

**Makale
(Article)**

Karasal Karbon Depolama Kapasitesinin Orman Düzeyinde Tahmin Edilmesi Amacıyla Geomatik Teknolojilerden Yararlanılması

Merve ERSOY MİRİCİ*, Süha BERBEROĞLU*, Ahmet ÇİLEK*

*Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü Adana/TÜRKİYE

mrv.ersoy@gmail.com

Özet

Seragazi oluşumlarının tetikleyicisi olarak sayılan karbon bileşikleri küresel ısınma eğilimlerini belirleyen en büyük etmendir. Orman ekosistemleri ise toprakta ve bitkide (biyokütle yapısında) depoladıkları karbon miktarı ile doğal karbon tutulumunu sağlayarak karasal karbon yutaklarını meydana getirmektedir. Bu çalışmanın amacı, Türkiye Doğu Akdeniz Bölgesi Ceyhan ve Seyhan Havzalarının kesişiminde yer alan Kozan İlçesi'nin orman alanlarında karasal karbon depo kapasitesinin orman biyokütlesi ve toprak organik maddesi aracılığı ile tahmin edilmesidir. Bitkide depolanan karbon miktarı, ülkemizde LULUCF (Land Use Land Use Change and Forestry) uygulamaları kapsamında birim alan düzeyinde hesaplanan klasik biyokütle tahmin yöntemi ve ağaç kapallık yüzdesi verisi esas alınarak tahmin edilmiştir. ArcGIS 10.2 yazılımından işlevsel olarak yararlanılan bu çalışmada biyokütle; (i)meşcere tipleri haritası, (ii) meşcere tipinin kapladığı alan miktarı, (iii) ağaç hacim değeri, (iv) BEF(Biyokütle Genişletme Faktörü), WD (Odun Yoğunluğu), R (Kök/Sak Oranı) katsayıları ve 30 m çözünürlüklü (LANDSAT) ağaç kapallık yüzdesi verisi ile belirlenmiştir. Buna ek olarak toprakta depolanan karbon miktarı için; (i) alan, (ii) derinlik(m), (iii) hacim ağırlığı (g/cm³) ve (iv) karbon miktarı(%) verilerinden yararlanılarak EU JRC (Avrupa Birliği Ortak Araştırma Merkezi)'nin küresel ölçekte kullandığı toprak organik karbon hesaplama yöntemi esas alınmıştır. Kozan İlçesi orman alanlarında biyokütle ve toprak organik karbonu (TOK) verilerinin entegrasyonu sonucunda karasal karbon depolama kapasitesi ortalama değeri 338,7 Mg/ha olarak tahmin edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Karasal Karbon Kapasitesi, Biyokütle, Toprak Organik Karbonu, Doğal Peyzaj, CBS

The Use of Geomatic Technologies with the Purpose of Estimating Terrestrial Carbon Storage Capacity at a Level of Forest

Abstract

Carbon compounds considered as a trigger of greenhouse gas formation is the biggest factor that determines the global warming trends. Forest ecosystems with the carbon content in the soil and in the biomass plant bring into being terrestrial carbon sinks by providing natural carbon sequestration. The purpose of this study is to provide the production of terrestrial carbon storage capacity map of Kozan district located at the intersection of Ceyhan and Seyhan Basin, in Turkey Eastern Mediterranean Region with biomass carbon and soil carbon stocks. It has been observed that estimates of conventional biomass calculated according to the unit area method, within the scope of LULUCF application. The benefit of ArcGIS 10.2 in this study, biomass has been determined by (i) stand types map, (ii) the amount of space covered by stand types, (iii) tree volume data, (iv) BEF(Biomass Expansion Factor), WD (Wood Density) and R (Root/Shoot Ratio) coefficients. Also benefit from percent tree cover data. In addition to biomass carbon has been calculated soil carbon stock of study area. Soil carbon stock was determined (i)Area, (ii)Depth (m), (iii) Bulk Density(g/cm³), (iv) Carbon Content (%) with soil organic carbon computation method

