yılı kadar dengelenmesi şeklinde özetlenebilecek ATD yaklaşımında, UNCCD tarafından arazi tahribatının ortaya konması ve yapılacak dengeleme çalışmalarının izlenmesi için üç ana gösterge belirlenmiştir. Bunlar; 1) arazi örtüsü ve arazi kullanım değişiklikleri, 2) net birincil üretim (NPP) ve 3) toprak üstü ve toprak altı karbon stoklarıdır. Ayrıca biyoçeşitlilik ve ekosistem hizmetleri, sosyo-ekonomik koşullardaki eğilimler, topraklardaki N, P, K stokları, tuzlanma gibi göstergelerin de ATD’nin belirlenmesi ve izlenmesi için kullanılabilmesi UNCCD tarafından açıklanmıştır. Ancak oldukça yeni olan ATD yaklaşımında yukarıda verilen ilk 3 gösterge ön plana çıkmaktadır. Nitekim 6-16 Eylül 2017 tarihlerinde Çin’in Ordos kentinde düzenlenen 13. Taraflar Konferansında (COP 13) imzalanan UNCCD 2018-2030 Stratejik Çerçeve Belgesinde “Çölleşme/arazi tahribatını önleyen, en aza indirgeyen ve tersine çeviren, her seviyeden etkilenen alanlardaki kuraklığın etkilerini hafifleten bir gelecek ve 2030 Sürdürülebilir Kalkınma Gündemi ile tutarlı bir arazi tahribatının dengede olduğu bir dünya elde etmeye çalışmak” vizyon olarak belirlenmiştir. Bu vizyona ulaşmak için belirlenen 5 stratejik amaçtan birincisi “Etkilenmiş ekosistemlerin koşullarını iyileştirmek, çölleşme/arazi tahribatıyla mücadele etmek, sürdürülebilir arazi yönetimini teşvik etmek ve ATD’ye katkıda bulunmak”tır. Bu stratejik amaçın raporlanması için kullanılacak göstergeler olarak ise; 1) arazi örtüsündeki eğilimler, 2) arazi verimliliği veya arazi işlevselliğindeki eğilimler, 3) toprak üstü ve toprak altı karbon stoklarındaki eğilimler kabul edilmiştir.

Türkiye imzalanan uluslararası sözleşmeler gereği ve ATD yaklaşımında öncü pozisyonu olması nedeniyle Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü tarafından ülkemizin durumunun ortaya konması ve izleme çalışmalarına altlık olması için çeşitli projeler başlatılmıştır. Bu projelerden birisi de TÜBİTAK-BİLGEM ve ÇEM işbirliğinde devam etmekte olan Ulusal Arazi Örtüsü/Kullanımı Sınıflandırma ve İzleme Sistemi (UASIS) projesidir. Bir diğer proje ise yine TÜBİTAK-ÇEM işbirliğinde hazırlanan ve sonuç raporu sunulan Toprak Organik Karbonu Projesidir. Böylece ÇEM tarafından ATD göstergelerinden ikisi için çalışmalar başlatılmış ve bunlardan TOK projesi sonuçlanma aşamasına gelmiştir.

Toprak Organik Karbonu Projesi ile;

- CORINE Seviye 1 ve Seviye 3’e göre çeşitli arazi kullanım/arazi örtüsü sınıflarında 0–30 cm toprak derinliğindeki TOK stoklarının hesaplanması,
- Arazi Tahribatının Dengelenmesi Ulusal Raporunun hazırlanmasında, gözden geçirilmesinde, doğrulanmasında ve izlenmesinde kullanılabilen veri üretilmesi,
- TOK stokları konusunda bildirim yapılamaya başlanan ulusal sera gazları envanter raporunun hazırlanmasına katkı sağlanması, bu kapsamda UNFCCC tarafından istenen tamlik, şeffaflık, tutarlılık, doğruluk ve karşılaştırılabilirlik ölçütlerinin de yerine getirilebilmesi,
- Arazi kullanım kararlarının TOK stoklarını etkileme düzeylerinin hesaplanmasına olanak sağlanması ve karar vericilere yol gösterici veri üretilmesi,
- Toprak organik maddesini arttırmaya yönelik yeşillendirme, toprak işlemez tarım vb. uygulamalarda öncelik verilecek arazilerin belirlenmesine katkı sağlanması

amaçları hedeflenmiştir.



2

TOPRAK ORGANİK KARBONU

Toprak organik karbonu (TOK), toprak organik maddesi içerisinde oluşan karbonu ifade eder. Toprak organik maddesinin fraksiyonları, değişen oranda ve ara ürün düzeyinde mikroorganizmaların da dahil olduğu aktif (labile, kararsız) organik fraksiyon (% 40) ve dirençli veya kararlı (stabile) organik madde (% 40-60)'dir. Taze artıklar ve çözünebilir materyaller organik maddenin aktif kısmını oluşturup bunların ayrışmaları oldukça hızlıdır. Aktif (labile) karbon fraksiyonu temel toprak kimyasal ve fiziksel özelliklerinin göstergesi iken, toprak organik maddesinin dirençli kısmı hem fiziksel hem de kimyasal olarak korunduğundan ayrışmaya dayanıklıdır. Toprak organik maddesinin dirençli veya kararlı fraksiyonu agregat oluşumu boyunca gelişen agregatlar tarafından tutulmakta ve mikrobiyal tüketimden korunmaktadır. Temel olarak besin tutma kapasitesine (katyon değişim kapasitesi) ve toprak rengine katkıda bulunmaktadır. Bu organik madde fraksiyonu çok yavaş bozulduğundan dolayı, toprak verimliliği üzerinde aktif organik fraksiyondan daha az etkiye sahiptir. Humik maddeler kararlı yapıda olup, karmaşık yapılı, çözünüp ayrışması çok zor olan materyallerdir. Bu materyaller doğal fiziksel ve kimyasal süreçlerde ayrıştırılamazlar. Bununla birlikte toprak organik maddesinin yaklaşık %2 ile % 5'i yıllık olarak ayrışmaktadır.

Toprak organik maddesinde ve ayrılan bitki materyalindeki karbon (C) miktarı canlı biyolojik kütleden 2-3 kez daha fazladır. TOK; bitki ve hayvan kalıntılarının, kök salgılarının, canlı ve ölü mikroorganizmaların ve toprak biyotasının ayrışması yoluyla toprağa girmektedir. İnorganik formlarının meydana geldiği durumlar hariç, karbonun çoğu toprak organik karbonu olarak adlandırılmaktadır. TOK, atmosfer, bitki örtüsü, toprak, nehirler ve okyanus arasındaki küresel karbon döngüsünün kilit bir unsurunu oluşturmaktadır. Diğer yandan, TOK; toprak organik maddesinin ana bileşenidir ve toprak strüktürünün stabilizasyonu, besinler, toprakta

suyun infiltrasyonu ve depolanması vb. temel toprak fonksiyonlarını desteklediğinden toprak sağlığı, verimliliği ve gıda üretimi açısından kritik öneme sahiptir.

Topraklar en büyük karasal organik karbon havuzudur ve jeolojik yapıya, iklim koşullarına ve arazi kullanımı ve yönetimine (diğer çevresel faktörler arasında) bağlı olarak farklı miktarlarda TOK barındırmaktadır. TOK, arazi kullanımı ve yönetimindeki değişikliklerle toprak sıcaklığındaki ve nemdeki değişikliklere karşı oldukça hassastır. Yirminci yüzyılın son yıllarında, arazi kullanımı ve yönetimindeki değişiklikler, özellikle orman ve otlak alanlarının plansız biçimde tarıma dönüştürülmesi, küresel boyutta TOK seviyelerinde önemli bir düşüşe neden olmuştur. TOK kaybı belirli bir dereceye kadar toprak bozulmasına işaret etmektedir. Aşırı sulama veya toprağı çıplak bırakmak gibi yanlış yönetim uygulamaları toprakların verimliliğini tehlikeye sokarak organik karbon kaybına ve şiddetli erozyona yol açmaktadır. TOK kaybı sadece toprak sağlığını ve gıda üretimini olumsuz yönde etkilemekle kalmayıp, iklim değişikliğini de tetiklemektedir. Toprak organik maddesi, biyosferdeki en büyük karbon havuzlarından biridir ve hem iklim değişikliğinin bir itici gücü hem de iklim değişikliğine karşı hareket etme yeteneğine sahiptir. İklim değişikliğinin topraktaki organik madde üzerinde nasıl bir etkisi olacağı önemli bir tartışma konusudur. Küresel ısınmanın ve atmosferdeki CO₂ düzeyinin artmasının, artan bitki büyümesini destekleyebileceği ve bunun da toprakta organik girdi miktarını artıracığı kabul edilmektedir. Diğer yandan, hava sıcaklığındaki yükselişin topraktaki bozunmayı ve toprak organik maddesinin kaybını artırması muhtemeldir. Ayrıca yağışların azaldığı alanlarda fotosentez ile üretilen organik madde miktarı azaldığı için de toprağa organik madde girişinin azalması da söz konusu olabilecektir.



Doğal ekosistemlerde topraktaki organik karbon bölgenin enleminden ve yıllık yağış miktarından etkilenmektedir. Ekvatordan güney ve kuzeye doğru gidildikçe TOK miktarı artış göstermektedir. Yağış miktarındaki artış da doğal ekosistemlerde depolanan karbon miktarını artırmaktadır. Toprak yüzeyinden derine inildikçe organik karbon miktarı azalma göstermekte, yüzeyde depolanan organik karbon miktarı ise toprakta besin element döngüsünü ve atmosferle olan gaz değişimini doğrudan etkilemektedir.

Fosil yakıtlar, ayrışma vb. yollarla topraktan atmosfere salınan karbonun yeniden toprağa kazanılmasında en doğru yol bitkiler tarafından fotosentezle tekrar organik yapıya bağlanmasıdır. Toprak organik maddesi ayrıştırıldığında, atmosfere karbon içerikli (CO_2 ve CH_4) sera gazları salınmaktadır. Bu salımlar çok yüksek oranlarda gerçekleşirse sıcaklık artışı kaçınılmaz olmaktadır. Öte yandan, TOK stokları uygun yönetim planları ile artırılabilir ve böylece atmosferik CO_2 konsantrasyonunun azaltılmasına katkı sağlanarak iklim değişikliğinin etkisi azaltılabilmektedir.

Toprağa ilave olan organik karbon miktarı, topraktan ayrışma yoluyla kaybolan karbon miktarından fazlaysa toprağın organik karbon içeriği artar. TOK'unun korunması tarım alanlarında malçlama, toprak yüzeyini bitkilendirme, dengeli gübreleme ve uygun sulama gibi sürdürülebilir toprak yönetimiyle sağlanabilir. Orman alanlarında da aralama şiddetinin düşük tutulması, idare süresinin uzatılması gibi uygulamalar TOK stoklarının artmasına katkı sağlar. Toprak organik karbonundaki azalma toprağın biyolojik çeşitliliğinin azalmasına yol açarak besin zinciri dengesinin bozulmasına sebep olur ve bu da toprak ekolojisini olumsuz etkiler. Toprak işleme, agregatları parçaladığı için agregatlarda korunan toprak karbonunu mikrobiyal ayrışmaya açık hale getirir. Sıfır toprak işleme veya azaltılmış toprak işleme gibi toprakta karbon kaybını azaltan bazı yöntemler toprak organik karbonunu artırır, toprak erozyonunu azaltır, toprak nemini korur ve sera gazı emisyonlarını azaltır. Kompost, ahır gübresi, hasat artıkları vb. organik materyallerin toprağa uygulanmaları ve nadas süresinin kısaltılması da toprak organik karbonunun artmasına yardımcı olmaktadır. Mera ot yönetimi ve baklagil yetiştiriciliği, hem yem verimini hem de toprak karbon miktarını artırmaktadır. Tarımsal ormancılık uygulamaları karbonun depolanmasını sağlar ve toprak erozyonunu azaltabilir, sellere, toprak kaymalarına ve kuraklığa karşı dayanıklılığı artırabilir, toprak organik maddesini artırabilir ve diğer tarım şekillerine göre biyoçeşitlilik üzerinde daha fazla etkisi vardır.