Bu makaleye atf yapmak için

"Karasal Karbon Depolama Kapasitesinin Orman Düzeyinde Tahmin Edilmesi Amacıyla Geomatik Teknolojilerden Yararlanılması" Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi 2015, 7(3) 21-33, doi: 10.15659/hartek.15.11.99

How to cite this article

"The Use of Geomatic Technologies with the Purpose of Estimating Terrestrial Carbon Storage Capacity at a Level of Forest" Electronic Journal of Map Technologies, 2015, 7(3) 21-33, doi: 10.15659/hartek.15.11.99

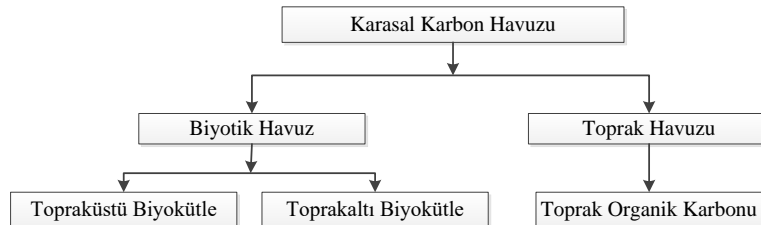
which used from EU JRC Institute. For estimation of terrestrial carbon stock in Kozan forest areas was integrated biomass carbon map and soil carbon map. Finally, mean terrestrial carbon stock value was estimated 338,7 Mg/ha.

Keywords: Terrestrial Carbon Capacity, Biomass, Soil Organic Carbon, Natural Landscape, GIS

1. GİRİŞ

1950 yılında 2.5 milyar olan insan nüfusu 2000 yılında 6 milyara ulaşmıştır. Gelecek nüfus projeksiyonlarının tahminine göre ise 22.yüzyılın ortasına gelmeden dünya nüfusunun 10 milyara ulaşması öngörülmektedir. Sanayi devrimine paralel olarak dünya nüfusedeki artış kişi başına düşen enerji ve materyal tüketiminde de artış meydana getirmiştir. 2050 yılına gelindiğinde ise küresel gıda talebinin günümüze oranla ikiye katlanacağı tahmin edilmektedir [1]. Sınırlı düzeyde bulunan ve insan ihtiyaçları doğrultusunda müdahale edilen doğal peyzajlar; arazi kullanımı, tarım, ulaşım, sanayi ve enerji üretimi gereksinimleri doğrultusunda değişime uğramaktadır [2].

Artan karbon salınımlarının engellenmesi ve çevresel problemlerin önüne geçilmesi adına uluslararası düzeyde çözümlerin geliştirilmesi kaçınılmazdır. Özellikle doğal peyzaj karakteri gösteren alanlarının insan gereksinimleri doğrultusunda farklı kullanımlara dönüştürülmesi aşamasında karbon temelli arazi kullanımlarının alternatifli olarak geliştirilmesi sağlanabilir. Nitekim doğal peyzajların birim bazında mutlak temelli karbon içeriğine sahip olduğu bilinmektedir. Farklı peyzaj karakterindeki alanlar yapısal özellik farklarından dolayı farklı düzeylerde karbon tutma yeteneğine sahiptir. Karbon yutakları olarak fonksiyon gösteren doğal peyzajlar ekosistem hizmetlerinin en büyük yarar sağlayıcılarından biridir. Özellikle ormanlar insanlar için kereste ve pek çok ürün açısından hammadde sağlayarak tedarik sağlayıcı hizmet (provisioning service) olarak nitelendirilmesinin yanı sıra aynı zamanda canlılar için yaşam kaynağı olan oksijen ve karbon döngüsünde hayati bir rol oynadığından dolayı destekleyici hizmet (supporting service) görevi üstlenmektedir. Uluslararası literatür çalışmalarında orman ekosistemlerinin hem destekleyici hem de kaynak sağlayıcı hizmetler kategorinde değerlendirilerek insanlara ekonomik ve ekolojik yönde yarar sağladığı vurgulanmaktadır. Bu doğrultuda ekosistem hizmetlerinin (orman biyokütlesi, karbon deposu vb.) niceliksel temele dayanan göstergeler ile değerlendirilmesi karbon temelli arazi planlama/peyzaj planlama çalışmalarının önünü açacak bir yaklaşım sergileyecektir. Bu bakımdan özellikle karasal ekosistemler içerisinde karbon depolama görevi ile öne çıkan orman ekosistemleri bu çalışmanın çatısını oluşturmaktadır. Çalışma alanında orman biyokütlesinin yanı sıra toprak organik karbon miktarının da tahmini sağlanmıştır. Nitekim [3] toprak karbon havuzlarının niteliksel ve niceliksel açıdan ekosisteme sayısız faydaları olduğunu dile getirmektedir. Özellikle karasal ve atmosferik karbon havuzu arasında fotosentez ve solunum mekanizması ile güçlü bir etkileşimi bulunmaktadır. Bu kapsamda toprak ve biyokütle atmosferde biriken sera gazlarını büyük ölçüde yönetmektedir. Küresel ölçekte karasal ekosistem depoları yaklaşık olarak 2477 milyon ton karbon depo kapasitesine sahiptir. Bu kapasitenin %19'unu orman biyokütlesi oluştururken %81'i toprakta depolanmaktadır (Şekil 1) [4].



Şekil 1. Karasal Karbon Havuzu [3]

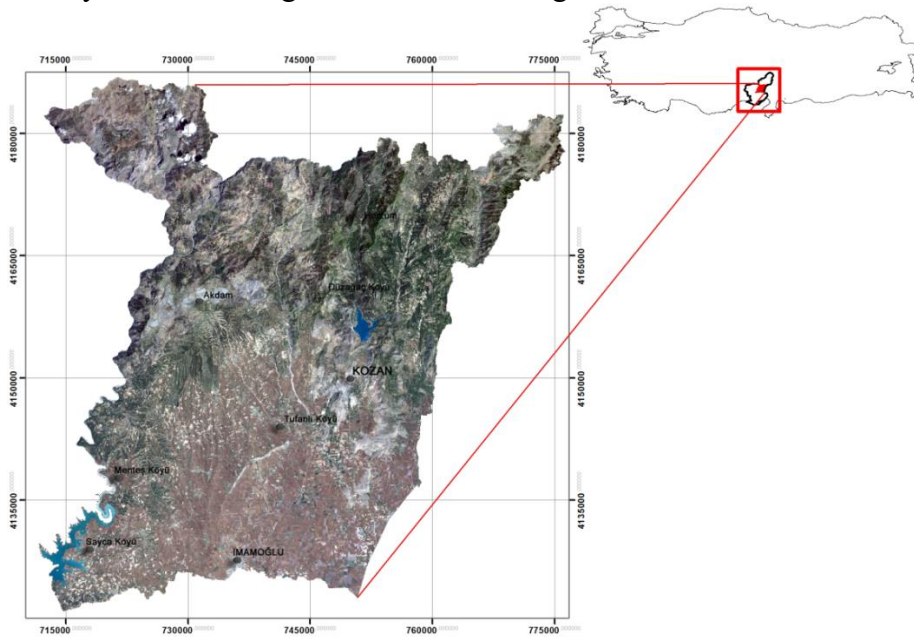
Doğal peyzajlarda karasal karbon depolama kapasitesinin tahmin edilmesi hem alanın değişkenliği doğrultusunda karbon tutunum kimliğini ortaya koymakta hem de arazi bütününde toplam kapasitesinin belirlenmesini sağlamaktadır. Kyoto protokolü kapsamında emisyonlarını azaltmayan ülkelerin, emisyonunu azaltan ülkelere kota miktarlarını karbon borsası aracılığı ile satın alması söz konusudur [5].