Toprak organik karbonunun kaynağını oluşturan organik madde, karasal ekosistem üretkenliğinin ve toprak verimliliğinin de önemli bir göstergesidir. Bitkinin ihtiyaç duyduğu bitki besin elementlerinden azot, fosfor ve kükürt başta olmak üzere birçok bitki besin maddesinin temel kaynağını toprak organik maddesi oluşturmaktadır. Türkiye topraklarının önemli bir kısmında organik madde miktarı oldukça düşük olup, yüzey topraklarında genellikle %0.5 ile %6 arasında değişmektedir. İç Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölge toprakları organik madde yönünden oldukça fakir, Karadeniz, Doğu Anadolu ve Akdeniz bölge toprakları ise organik madde yönünden nispeten daha zengindir.



3

TÜRKİYE TOPRAKLARINDAKİ ORGANİK KARBON STOKLARININ MODELLENMESİ ÇALIŞMALARI

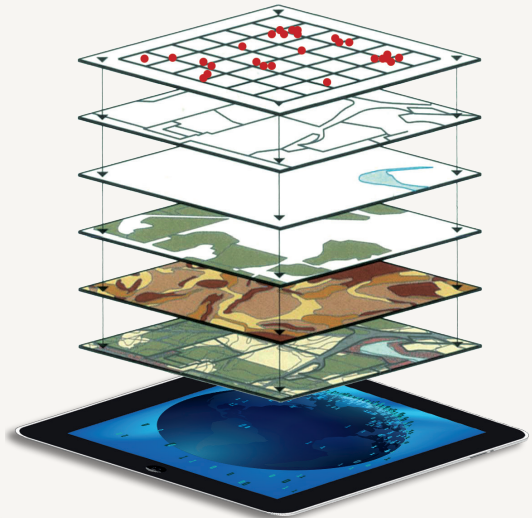
3.1. Model Seçimi

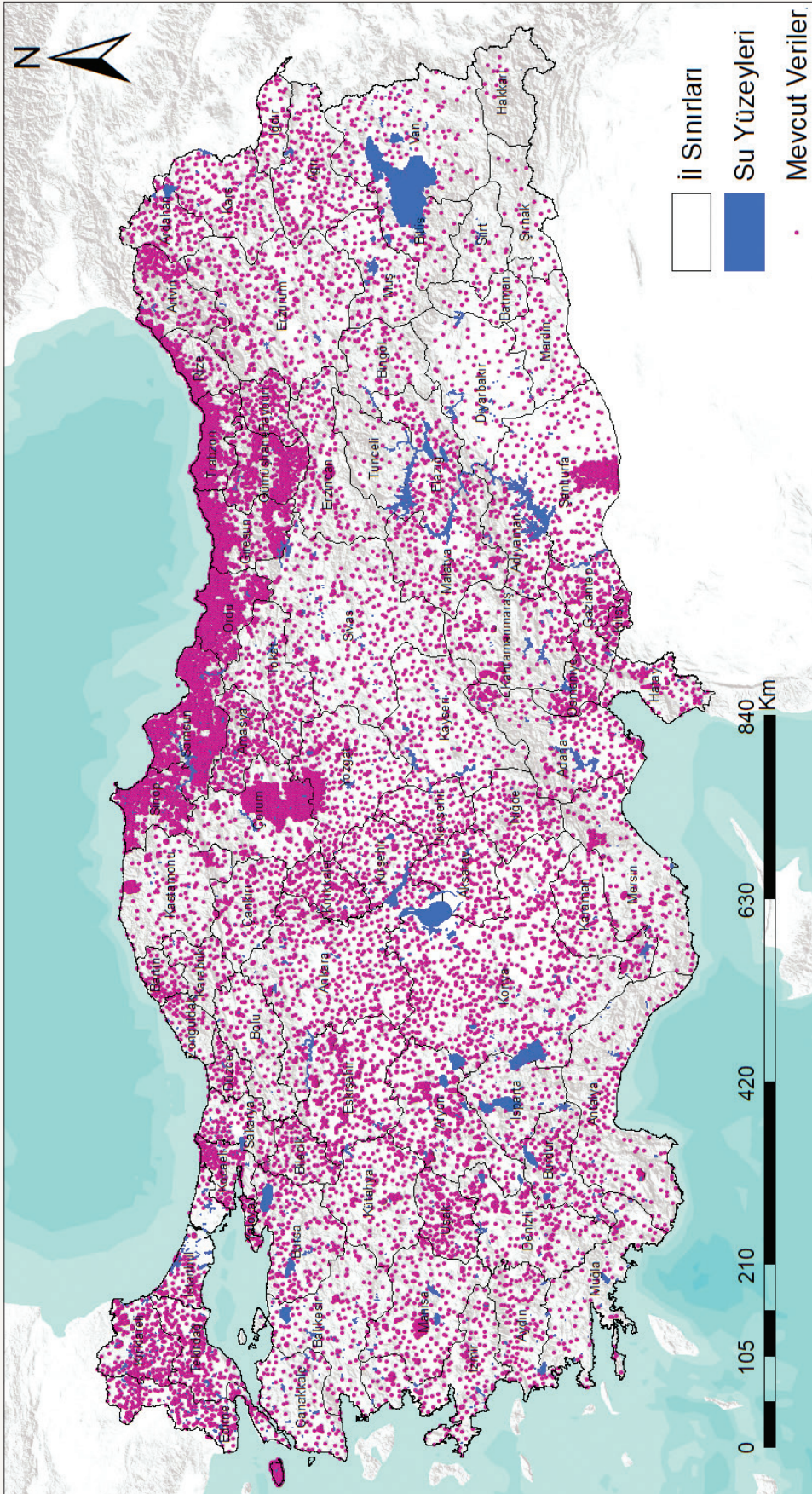
TOK stoklarının modellenmesi konusunda çok sayıda makale ve kullanılan model bulunmaktadır. Örneğin BMİDÇS kapsamında hazırlanan sera gazları ulusal envanterlerinde çeşitli ülkeler mekanistik (süreç tabanlı) ROTHC, CENTURY, YASSO07, CBM-CFS3 gibi modelleri kullanmaktadır. Bu modellerin çalıştırılabilmesi için topraklara organik madde girişi, bu organik maddelerin ayrışma oranları ve C, N, C/N, lignin içerikleri gibi girdilere gereksinim bulunmaktadır. Ancak ülkemiz koşullarında söz konusu girdilere ait araştırmaların oldukça sınırlı olduğu da literatür araştırması sırasında ortaya konmuştur. Bunun üzerine toprak, iklim, anakaya/anamateryal, arazi kullanımı, vejetasyon ve topoğrafik faktörler ile TOK arasındaki ilişkiler dayanarak verisi olmayan alanlar için tahminlere olanak sağlayan modellere odaklanılmıştır. Bunun için de krigingleme ve makine öğrenme algoritmaları incelenmiş, bunlardan bir makine öğrenme algoritması olan Random Forest modelinin kullanılmasına karar verilmiştir.

3.2. Veri Seti Oluşturulması

Modelin çalıştırılabilmesi için öncelikle toprak organik karbonunun ölçüldüğü araştırmalara odaklanılmış ve çeşitli bakanlıklarca ve üniversitelerce toprak organik karbonun ölçüldüğü çok sayıda araştırma bulunduğu belirlenmiştir. Ancak bu araştırmaların bir bölümü koordinat verisi olmaması, sadece üst toprağın 5-10 cm'sinin örneklenmesi, hacim ağırlığı ve taşlılık verilerinin olmaması, veri kalitesindeki belirsizlikler ya da örnekleme tarihlerinin eski olması nedeniyle incelenmemiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda orman topraklarındaki örneklemlerin çoğunlukla bir

metre derinliğe kadar yapılmasına rağmen tarım ve mera topraklarında 0-30 cm ile sınırlı kaldığından, Türkiye'deki TOK stoklarının 30 cm derinlik kademesi için hesaplanmasının gerektiğine ve ayrıca 2007 yılından önceki verilerin de kullanılmamasının doğru olacağına karar verilmiştir. Sonuç olarak, Proje ekibi tarafından koordinat bilgilerine ulaşılabilen ve veri kalitesi kontrol edilebilen 24 farklı kaynağın kullanılabilmesi ve toplam 21.061 noktaya ait verinin derlenerek modelleme ve haritalama çalışmalarında altlık oluşturabileceği belirlenmiştir. Bu aşamada orman topraklarında taşlılık verisi olmasına rağmen tarım ve mera alanlarında önemli eksikler olduğu için sonuçların karşılaştırılabilirliği açısından TOK stoklarının taşlılık dikkate alınmadan hesaplanmasına karar verilmiştir. Hacim ağırlığı verisi olmayan veri setleri için ise pedotransfer yöntemleri ile hacim ağırlıkları tahmin edilmiştir. TOK stokları 0-30 cm derinlik için ton C ha⁻¹ olarak hesaplanmıştır. 21.061 adet veri setinden; karbon değeri olmayan / hesaplanamayan noktalar, hatalı noktalar ve mükerrer noktalar çıkartıldığında 19.310 adet nokta kalmaktadır. Veri setindeki noktaların arazi kullanımına dağılımı Tablo 1'de, TOK stoklarına ilişkin betimleyici istatistikler ise Tablo 2'de gösterilmiştir.





TOK Projesi Kapsamında Derlenen Mevcut Verilerin Konumsal Dağılımları

**Tablo 1.** Mevcut Noktaların Arazi Kullanım Türlerin Göre Dağılımları

Arazi Kullanım Türü	Nokta Sayısı	Oranı (%)
Çıplak Alanlar ve Diğerleri	53	0,3
Yapay Alanlar (Yerleşim vb.)	300	1,4
Tarım Alanları	9702	46,1
Mera, Çalı, Çayır, Seyrek Vegetasyon	5636	26,7
Orman	5219	24,8
Sulak Alanlar ve Su Yüzeyleri	83	0,4
Tanımsız	68	0,3
Toplam	21061	100,0

Tablo 2. Veri setindeki TOK stoklarına (ton C ha⁻¹) İlişkin Betimleyici İstatistikler

İstatistik	Değer
Ortalama	51,26
Standart Hata	0,30
Ortanca	39,70
Mod	66,01
Standart Sapma	42,29
Örnek Varyansı	1788,33
Basıklık-Kurtuz	10,59
Çarpıklık	2,41
Değişim aralığı	596,05
Minimum	0,11
Maksimum	596,16
Olay ya da gözlem sayısı	21061

3.3. TOK Stokunu Etkileyen Değişkenlerin Belirlenmesi

Yaklaşık olarak 20.000 kadar nokta için TOK stokları belirlendikten sonra bu noktalardaki toprak organik karbon stokunu etkileyen ekolojik faktörler belirlenmiş ve TOK stokları ile ekolojik faktörler arasında istatistiksel ilişki aranmıştır. TOK stoklarını etkileyen faktörler olarak toprak, topografya, vejetasyon, iklim ve ana materyal faktörlerine ait toplam 260 değişken belirlenmiştir. Arazi kullanımı/ arazi örtüsü bilgileri için CORINE 2012 sınıfları, meşcere haritaları ve mera bilgi sisteminden elde edilen haritalar kullanılarak güncellenmiştir. İklimle ilgili değişkenler WorldClim ve toprakla

ilgili değişkenler ise SoilGrids veri tabanından alınmıştır. Vejetasyonla ilgili NPP gibi değişkenler için MODIS uydu görüntüleri kullanılmış, topografya için ise değişkenler NASA tarafından yürütülen SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) Projesi kapsamında üretilen sayısal yükseklik modeli kullanılarak oluşturulmuştur.

İstatistiksel analiz aşamasında verilerin % 70'i eğitim seti, geri kalan % 30'u ise validasyon seti olarak kullanılmıştır. Daha sonra temin edilen/ üretilen 260 değişken aşağıdaki şekilde yer alan seçim metodolojisinden geçirilerek, modelleme aşamasında kullanılmak üzere 16 değişkene indirilmiştir (Şekil 1 ve Tablo 3). Bu 16 değişkenin validasyon r değeri 0.65 olarak bulunmuştur.



Şekil 1. Model Seçim Metodolojisi

Tablo 3. Toprak Organik Karbonu Miktarı Tahminleme Modelinde Kullanılan Değişkenler

No	Ad	Birim	Kaynak	Zaman
1	Eğim Yüksekliği	Metre	SRTM	2014
2	Vadi Derinliği	Metre	SRTM	2014
3	Arazi Pürüzlülük İndisi	İndis	SRTM	2014
4	Maksimum Sıcaklık	°C	Global Climate Data	1970-2000
5	Sıcaklık Mevsimselliği İndisi	İndis	Global Climate Data	1970-2000
6	Güneş Işınımı	$\text{kJm}^{-2} \text{gün}^{-1}$	Global Climate Data	1970-2000
7	Conrad Karasallık İndisi	İndis	MGM	Uzun Süreli
8	Yağış	Milimetre	Global Climate Data	1970-2000
9	En Nemli Çeyreğin Yağış Miktarı	Milimetre	Global Climate Data	1970-2000
10	En Soğuk Çeyreğin Yağış Miktarı	Milimetre	Global Climate Data	1970-2000
11	Potansiyel Evapotranspirasyon	kg m^{-2}	MODIS	2010-2015
12	Net Birincil Verimlilik	$\text{g C m}^{-2} \text{yıl}^{-1}$	MODIS	2010-2014
13	Net Birincil Verimlilik (Temmuz)	$\text{g C m}^{-2} \text{yıl}^{-1}$	MODIS	2010-2014
14	Ağaç Kapalılık Yüzdesi	%	MODIS	2010-2015
15	Yüzey Yansımaları	İndis	MODIS	2010-2015
16	CORINE AKAÖ	İndis	CORINE, Amenajman, Mera	1973-2017



3.4. TOK Haritasının Oluşturulması

TOK stoklarını (ton C ha^{-1}) etkilediği belirlenen 16 değişkenden her biri için veri seti raster formatında temin edilmiş ve/veya üretilmiş, projeksiyon dönüşümleri yapılarak, WGS84 datumunda, Derece Desimal birimine çevrilmiştir. Mekansal çözünürlük 250 m olarak ölçeklendirilmiştir. Türkiye dış sınırları ile uyumlu olabilmesi açısından, referans raster veri setine (Türkiye İl Sınırları) göre kesilmiştir. Bu işlemlerin ardından, R Studio platformunda, Random Forest algoritmasının çalıştırılması sonucunda 16 değişkenin girdi olarak kullanılması sonucunda ham harita elde edilmiş, bu ham harita da ArcGIS ortamına aktararak iyileştirme, sınıflandırma ve kartografik düzenleme işlemlerinden geçirilmiştir. Bu aşamada Türkiye yüzölçümünün %0.66'nı oluşturan yapay yüzeylerin (Sürekli Şehir Yapısı, Endüstriyel ve Ticari Birimler, Karayolları ve Demiryolları, Limanlar, Havaalanları, Maden Çıkarım Sahaları, Boşaltım Sahaları, İnşaat Sahaları) TOK stok değeri sıfır (0) olarak kabul edilmiştir. Su Yüzeyleri ile (%1,73) ile 3501 m ve üstü yükseltilere (%0,01) herhangi bir karbon stok değeri atanmayıp maskelenerek haritadan çıkarılmıştır.

Ayrıca toprak organik karbon stok (ton C ha^{-1}) değerinin minimum olduğu varsayılan arazi kullanımı ve arazi örtüsü bilgileri tespit edilerek, modelin tahmin ettiği minimum değer olan 2 ton C ha^{-1} değeri atanmıştır. Bu araziler Çıplak Alanlar (%3.07), Kesikli Şehir Yapısındaki (%0.35) ve Kesikli Kırsal Yapısındaki Alanlar (%0.64), Yeşil Şehir Alanları (%0.01), Spor ve Eğlence Alanları (%0.05) ile Yükseltisi 3200–3500 m (%0.10) arasında olan alanlardır.

Özet olarak Türkiye yüzölçümünün, % 0.70'lik alanına 0 ton C ha^{-1} değeri, %4.22'lük alanına ise 2 ton C ha^{-1} değeri atanmış, %1.74'lük alanı ise maskelenmiştir.

3.5. Karbon Odaklı Biyocoğrafya Bölgelerinin Oluşturulması

Toprağın organik karbon depolama kapasitesi arazi kullanımı/arazi örtüsü, iklim, net birincil üretim

(NPP), toprak sınıfı, ana materyal, eğim, bakı, yükselti vb. gibi birçok faktör tarafından etkilenmektedir. Kısaca, toprağın organik karbon depolama miktarı toprağın kendi özellikleri ile toprağa giren ve topraktan uzaklaşan organik materyal arasındaki dinamik dengenin bir fonksiyonudur. Buradan hareketle ilk etapta, kısa vadede verisi temin edilebilecek ana ekolojik faktörler göz önünde bulundurulmuş ve toprak organik karbon depolama kapasitesini etkileyen faktörler açısından homojen alanlar belirleyebilmek için biyocoğrafya alanları oluşturulmuştur. Bu biyocoğrafya alanlarının belirlenmesinde Aridite İndisi, Arazi Kullanımı / Arazi Örtüsü, NPP, Toprak, Yükselti, Eğim ve Bakı ile Ana Materyal faktörlerinin TOK stoklarına etkisi Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi kullanılmıştır. Yukarıda verilen 7 faktörün önem sırası ve ağırlıkları farklı disiplinlerden oluşmuş proje ekibi tarafından yapılan bilimsel dayanaklı tartışmalar sonucunda belirlenmiş ve Karbon Odaklı Biyocoğrafya Bölgeleri Haritası oluşturulmuştur.

3.6. Senaryo Analizleri

Alternatif geleceklerin tespit edildiği ve değerlendirildiği modelleme aşaması senaryo analizleri kapsamında iki adet senaryo analizi gerçekleştirilmiştir.

Senaryo analizlerinden ilki Arazi kullanımı ve Arazi Örtüsü (AKAÖ) değişikliklerinin TOK stokları üzerindeki etkisinin belirlenmesidir. Bunun için Üretilen TOK Stok haritasından her bir AKAÖ için Türkiye Ortalaması olarak belirlenen TOK stok değeri (t C ha^{-1}) referans değer olarak kabul edilmiştir.

Yönetim Pratikleri olarak adlandırılan ikinci senaryoda ise COP12 (2015)'e göre kabul edilen ve ortalama 25 yıl boyunca süren %04C ha^{-1} yıl^{-1} insiyatifi referans alınmıştır. Öngörülen bu artışın dayandırıldığı iki temel altlık olarak KOB (Karbon Odaklı Biyocoğrafya Bölgesi) ve RUSLE C (arazi örtüsü yönetimi) faktörü kullanılmıştır. Bunun için öncelikle KOB haritasından değerleri 0-1 arasında değişen Potansiyel TOK Doygunluk indis değerleri oluşturulmuştur. İndis haline getirilen KOB girdisine aşağıdaki formül uygulanarak 25 yıl sonraki durum ortaya konulmuş ve haritası oluşturulmuştur.

$2/1000 \times TOK \text{ Doygunluk İndisi Haritası} \times \text{Mevcut TOK Stok Haritası} \times 25 \text{ yıl}$

Benzer şekilde indis halinde olan RUSLE C faktörü indis haritasına aşağıdaki formül uygulanarak, en iyi yönetim pratikleri ve iyileştirme potansiyeli haritası elde edilmiştir.

$2/1000 \times C \text{ Faktörü İndis Haritası} \times \text{Mevcut TOK Stok Haritası} \times 25 \text{ yıl}$

Bu şekilde elde edilen iki harita (KOBİ ve RUSLE C Faktör) birleştirilerek, "Gelecek 25 Yıl için En İyi Yönetim Senaryosuna" göre potansiyel TOK stok artışı ile Sıcak-Soğuk alan dağılımı haritası elde edilmiştir.

3.7. İzleme Sistemine Yönelik Metodolojinin Geliştirilmesi

Ülkemizde hali hazırda Orman Ekosistemlerinin izlenmesi Programı kapsamında 16 x16 km'lik bir grid sistem üzerinde izleme çalışması yapılmaktadır. Ormanlarda Hava Kirliliği Etkilerini Değerlendirme

ve İzleme Uluslararası İşbirliği Programı (ICP Forest) kapsamında gerçekleştirilen bu izleme sisteminde ormanlardaki ağaçların sağlığı üzerine etki eden çeşitli faktörlerin yanında toprak örnekleri alınmaktadır. Bu kapsamda 720 Seviye I sabit izleme noktasından 2015-2016 yıllarında toprak örnekleri alınmış olup 10 yıl sonra tekrar alınması planlanmaktadır. Bu sabit izleme noktalarından alınacak örneklere ilişkin kılavuzlar hazırlanmış ve bu sayede her örneğin aynı standartlarda olması sağlanmıştır. Orman alanlarında gerçekleştirilen bu izleme çalışmasının diğer arazi kullanımlarına yaygınlaştırılarak tüm ülkeyi kapsamı öngörülmüştür. ICP Forest kapsamında Türkiye orman topraklarında yer alan ve 16 km x 16 km aralıklarla belirlenen noktalar aynı sistematik ile Türkiye'ye yayıldığında orman alanlarındaki 720 Seviye I sabit izleme noktası da dahil toplam 3.029 adet nokta oluşmaktadır. Ayrıca bu noktalar Türkiye Çölleşme Risk Haritası ve Yönetim Senaryosu analizleri ile birlikte değerlendirilerek öncelikli olarak izlenmesi gereken noktalar belirlenmiştir.





3.8. Boşluk ve Değişkenlik Analizleri ile Örneklenmesi Gereken Noktaların Belirlenmesi

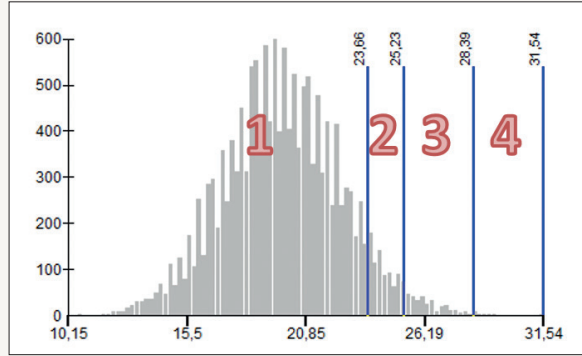
Veri setinde bulunan 21.061 noktanın TOK stok değerleri kullanılarak, Boşluk ve Değişkenlik analizleri yapılmıştır. Bu analizler ile mevcut noktaların konumları dikkate alınarak boş alanlar (temsil edilmeyen / veri ihtiyacı bulunan), bu noktalardaki karbon değerleri göz önünde bulundurularak değişkenliğin fazla olduğu alanlar aşağıdaki analizler ile tespit edilmeye çalışılmıştır.