Bu nedenle de ülkeler sera gazı emisyonlarına ilişkin salınım ve tutunum miktarları ile ilgili belirli aralıklarla ulusal düzeyde envanter hazırlamaktadır. [6]'nın belirttiğine göre ülkeler sera gazlarına ilişkin salınım ve tutunum mekanizmalarının envanterlerine ilişkin Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) tarafından hazırlanan LULUCF rehber niteliğindeki kılavuzundan yararlanmaktadır. Bu çalışma kapsamında LULUCF kılavuzu esas alınarak orman alanlarına ilişkin toprakaltı ve topraküstü biyokütle CBS yazılımı olan ArcGIS 10.2 yazılımı ile belirlenmiştir. Yöntemin geliştirilmesi ve orman biyokütlesinin tahmin doğruluğunu arttırmak amacı ağaç kapalılık yüzdesi verisi mekansal analizlere dâhil edilmiştir. Bu yönü ile farklı düzeyde kanopiye sahip olan aynı meşcere tipleri değişken biyokütle miktarları ile sonuçlanmıştır. Bunun yanı sıra toprak organik karbonu hesaplama yöntemi kullanılarak elde edilen TOK miktarı ile orman biyokütlesi entegre edilen çalışma alanına ilişkin karasal karbon depolanma kapasitesi haritası elde edilmiştir.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada orman düzeyinde karasal karbon kapasitesinin belirlenmesi adına Adana iline bağlı pilot bir bölge üzerinde çalışılmıştır. Bölge, Adana il sınırları içerisinde orman biyokütlesi bakımından önemli bir bölge düzeyindedir. Alan Seyhan ve Ceyhan havzalarının ortak karakterini yansıtmaktadır. Özellikle deniz seviyesinden itibaren zirveye uzanan kuşakta çalışma alanı tam olarak geçiş bölgesinde yer almaktadır. Çalışma alanında düşük yükseltide tarım bölgeleri ve yükselti arttıkça yayılan orman hâkimiyeti söz konusudur. Bu bölümde araştırma doğrultusunda çalışma alanına ilişkin bilgiler ve çalışmanın yöntemine ilişkin çerçeve belirlenmiştir.

Meşcere düzeyinde biyokütle tahmininin gerçekleşeceği çalışma alanı Doğu Akdeniz Bölgesi Seyhan Havzası'nda bulunan ve Adana iline bağlı Yukarı Ova olarak isimlendirilen Kozan İlçesi olarak belirlenmiştir (Şekil 2). Kozan ilçesinin kuzeyinde Kayseri, Yahyalı, Feke, Saimbeyli, doğuda Osmaniye ve Kadirli, güneyde Ceyhan ve İmamoğlu, batı da ise Aladağlar bulunmaktadır.

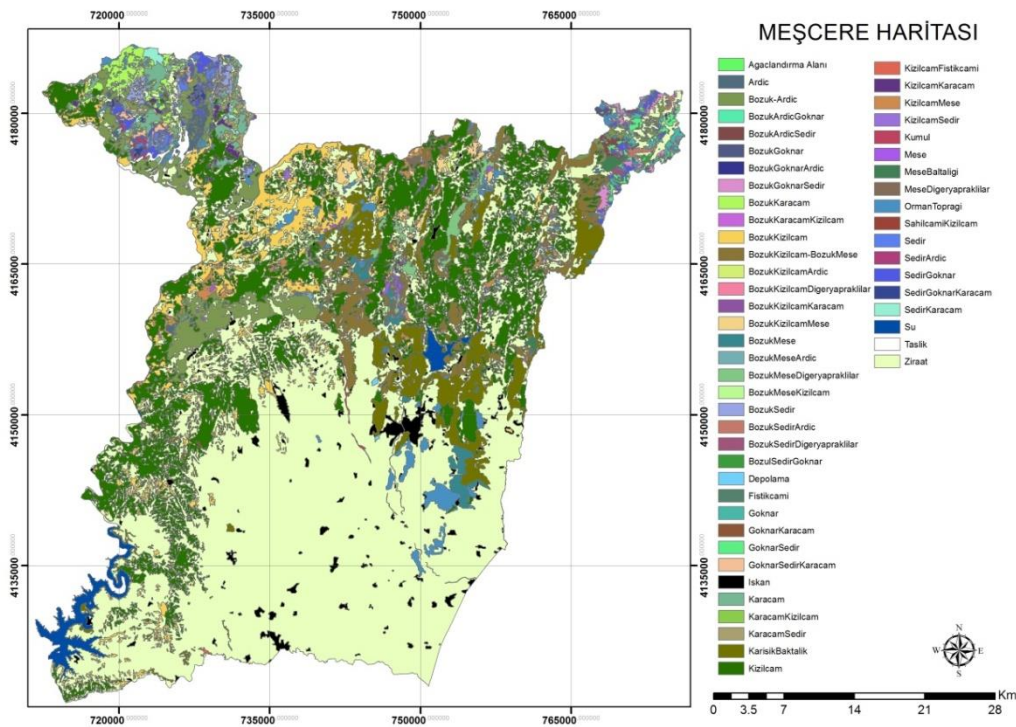


Şekil 2. Çalışma alanının konumu

Çalışma alanının büyüklüğü 2293,5 km² olup, düzlüklerle birlikte dağlık kesimlerle meydana gelmektedir. Alana ilişkin yükselti 19m-1991m aralığında dağılım göstermektedir. Yükseklik dağılımlarının farklılığı flora ve faunayı etkileyen temel unsurlardan biri olmakla birlikte alanın yaklaşık %51'lik kısmı 19 m ve 400 m aralığında yükseltiye sahiptir. Bu durum arazi kullanım yapısını etkileyerek bu kesimlerde yerleşim ve tarım alanlarının gelişmesini sağlamıştır. Orman alanlarının genel olarak 400 m. ve üzerinde (özellikle zirveye yakın kuzeybatı, kuzey ve kuzeydoğu kesiminde) yer aldığı söylemek mümkündür.