Öncelikle Türkiye bazında boşluk analizi yapılmıştır. Bu analiz çalışmasında; Mevcut 21.061 adet noktanın her birinin TOK değerlerinin farklı Karbon Odaklı Biyocoğrafya Bölgelerinde farklı varyans gösterdiği görülmüştür. Aynı bir sınır TOK içeriğinde biyocoğrafya alanlarının indeks numarası arttıkça sınır değerinin üstündeki oranlarda artmaktadır. Jeostatistiksel analizlerinin yapılması sonucunda ortaya çıkan variogramlarda, TOK'un logaritmik dağılım gösterdiği tespit edilmiştir. Variogramın eşik değerine ulaştığı uzaklığın yarısı etki alanı veya örnekleme aralığı olarak kabul edilmektedir. Biraz daha hassas olması açısından variogramın eşik değerine ulaştığı uzaklığın $\frac{1}{4}$ 'ü etki alanı olarak alınmıştır. Bu nedenle her bir Karbon Odaklı Biyocoğrafya Bölgesi için variogramlarına bakılarak farklı etki alanları belirlenmiştir. Etki alanları dikkate alınarak yapılan çalışma sonucunda alınması gereken en fazla ve en az örnek nokta sayısı belirlenmiştir (Tablo 4).

Tablo 4. Etki Mesafelerine Göre Örnek Alınması Gereken Nokta Sayısı

	Nokta Sayısı (3 km'ye göre)	Nokta Sayısı (Etki Mesafesi 1) (km) a/2	Nokta Sayısı (Etki Mesafesi 2) (km) a/4
En Fazla	18053	2917	14641
En Az	4513	729	3660

Ek olarak değişkenlik analizi ile mevcut noktalardaki karbon değerleri kullanılarak değişkenliğin fazla olduğu alanlar tespit edilmeye çalışılmıştır. Örnekleme noktalarına öncelik sırası vermek amacıyla noktaların belirsizlik derecesi hesaplanmıştır. Karbon değerleri "Karbon Odaklı Biyocoğrafya Bölgeleri" bazında farklılık göstereceği için ayrı ayrı analiz edilmiştir. Analizde jeostatistiksel simülasyon yöntemi kullanılmış, TOK miktarı çok sayıda simülasyondan geçirilerek model üretilmiştir. Model sonuçlarından elde edilen TOK değişkenlik değeri, çeyrek değerler aralığı (Interquartile değeri) (IQR), histogram değerlerine göre aralıklara bölünerek 4 (dört) kategoride belirsizlik derecesi olarak sınıflandırılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Belirsizlik Dağılımının Aralıklara Bölünmesi

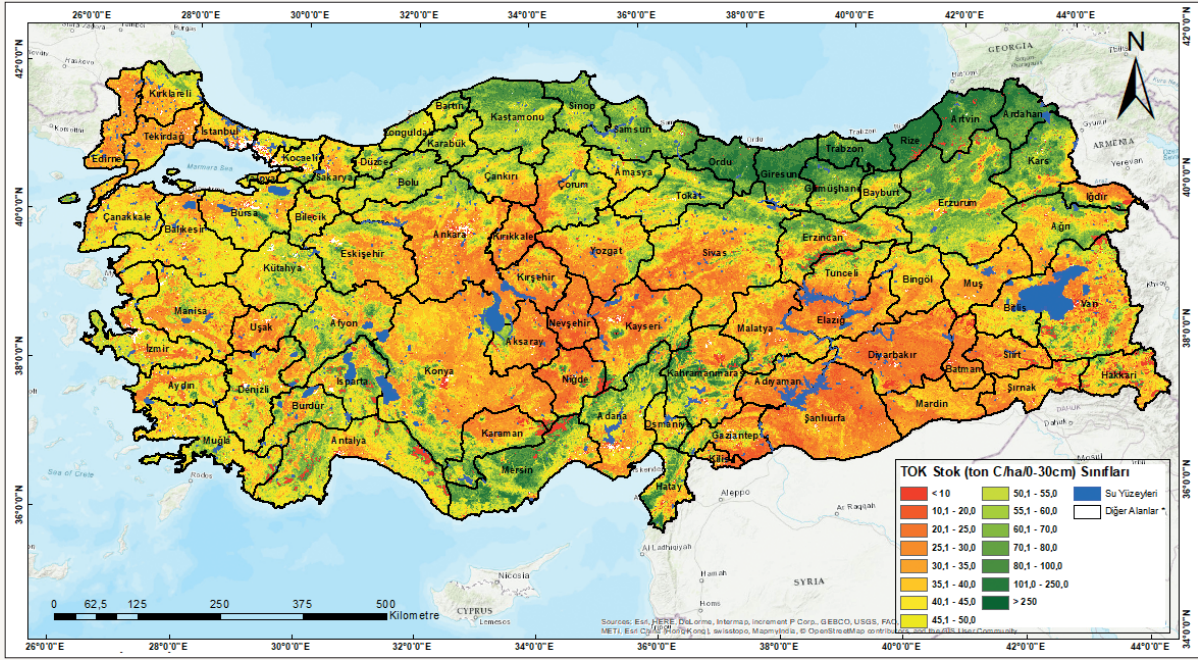
Değişkenliğin 90-100 arasında olduğu sınıf, belirsizlik dağılımının en yüksek değerlerini içeren %10'luk bölüme denk gelmektedir. Bu aralığa düşen örnek nokta sayısı ise 57'dir. Örneklerin öncelikli olarak söz konusu noktalardan alınması uygun olacaktır. Aşağıdaki tabloda (Tablo 5) 4 sınıf aralığına karşılık gelen nokta sayıları verilmiştir.

Tablo 5. Değişkenlik Sınıfları, Aralıkları ve Karşılık Gelen Nokta Sayıları

Sınıf	Değişkenlik Aralığı	Nokta Sayısı
1	91-100	57
2	81-90	753
3	76-80	1541
4	0-75	13022

4 TÜRKİYE TOPRAKLARINDAKİ ORGANİK KARBON STOKLARI

Random Forest Modeli kullanılarak hazırlanan Türkiye Toprak Organik Karbon Haritası aşağıda sunulmuştur. Harita 2007-2017 yıllarında araziden alınmış, taşsız ve 0-30 cm toprak derinlik kademesi için ülke genelindeki karbon stoklarını göstermektedir.



2007-2017 Yılları Arasında Alınan Toprak Verileri Üzerinden Hazırlanan Türkiye Toprak Organik Karbon Stok Haritası

Türkiye Toprak Organik Karbon Stok Haritası kullanılarak; Arazi Kullanım ve Arazi Örtüsü Seviye 1 Coğrafi Bölgeler, Yükselti Sınıfları, Havzalar, Karbon Odaklı Biyocoğrafya Bölgeleri ve Çölleşme Sınıfları dahil 12 farklı kategoride karbon stok değerleri sorgulanabilmektedir.

Türkiye geneli, arazi kullanım ve arazi örtüsü Seviye 1'deki TOK stokları Tablo 6'da verilmiştir. Buna göre toplam 3,51 milyar ton civarında olan toplam TOK miktarının % 38,3'ü orman alanlarındadır. Ormanları mera ve tarım alanları izlemektedir. Sulak alanlar ve su yüzeyleri ile yapay ve çıplak alanlardaki TOK stokları ise Türkiye toplam TOK stokunun ancak % 1,36'sını oluşturmaktadır. Coğrafi bölgeler bazında TOK miktarları dağılımında ise 67,83 ton C ha⁻¹ ile Karadeniz Bölgesi en fazla TOK stokuna sahipken, Güneydoğu Anadolu Bölgesi 29,46 ton C ha⁻¹ ile en az TOK stokuna sahiptir (Tablo 7). Yükselti ve topografik özelliklere göre en fazla TOK 64,43 ton C ha⁻¹ ile 2251 m ve yukarısı dağlık alanlar, sıra dağlar ve yüksek dağlık alanlar yer alırken, en az 39,86 ton C ha⁻¹ ile 0-250 m alçak ova ve kıyı ovalarda belirlenmiştir (Tablo 8).

**Tablo 6.** Arazi Kullanım ve Arazi Örtüsü Seviye 1'de Bulunan TOK Miktarları

No	AKAÖ Seviye 1	Alan (ha)	Alan (%)	TOK Miktarı (ton C ha ⁻¹)	Standart Sapma	TOK Stoku (ton)	TOK Stoku (%)
1	Orman	24.180.644	31,64	55,68	19,52	1.346.434.101	38,33
2	Mera	23.568.338	30,84	49,77	22,81	1.172.981.521	33,39
3	Tarım	26.316.375	34,43	35,96	14,87	946.317.555	26,94
4	Çıplak Alanlar	1.172.581	1,53	12,78	24,87	14.981.558	0,43
5	Yapay Alanlar	796.519	1,04	16,12	19,57	12.838.873	0,37
6	Sulak Alanlar ve Su Yüzeyleri	393.100	0,51	49,71	16,61	19.542.037	0,56

Tablo 7. Türkiye Geneli, Coğrafi Bölge Bazında Bulunan TOK Miktarları

No	Coğrafi Bölge1	Alan (ha)	Alan (%)	TOK Miktarı (ton C ha ⁻¹)	TOK Stoku (ton)	TOK Stoku (%)
1	Karadeniz Bölgesi	11.562.782	15,12	67,83	784.303.519	22,32
2	Akdeniz Bölgesi	8.754.582	11,45	52,36	458.389.902	13,04
3	Doğu Anadolu Bölgesi	14.511.441	18,98	46,92	680.876.815	19,37
4	Ege Bölgesi	8.720.282	11,41	43,18	376.541.784	10,71
5	Marmara Bölgesi	7.002.532	9,16	40,67	284.792.961	8,10
6	İç Anadolu Bölgesi	18.401.584	24,07	38,50	708.460.973	20,16
7	Güneydoğu Anadolu Bölgesi	7.496.289	9,81	29,46	220.840.671	6,28

Tablo 8. Türkiye Geneli, Yükselti Sınıflarında Bulunan TOK Miktarları

No	Coğrafi Bölge1	Alan (ha)	Alan (%)	TOK Miktarı (ton C ha ⁻¹)	TOK Stoku (ton)	TOK Stoku (%)
1	0-250 m: alçak ova ve kıyı ovaları	8.592.463	11,02	39,86	342.457.863	9,57
2	251-750 m: alçak araziler, alçak platolar	13.191.205	16,93	42,41	559.387.769	15,63
3	751-1250 m: yüksek araziler, yüksek platolar	25.517.978	32,74	40,92	1.044.100.478	29,18
4	2250-1251 m: alçak dağlar ve yüksek platolar	26.211.380	33,63	51,41	1.347.433.157	37,65
5	2251 m+: dağlık alanlar, sıradağlar ve yüksek dağlık	4.425.409	5,68	64,43	285.138.347	7,97

Su havzası ölçeğinde 25 büyük havza için belirlenen TOK stoku en fazla Fırat ve Dicle havzasında (%18.03) en az %0.74 ile Büyük Menderes havzasında kaydedilmiştir (Tablo 9) TOK stok miktarının en yüksek olduğu Karbon Odaklı Biocoğrafya Bölgesi, 84,22 ton C ha⁻¹ ile Orta ve Doğu Karadeniz Bölgesi, en düşük ise 31,21 ton C ha⁻¹ ile Güneydoğu Anadolu Bölgesi olmuştur (Tablo 10).

Tablo 9. Türkiye Geneli, Havzalarda Bulunan TOK Miktarları

No	Coğrafi Bölge1	Alan (ha)	Alan (%)	TOK Miktarı (ton C ha ⁻¹)	TOK Stoku (ton)	TOK Stoku (%)
1	Doğu Karadeniz	2.286.346	2,96	100,68	230.189.314	6,56
2	Çoruh	2.044.062	2,64	71,81	146.784.079	4,18
3	Doğu Akdeniz	2.721.549	3,52	63,12	171.784.168	4,89
4	Aras	2.215.831	2,86	61,39	136.029.853	3,87
5	Batı Karadeniz	2.858.482	3,70	60,92	174.138.710	4,96
6	Yeşilirmak	3.933.104	5,09	56,79	223.360.978	6,36
7	Asi	770.599	1,00	53,5	41.227.042	1,17
8	Ceyhan	1.921.702	2,48	48,56	93.317.833	2,66
9	Antalya	1.988.581	2,57	47,92	95.292.821	2,71
10	Seyhan	756.758	0,98	47,45	35.908.170	1,02
11	Akarçay	596.150	0,77	47,36	28.233.660	0,8
12	Batı Akdeniz	865.172	1,12	46,29	40.048.807	1,14
13	Burdur	2.320.353	3,00	43,37	100.633.697	2,87
14	Susurluk	2.372.541	3,07	43,11	102.280.256	2,91
15	Sakarya	2.435.851	3,15	42,72	104.059.544	2,96
16	Küçük Menderes	2.561.997	3,31	42,38	108.577.454	3,09
17	Büyük Menderes	616.048	0,80	42,34	26.083.484	0,74
18	Kuzey Ege	2.143.509	2,77	41,43	88.805.578	2,53
19	Marmara	6.447.059	8,34	41,36	266.650.378	7,6
20	Gediz	1.688.969	2,18	39,88	67.356.086	1,92
21	Kızılırmak	1.364.545	1,76	39,43	53.804.008	1,53
22	Van Gölü	8.483.001	10,97	37,75	320.233.281	9,12
23	Konya Kapalı	1.331.810	1,72	36,37	48.437.923	1,38
24	Fırat ve Dicle	17.487.178	22,61	36,19	632.860.967	18,03
25	Meriç Ergene	5.133.745	6,64	34,03	174.701.352	4,98

**Tablo 10.** Karbon Odaklı Biyocoğrafya Bölgelerinde Bulunan TOK Miktarları

No	KOBB	Alan (ha)	Alan (%)	TOK Miktarı (ton C ha ⁻¹)	Standart Sapma	TOK Stoku (ton)	TOK Stoku (%)
1	Batı Karadeniz Bölgesi	4.520.447	5,93	60,26	14,40	265.071.839	7,75
2	İç, İç Batı ve İç Doğu Anadolu Bölgesi	19.227.653	25,22	36,03	15,06	674.180.450	19,71
3	Doğu Anadolu Bölgesi	10.441.951	13,69	47,92	18,91	486.945.477	14,24
4	Kuzey Ege-Güney Marmara Bölgesi	1.654.072	2,17	46,86	8,86	75.423.404	2,21
5	Batı Anadolu Kıyı Yöresi	1.212.983	1,59	34,26	12,03	40.435.829	1,18
6	Hakkari, Bitlis, Bingöl ve Tunceli Yöresi	816.333	1,07	41,57	18,60	33.026.076	0,97
7	Güneydoğu Anadolu Bölgesi	8.829.613	11,58	31,21	13,02	268.147.393	7,84
8	Antakya-Amanoslar Yöresi	331.473	0,43	69,16	23,39	22.309.073	0,65
9	Orta ve Doğu Karadeniz Bölgesi	5.648.754	7,41	84,22	27,99	462.945.763	13,54
10	Ergene Bölümü	1.810.194	2,37	32,10	7,18	56.540.351	1,65
11	Güneybatı Anadolu ve Batı Akdeniz Bölümü	2.326.993	3,05	48,56	10,77	109.965.883	3,22
12	Çukurova Yöresi	988.479	1,30	38,86	12,51	37.376.001	1,09
13	Van - Iğdır Bölümü	1.842.436	2,42	35,77	15,51	64.125.886	1,88
14	Orta ve Doğu Toroslar ile Toroslar Ardı Bölgesi	16.599.932	21,77	50,98	16,80	823.449.442	24,08

Türkiye arazi bozulumu/çölleşme haritasına ait olan risk sınıflarının TOK içerikleri değerlendirildiğinde; “Çok Düşük–Düşük” risk sınıfı TOK miktarının 63,79 ton C ha⁻¹ ile en yüksek, “Çok Yüksek–Çok Yüksek” risk sınıfı TOK miktarının ise 31,49 ton C ha⁻¹ ile en düşük olduğu görülmektedir (Tablo 11).

Tablo 11. Türkiye Geneli, Çölleşme Risk Sınıfları Bazında Bulunan TOK Miktarları

No	Çölleşme Risk Sınıfı	Alan (ha)	Alan (%)	TOK Miktarı (ton C ha ⁻¹)	TOK Stoku (ton)	TOK Stoku (%)
1	Çok Düşük - Çok Düşük	103.152	0,14	48,72	5.025.720	0,15
2	Çok Düşük - Düşük	1.610.109	2,17	63,79	102.703.599	3,06
3	Düşük - Düşük	8.642.766	11,66	59,81	516.905.836	15,39
4	Orta - Düşük	14.131.325	19,07	49,90	705.121.173	21,00
5	Orta - Orta	10.298.939	13,90	45,76	471.328.720	14,04
6	Orta - Yüksek	18.662.318	25,18	42,65	795.967.025	23,71
7	Yüksek - Yüksek	13.407.299	18,09	38,00	509.437.725	15,17
8	Yüksek - Çok Yüksek	6.555.029	8,85	34,99	229.390.681	6,83
9	Çok Yüksek - Çok Yüksek	695.728	0,94	31,49	21.909.151	0,65

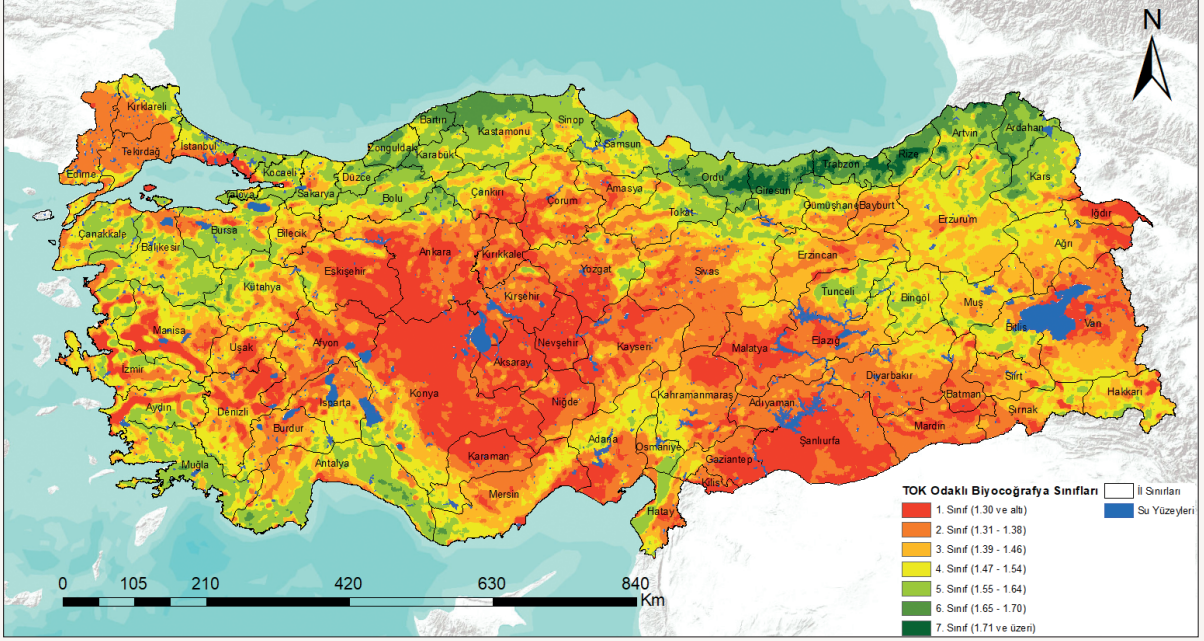




5

TÜRKİYE KARBON ODAKLI BİYOCOĞRAFYA BÖLGELERİ (KOB)B)

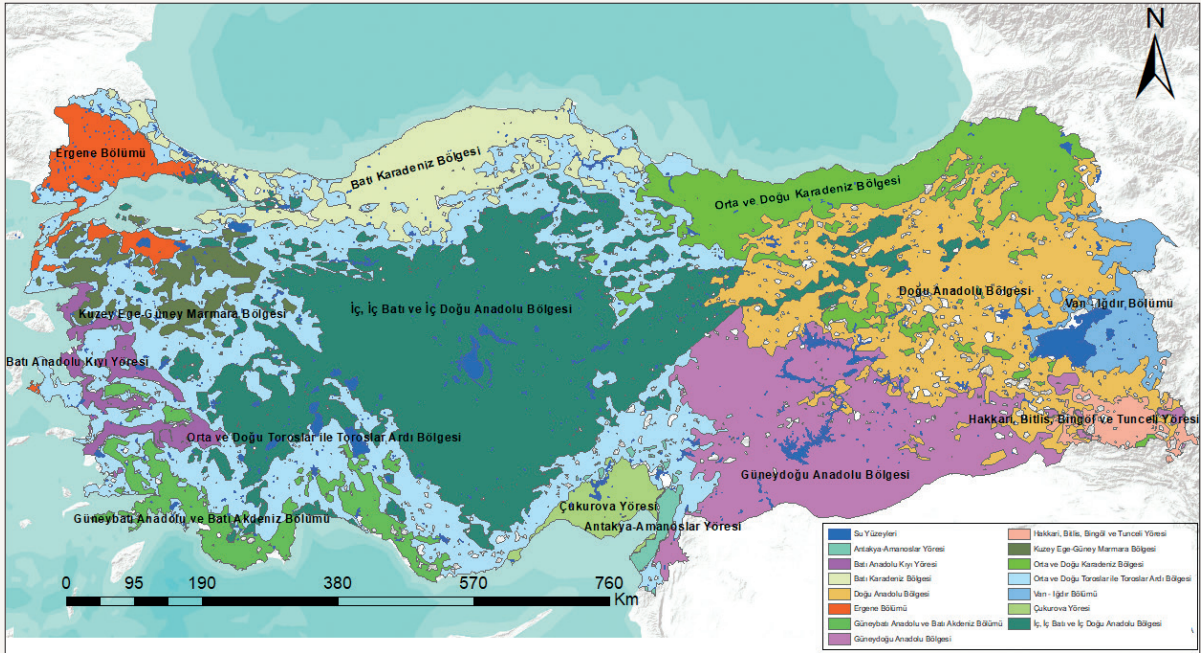
Bu çalışmada 2 farklı KOB haritası üretilmiştir. Bunlardan ilki potansiyel karbon stok değerlerinin 7 sınıfa ayrıldığı ve bu stok değerlerinin en düşükten en yükseğe doğru sınıflandırıldığı haritadır.



Türkiye TOK Odaklı Biyocoğrafya Sınıfları

Ayrıca Türkiye TOK Odaklı Biyocoğrafya sınıflarından elde edilen indis değerleri kullanılarak Türkiye Toprak Organik Karbon Odaklı Biyocoğrafya bölgeleri elde edilmiştir. Doğrudan kestirimi yapılan Türkiye potansiyel TOK Biyocoğrafya Bölgeleri, ayrıca, toprak, iklim, AKAÖ ve topografya ölçütlerinin alansal değişkenliğinin yüksek olması nedeniyle çok değişken, iç içe girmiş parçalı ve çok sayıda mikro TOK alanlarına ayrılıyor olmakla birlikte, Türkiye'nin biyomları ya da ekolojik bölgeleri dikkate alınarak aşağıda listelenen Biyocoğrafya Bölge/Bölüm ve Yörelere ayrılmıştır.

Hazırlanan KOB haritaları senaryo analizlerinde ve toprak organik karbon miktarının izleme noktalarının belirlenmesinde kullanılmıştır. Bu haritaların ayrıca toprakların organik karbon miktarını arttırmaya yönelik yönetim pratiklerinin ve arazi kullanım değişikliğine yol açacak kararların değerlendirilmesinde yararlı olacağı düşünülmektedir.



Türkiye TOK Odaklı Biyocoğrafya Bölgeleri

KOBB Haritasında yer alan Bölge ve Bölümler:

- 1. Orta ve Doğu Karadeniz** Nemli-Çok Nemli ve Ilıman Yüksek-Çok Yüksek Toprak Organik Karbon Biyocoğrafya Bölgesi (Kars, Ardahan ve Artvin yörelerini de içerir);
- 2. Batı Karadeniz** Nemli ve Ilıman Yüksek Toprak Organik Karbon Biyocoğrafya Bölgesi (Istrancalar ile Kuzey ve Doğu Marmara bölümlerini de içerir);
- 3. Ergene Havzası** Karasal Nemlice Yarınemli Ova-Alçak Plato Düşük-Orta Toprak Organik Karbon Biyocoğrafya Bölümü (Kentsel İstanbul Yöresini içermez);
- 4. Kuzey Ege-Güney Marmara** Yarınemli ve Nemli Yüksek Plato-Dağlık Orta-Yüksek (Parçalı) Toprak Organik Karbon Biyocoğrafya Bölümü;
- 5. Güneybatı Anadolu ve Batı Akdeniz** Nemli ve Çok Nemli Orta-Yüksek Dağlık Kıyı Kuşağı (Parçalı) Toprak Organik Karbon Biyocoğrafya Bölümü;
- 6. Orta ve Doğu Toroslar ile Toroslar Ardi** Nemlice Yarınemli ve Yarı nemli Yüksek Plato-Dağlık Geçiş Kuşağı (Parçalı) Toprak Organik Karbon Biyocoğrafya Bölgesi;

- 7. İç, İç Batı ve İç Doğu Anadolu** Karasal Yarı Kurak ve Kurakça-Yarınemli Düşük Toprak Organik Karbon Biyocoğrafya Bölgesi;
- 8. Güneydoğu Anadolu** Karasal Yarıkurak ve Kurakça-Yarınemli Düşük Toprak Organik Karbon Biyocoğrafya Bölgesi;
- 9. Doğu Anadolu** Karasal Nemlice-Yarınemli, Yarınemli ve Nemli Yüksek Plato-Dağlık (Parçalı) Orta Toprak Organik Karbon Biyocoğrafya Bölgesi;
- 10. Van-İğdir** Karasal Yarı Kurak ve Kurakça-Yarınemli Düşük Toprak Organik Karbon Bölümü.

Yörelere:

- 1. Batı Anadolu Kıyı**, Graben ve İç Ovalar Düşük (Parçalı) Toprak Organik Karbon Yörelere;
- 2. Çukurova** Düşük Toprak Organik Karbon Yöresi;
- 3. Hakkâri, Bitlis, Bingöl ve Tunceli** Nemli ve Çok Nemli Dağlık Orta-Yüksek (Parçalı) Toprak Organik Karbon Yöresi;
- 4. Antakya Amanoslar** Orta-Yüksek Toprak Organik Karbon Yöresi



6 SENARYO ANALİZLERİ

TOK Stok Haritası kullanılarak gerçekleştirilen ilk senaryo analizi arazi kullanım değişikliklerinin neden olacağı TOK stok değişimlerinin belirlenmesidir. Bu amaçla Tablo 6'da verilen 6 arazi kullanım sınıfı Türkiye geneli ortalama değerleri referans olarak alınmıştır. Bu referans değerlerden yola çıkılarak elde edilen sonuçlar aşağıdaki tablo matrisinde gösterilmiştir. Tablo 12'de AKAÖ tiplerinin birbirleri arasındaki 1 ha'lık değişimlerin TOK stok üzerindeki etkileri görülmektedir. Aşağıda belirtilen değişimlerin gerçekleşmesi için ihtiyaç duyulan süre (zamansal ölçek), her ne kadar birçok faktöre (iklim, arazi yönetimi vb.) göre değişse de, ortalama 40 yıl olarak alınmıştır.

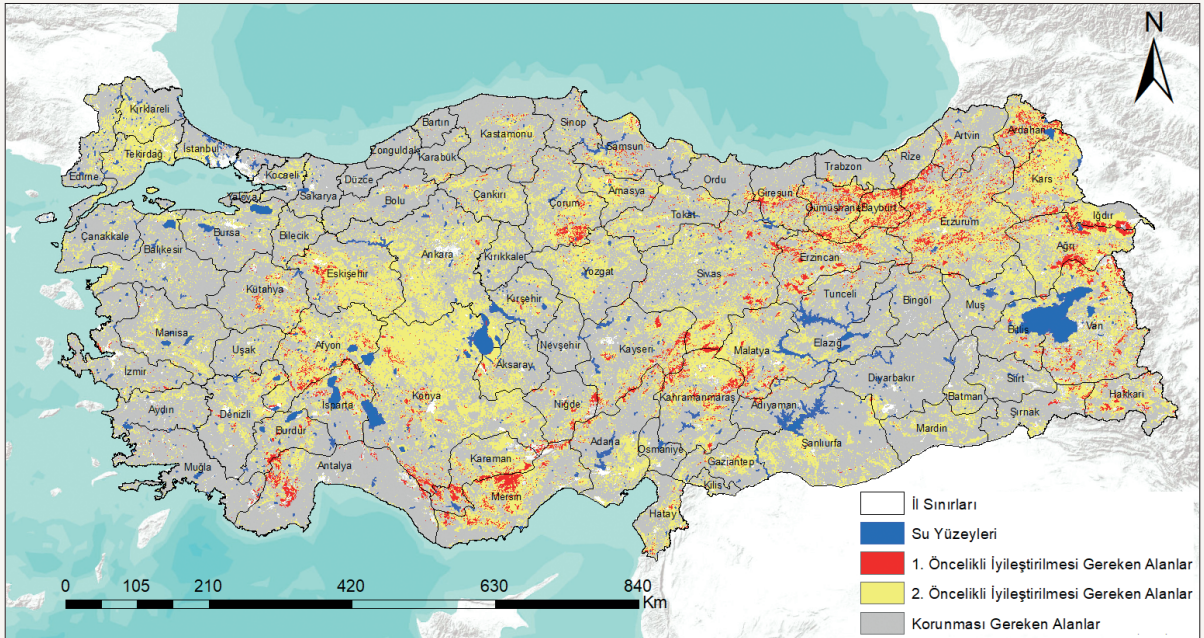
Tablo 12. TOK Dönüşüm Matrisi

Nereden	Nereye	Ne Kadar (ha)	Değişim (t C)
Orman	Mera	1	-5,91
Orman	Tarım	1	-19,72
Orman	Çıplak Alanlar	1	-42,91
Orman	Yapay Alanlar	1	-39,56
Orman	Sulak Alanlar ve Su Yüzeyleri	1	-5,97
Mera	Orman	1	5,91
Mera	Tarım	1	-13,81
Mera	Çıplak Alanlar	1	-36,99
Mera	Yapay Alanlar	1	-33,65
Mera	Sulak Alanlar ve Su Yüzeyleri	1	-0,06
Tarım	Orman	1	19,72
Tarım	Mera	1	13,81
Tarım	Çıplak Alanlar	1	-23,18
Tarım	Yapay Alanlar	1	-19,84
Tarım	Sulak Alanlar ve Su Yüzeyleri	1	13,75
Çıplak Alanlar	Orman	1	42,91
Çıplak Alanlar	Mera	1	36,99
Çıplak Alanlar	Tarım	1	23,18
Çıplak Alanlar	Yapay Alanlar	1	3,34
Çıplak Alanlar	Sulak Alanlar ve Su Yüzeyleri	1	36,94
Yapay Alanlar	Orman	1	39,56
Yapay Alanlar	Mera	1	33,65
Yapay Alanlar	Tarım	1	19,84
Yapay Alanlar	Çıplak Alanlar	1	-3,34
Yapay Alanlar	Sulak Alanlar ve Su Yüzeyleri	1	33,59
Sulak Alanlar ve Su Yüzeyleri	Orman	1	5,97
Sulak Alanlar ve Su Yüzeyleri	Mera	1	0,06
Sulak Alanlar ve Su Yüzeyleri	Tarım	1	-13,75
Sulak Alanlar ve Su Yüzeyleri	Çıplak Alanlar	1	-36,94
Sulak Alanlar ve Su Yüzeyleri	Yapay Alanlar	1	-33,59

AKAÖ kullanım değişikliklerine bağlı olarak TOK stoklarında oluşabilecek değişimler aşağıdaki örneklerle açıklanmaya çalışılmıştır;

- Örneğin 1 milyon ha “Çıplak Alanın” “Orman” alanına dönüşmesi sonucunda;
 - o TOK stoklarında yaklaşık 42,9 milyon ton C artış gerçekleşebilecektir.
 - o 42,9 milyon ton C artışı Türkiye toplam TOK stokunda yaklaşık %1,22’lik artışa karşılık gelmektedir.
- 1 milyon ha “Mera” alanının “Tarım” alanına dönüşmesi sonucunda ise;
 - o TOK stoklarında yaklaşık 13,8 milyon ton C azalış olabilecektir.
 - o Bu azalış Türkiye toplam TOK stokunda yaklaşık % 0,39’luk azalışa yol açacaktır.

Diğer bir senaryo analizi de yönetim pratikleri konusundadır. Karbon Odaklı Biyocoğrafya Bölgeleri ve RUSLE C (arazi örtüsü yönetimi) haritalarının altlık olarak kullanıldığı ve 25 yıl boyunca süren karbon stoklarının %4C ha⁻¹ yıl⁻¹ iyileştirilmesi yaklaşımına dayanan senaryo analizi sonucunda “Gelecek 25 Yıl için En İyi Yönetim Senaryosuna” göre potansiyel TOK stok artışı ile Sıcak-Soğuk alan dağılımı haritası elde edilmiştir.



Yönetim Senaryosuna Göre İyileştirilmesi ve Korunması Gereken Alanlar

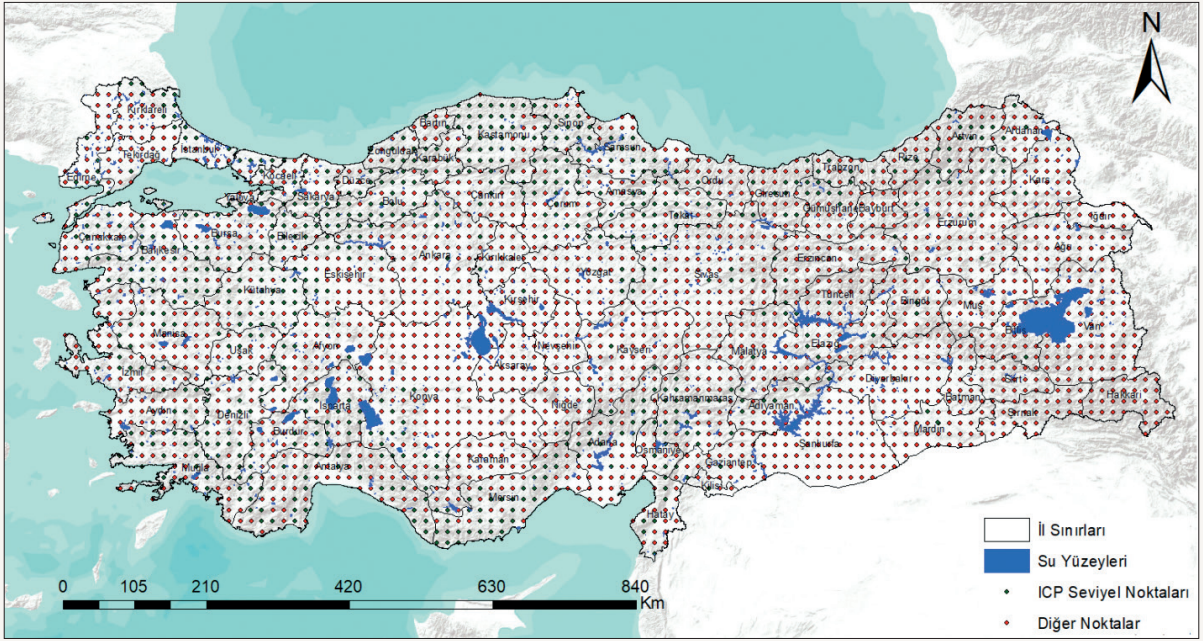
Elde edilen sonuç haritasına göre;

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



7 ÖNCELİKLENDİRİLMİŞ SİSTEMATİK İZLEME NOKTALARI

Ülkemizde halen uygulanmakta olan ve 16 x 16 km'lik bir grid üzerindeki sabit izleme noktalarında (Seviye I) çalışılan Orman Ekosistemlerinin İzlenmesi Programının ülke geneline yaygınlaştırılması planlanmıştır. Bu yaygınlaştırma sonucunda tüm ülkede 3.029 sabit izleme noktasında çalışılması gerektiği belirlenmiştir. Bu izleme noktalarının arazi kullanımlarına dağılımı ise Tablo 13'de gösterilmiştir.

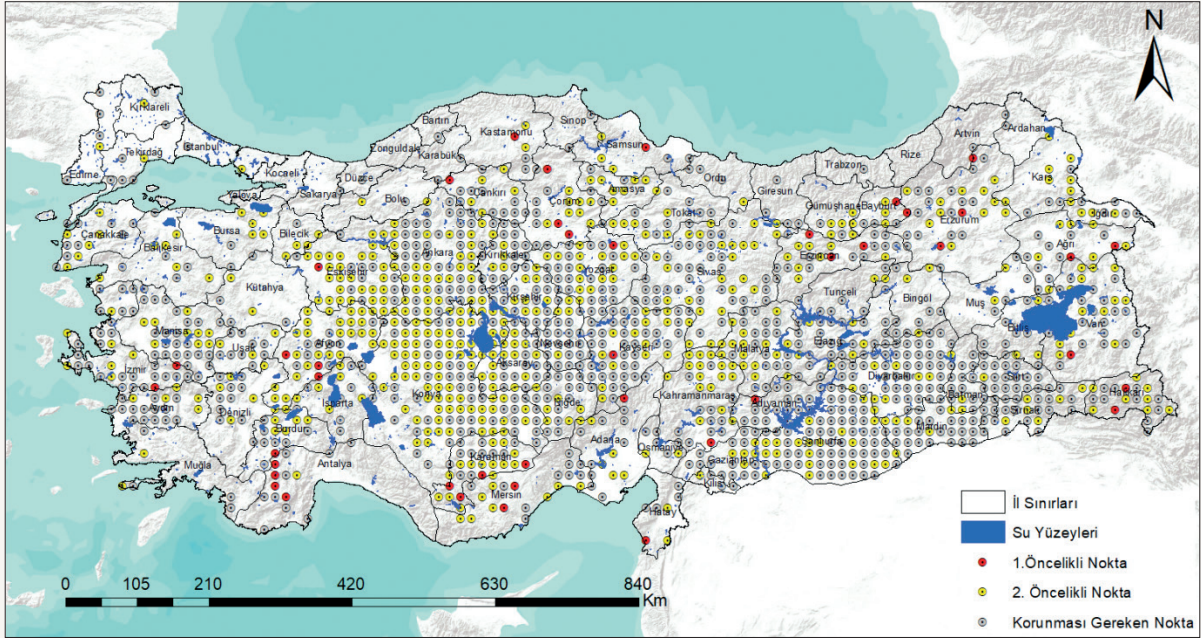


İzleme Kapsamında Sistematik Olarak Oluşturulan Noktalar Haritası

Tablo 13. Arazi Kullanım Bilgisine Göre İzleme Noktaları

Arazi Kullanımı / Arazi Örtüsü	Nokta Sayısı	Oran (%)
Tarım	1050	34,66
Orman	960	31,70
Mera	928	30,77
Yapay Alanlar	37	1,23
Çıplak Alanlar ve Diğerleri	36	1,23
Sulak Alanlar ve Su Yüzeyleri	14	0,40
Toplam	3029	100,00

Ancak 5 ya da 10 yılda bir tekrarlanacak izleme çalışmalarının yoğun bir emek ve masraf gerektirmesinden dolayı Türkiye Çölleşme Risk Haritası ve Yönetim Senaryosu analizleri ile birlikte değerlendirilerek izleme yapılabilecek noktalar önceliklendirilmiştir.



Önceliklendirilmiş Sistematik İzleme Noktaları

Haritada;

- o Kırmızı noktalar (42 tane): Çölleşme riskinin olduğu ve iyileştirilmesi 1. Öncelikli noktalar
- o Sarı noktalar (551 tane): Çölleşme riskinin olduğu ve iyileştirilmesi 2. Öncelikli noktalar
- o Gri noktalar (869): Çölleşme riskinin olduğu ve korunması gereken noktalar olmak üzere toplam 1.462 adet izleme noktası tespit edilmiştir. Bu noktaların AKAÖ bilgileri aşağıdaki tabloda verilmiştir (Tablo 14).

Tablo 14. İzleme Noktalarının Öncelik ve AKAÖ Bilgileri

1. Öncelikli Noktalar	42
Mera	29
Orman	6
Tarım	7
2. Öncelikli Noktalar	551
Mera	232
Orman	33
Sulak Alanlar ve Su Yüzeyleri	6
Tarım	279
Yapay Alanlar	1
3. Korunması Gereken Noktalar	869
Mera	276
Orman	168
Sulak Alanlar ve Su Yüzeyleri	4
Tarım	411
Yapay Alanlar	10



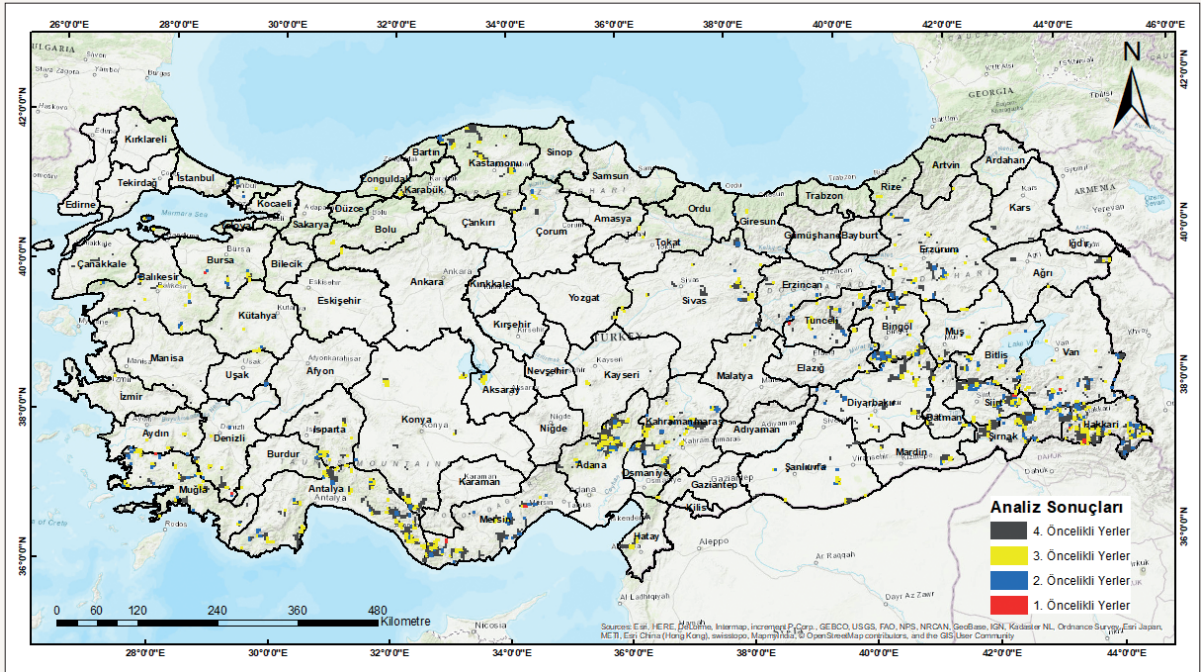
8 BOŞLUK VE BELİRSİZLİK ANALİZLERİ

Gelecekte yapılacak toprak örneklemeyle hazırlanmış olan TOK Stokları haritasının güncellenmesi söz konusu olabilecektir. Bu amaçla mevcut veri setinin boşluk ve değişkenlik analizleri ile değerlendirilmesi sonucunda mevcut veri setine ek olarak örnek alınması gereken alanlar belirlenmiştir. Buna göre hem boş olup, hem de değişkenliğin fazla olduğu birinci öncelikli noktalar değerlendirildiğinde

- o Orman alanlarına denk gelen **848** nokta
- o Mera alanlarına denk gelen **1.578** nokta
- o Tarım alanlarına denk gelen **431** nokta
- o Sulak Alanlar ve Su Yüzeylerine denk gelen **20** nokta
- o Yapay Alanlara denk gelen **26** nokta olmak üzere;

Toplam **2.903** nokta verisine ihtiyaç duyulmaktadır.

Boşluk ve belirsizlik analizleri birlikte değerlendirildiğinde IQR ve sınıf değerine karşılık gelen nokta sayıları belirlenmiş olup aşağıdaki tabloda belirtilmiştir (Tablo 15)



Boşluk ve Değişkenlik Analizlerine Göre Örnekleme Noktaları ve Öncelik Dilimleri

Tablo 15. Boşluk ve Belirsizlik Analizinin Birlikte Değerlendirilmesi Sonucu Nokta Sayıları

Sınıf	Aralık	Nokta Sayısı
1	90-100	16
2	80-90	397
3	75-80	766
4	0-75	1724

9

SONUÇ, GEREKSİNİMLER VE ÖNERİLER

ÇEM ve TÜBİTAK-BİLGEM işbirliğinde yürütülen "Toprak Organik Karbonu" projesi ile öncelikli olarak Türkiye TOK stok haritası üretilmiştir. Bu harita üzerinden yapılan sorgulamalar ile yaklaşık olarak 78 milyon ha yüzölçümüne sahip Türkiye'de toplam TOK stokunun 3.516 milyar ton olduğu hesaplanmıştır. Altı arazi kullanım sınıfı (Orman, tarım, mera, sulak alanlar ve su yüzeyleri, yapay alanlar ve diğer alanlar) için belirlenen ve referans değerler olarak kabul edilebilecek birim alandaki (ton C ha⁻¹) TOK stoklarının en fazla orman alanlarında olduğu, bunu mera alanlarının izlediği ve en az ise çıplak alanlarda olduğu belirlenmiştir. Belirlenen birim alandaki TOK stok değerleri ılıman iklim kuşağında yer alan ülkelerdeki değerlerle uyum göstermektedir. Random Forest modeli kullanılarak 16 değişken ile verisi olmayan alanlardaki TOK stok değerlerinin tahmin edildiği proje kapsamında gerçekleştirilen doğrulama ile "r" değeri 0.65 olarak belirlenmiştir. Ülke ölçeğinde yapılan bir çalışma için oldukça yüksek olan bu "r" değeri üretilen haritanın TOK stoklarının tahmininde güvenle kullanılabilceğini göstermektedir.

Proje ile üretilen TOK Stok haritası dinamik bir yapıda olup çeşitli sorgulamalara olanak sağlamaktadır. Proje kapsamında ele alınan ve LULUCF kapsamındaki 6 arazi kullanım sınıfı için ülke, il ve ilçe, havza için toplam ve birim alandaki Tok stok değerleri üretilebilmektedir. Benzer sorgulamalar CORINE Seviye 3 arazi örtüsü sınıfları için de yapılabilmektedir. Üretilen haritadan elde edilen veriler ATD Ulusal Raporunun geliştirilmesinde, yapılacak iyileştirme çalışmalarının etkilerinin değerlendirilmesinde kullanılabilir. Ayrıca Türkiye tarafından imzalanan ve bildirim

yükümlüğümüz bulunan Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ve Kyoto Protokolü kapsamında hazırlanan sera gazları envanterleri için de önemli bir altlık oluşturacaktır. Arazi kullanım değişikliği kararları verilen yatırım projeleri ile degrade olmuş orman, mera ve tarım arazilerinde yapılan ıslah çalışmalarının TOK stoklarına etkileri konusunda da karar vericilere yol gösterebilecektir.

Proje ile amaçlanan temel çıktı olan TOK stok haritasının üretilmesi yanında ek çıktılar da elde edilmiştir. Örneğin gerçekleştirilen boşluk analizi ile toprak organik karbon verisi olmayan alanlar belirlenmiş ve bu alanlar önceliklendirilmiştir. Böylece gelecekte yapılacak toprak örneklemelerinde hangi alanlardan örnekleme yapılması gerektiği ortaya konmuş olup, bu durum zaman ve kaynak tasarrufu sağlayacaktır.

Proje kapsamında Karbon Odaklı Biyocoğrafya Bölgeleri oluşturulmuştur. Benzer bir zonlama IPCC tarafından hazırlanan sera gazları ulusal envanter hazırlama kılavuzunda da bulunmaktadır. Bu kılavuzda sadece iklim kriteri dikkate alınarak bir zonlama yapılmakta ve sera gazları ulusal envanterinde LULUCF bölümünün raporlanmasının her iklim zonu için ayrı ayrı yapılması önerilmektedir. Çünkü bitki gelişimi ve topraklardaki karbon birikimi iklim zonlarına göre farklılık gösterebilmektedir. Proje kapsamında sadece iklim değil topoğrafya, vejetasyon, ana materyal özelliklerini de dikkate alan bir yaklaşımla biyocoğrafya bölgeleri oluşturulmuştur. Karbon Odaklı Biyocoğrafya Bölgeleri TOK stoklarını etkileyecek kararlar verilirken oluşacak etkinin bölgesel olarak değerlendirilmesine katkı sağlayacaktır.



ÇEM ve TÜBİTAK-BİLGEM işbirliğinde yürütülen "Toprak Organik Karbonu" projesinin literatür tarama, veri seti oluşturma, modelleme, çeşitli senaryolara göre TOK stoklarındaki değişimlerinin tahmini ve TOK Stoklarındaki değişimlerin izlenmesi gibi proje süreçlerinde çeşitli konularda boşluklar ve gereksinimler olduğu gözlenmiştir. Bu boşluklar ve gereksinimler ışığında proje kapsamında çeşitli öneriler getirilmiştir. Bunlar;

- Türkiye'de tarım, orman ve mera alanları gibi farklı arazi kullanım sınıflarından toprak örneklemeşi çoğunlukla farklı derinliklerden yapılmaktadır. Toprak örneklemelelerinde ve laboratuvar analizlerinde farklı yöntemler kullanılmaktadır. Özellikle 0-30 cm derinlik kademesinden toprak örneklemeşi yapılması, örneklemede toprakların hacim ağırlığı ve taşlılık değerlerinin belirlenmemesi TOK hesaplamalarındaki belirsizliği arttırmaktadır. Bu nedenle toprak örnekleme ve analizlerinden sorumlu kurumlarla iletişime geçilerek standart yöntemler belirlenmelidir. Ayrıca laboratuvar analizlerinin doğruluklarının da denetlenmesi gerekmektedir.
- Türkiye'de çeşitli kurumlar tarafından toprakla ilgili veri üretilmesine rağmen bu verilerin kurumlar arası paylaşımında sorunlar yaşanabilmektedir. Bu sorunların aşılabilmesi için kurumlar arası işbirliğinin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır.
- Modelleme çalışmaları sırasında mera, makilik, sulak alanlar, kavaklık ve meyve bahçeleri, kentsel alanlarla ilgili az sayıda araştırma olduğu gözlenmiştir. Bu gibi arazi kullanımlarına ait veri üretilmesi TOK haritasının daha sağlıklı üretilmesini sağlayacaktır. Benzer şekilde modellemede Türkiye'ye özgü çeşitli tematik toprak haritalarının (kil, pH, tuzluluk, taşlılık, kayalılık, N, P, K vb.) üretilmesinin olumlu olacağı ancak bu tematik toprak haritalarının veri noksanlığı yüzünden eksik olduğu da gözlenmiştir. Ayrıca süreç tabanlı modeller ile TOK tahmini yapılabilmesi için topraklara yıllık ölü organik madde girişi (anız, ağaçlardan dökülen yaprak ve diğer organik atıklar, ince kökler, mikroorganizma popülasyonu vb.), dökülen organik maddelerin ayrışma oranları ve dökülen organik maddelerin C, N, C/N, lignin gibi içerikleri gibi konularda araştırmalara gereksinim bulunmaktadır.
- Tarımsal uygulamalar (toprak işleme ya da toprak işlemez tarım (sıfır işleme), hayvan gübresi, biyokömür ve kompost kullanımı, monokültür (her yıl aynı ürün) sistemlerinin farklı sistemlere dönüştürülmesi, ürün nöbetleri, kışlık örtü bitkileri, dik yamaçlara çok yıllık bitkilerin uygulanması, yeşil gübreleme, ürün seçimi vb.) ile karbon tutulumunu arttırmak isteniyorsa, çiftçileri bu uygulamalara teşvik edici eylem sistemlerin geliştirilmesi ve bu eylemlerin TOK üzerindeki etkilerinin belirlenmesi gerekmektedir. Sürdürülebilir Arazi Yönetimi olarak özetlenebilecek bu tür eylemlerin karbon odaklı biyocoğrafya bölgeleri bazında hazırlanması da proje kapsamında önerilmiştir.

10 ANA KAYNAK

TÜBİTAK BİLGEM YTE, 2018, Toprak Organik Karbonu Projesi, Toprak Organik Karbonu Miktarı Tahminleme Modeli Raporu Proje Kodu: 100311, Revizyon No: 1.0.40 Sürüm Tarihi: 04.06.2018.

Projede Görev Alanlar

No	Adı Soyadı	Kurumu	Ünvanı
1	Ahmet İPEK	ÇEM Genel Müdürlüğü	Genel Müdür
2	M.Mustafa GÖZÜKARA	ÇEM Genel Müdürlüğü	Genel Müdür (Eski)
3	Hanifi AVCI	ÇEM Genel Müdürlüğü	Genel Müdür (Eski)
4	Cafer ORHAN	ÇEM Genel Müdürlüğü	Genel Müdür Yardımcısı
5	Emin KARAMAN	ÇEM Genel Müdürlüğü	Genel Müdür Yardımcısı
6	Özlem YAVUZ	ÇEM Genel Müdürlüğü	Daire Başkanı
7	Kenan ŞAHİN	ÇEM Genel Müdürlüğü	Şube Müdürü
8	Hamza KESKİN	ÇEM Genel Müdürlüğü	Mühendis
9	Burak AVCIOĞLU	ÇEM Genel Müdürlüğü	Mühendis
10	Nur Aslıhan KARAMAN	ÇEM Genel Müdürlüğü	İstatistikçi
11	Orhan DOĞAN	ÇEM Genel Müdürlüğü	Danışman
12	Cemil SAĞIROĞLU	TÜBİTAK - BİLGEM - YTE	Enstitü Müdürü
13	Ömer ÖZKAN	TÜBİTAK - BİLGEM - YTE	Enstitü Müdür Yardımcısı
14	Yalın YENER	TÜBİTAK - BİLGEM - YTE	Proje Yöneticisi
15	Çağatay YAMAK	TÜBİTAK - BİLGEM - YTE	CBS Uzmanı
16	Mete SÜNSÜLİ	TÜBİTAK - BİLGEM - YTE	İş Analisti
17	Engin GEM	TÜBİTAK - BİLGEM - YTE	CBS Uzmanı
18	Gülen ÇELEBİ BAŞCI	TÜBİTAK - BİLGEM - YTE	İş Analisti
19	Büşra KABAĞCI	TÜBİTAK - BİLGEM - YTE	CBS Uzmanı
20	Alptekin KARAGÖZ	TÜBİTAK - BİLGEM - YTE	Akademik Danışman
21	Ayten NAMLI	TÜBİTAK - BİLGEM - YTE	Akademik Danışman
22	Doğanay TOLUNAY	TÜBİTAK - BİLGEM - YTE	Akademik Danışman
23	Erhan AKÇA	TÜBİTAK - BİLGEM - YTE	Akademik Danışman
24	Erhan TERCAN	TÜBİTAK - BİLGEM - YTE	Akademik Danışman
25	Fatih EVRENDİLEK	TÜBİTAK - BİLGEM - YTE	Akademik Danışman
26	Gönül AYDIN	TÜBİTAK - BİLGEM - YTE	Akademik Danışman
27	Günay ERPUL	TÜBİTAK - BİLGEM - YTE	Akademik Danışman
28	Murat TÜRKEŞ	TÜBİTAK - BİLGEM - YTE	Akademik Danışman
29	Orhan DENGİZ	TÜBİTAK - BİLGEM - YTE	Akademik Danışman
30	Orhan DOĞAN	TÜBİTAK - BİLGEM - YTE	Akademik Danışman
31	Taşkın ÖZTAŞ	TÜBİTAK - BİLGEM - YTE	Akademik Danışman
32	Yasemin KAVDIR	TÜBİTAK - BİLGEM - YTE	Akademik Danışman





www.cem.gov.tr

Ankara 2018