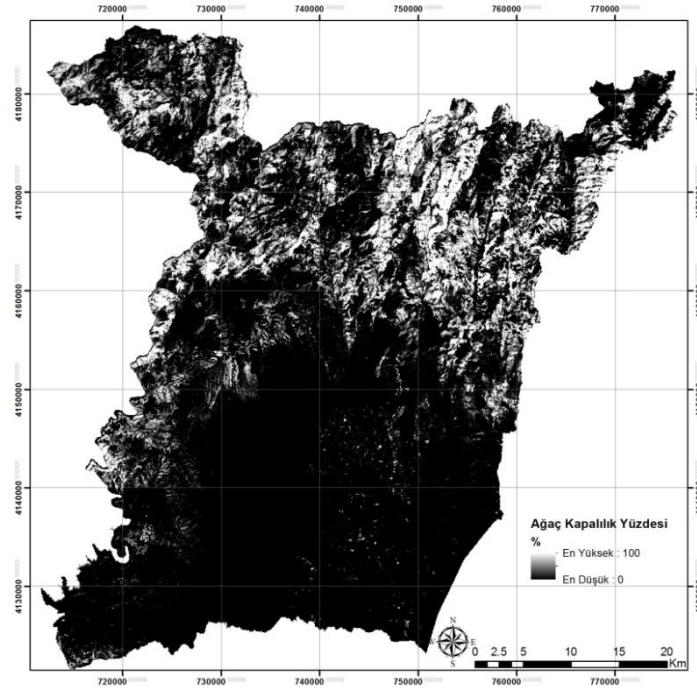
2.1. Materyal

Çalışma alanında orman biyokütlesine ilişkin tahminlerin üretilmesi için temel veri kaynağı;(i) orman meşcere haritaları (Şekil 3) ve (ii) ağaç servet değerleridir. Bu doğrultuda 2002 yılına ait orman amenajman planları ve ağaç servet değerlerine ilişkin envanter dokümanları Kozan Orman İşletme Müdürlüğü'nden elde edilmiştir. Bu çalışma kapsamında ağaç servet değerleri verisi sayısal ortamda elde edilmeyip, amenajman planlarında yer alan "Hektardaki Ağaç Serveti" verilerinden temin edilmiştir. Sayısal ortamda olmayan hektardaki ağaç serveti verileri sayısal ortamdaki meşcere verileri ile eşleştirilerek ArcGIS 10.2 ile sayısallaştırılmıştır. [7]'nin belirttiğine göre ağaç serveti envanteri, 10-20 yıl aralığını kapsayan orman amenajman planları kapsamında deneme alanlarından sistematik biçimde alınan örneklemeler ile tespit edilmektedir. Orman amenajman planları kapsamında elde edilen örneklemeler hektardaki ağaç serveti (hacmi) olarak belirlenmektedir. Ülkemizde ağaç serveti verisi, amenajman planları doğrultusunda Orman Mühendisleri tarafından kapallık durumlarına göre 800m²/600m²/400m²'lik alanlarda tür/göğüs çapı/artım bilgilerinin ölçümü ile oluşturulmaktadır.



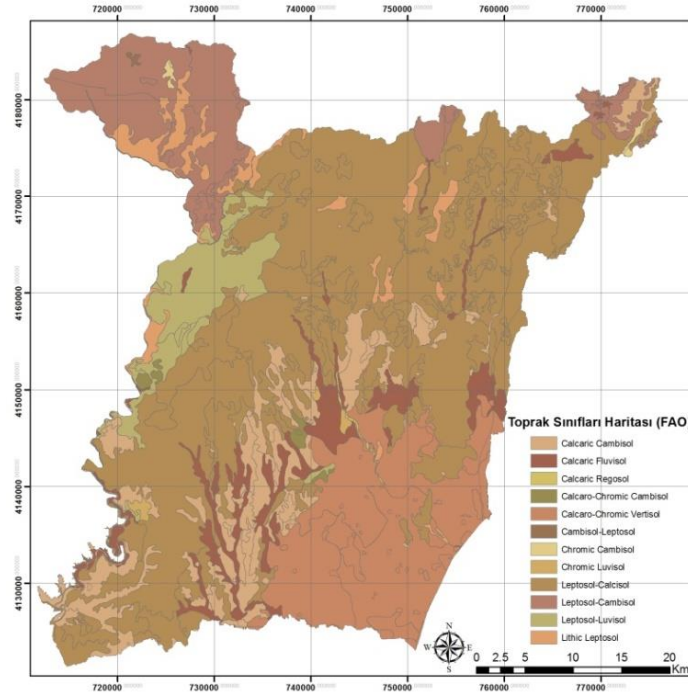
Şekil 3. Kozan meşcere haritası

Maryland Üniversitesi Coğrafya Bölümü küresel düzeyde orman kayıplarını veya kazançlarını ortaya koyabilmek adına 2000-2012 yıl aralıklarını kapsayan veri seti ile ağaç kapallık yüzdesini üretmiştir. İnternet platformundan açık erişim aracılığı ile elde edilen bu veri çalışma alanında orman biyokütlesinin tahmininde kullanılmıştır. Açık erişimli bu veri seti 2000 yılından 2014 yılına kadar orman örtüsü verilerini uzaktan algılama görüntüleri ile analizini gerçekleştirmiştir. 30 m çözünürlüklü Landsat verilerini zaman analizi ile değerlendiren [8], küresel ölçekte bölgesel orman kazançları ve kayıplarını ortaya koymuştur. Ağaç kapallık yüzdesi, doğal bitki örtüsünün yatay ve dikey olarak yeryüzünde yayılışını ve yeryüzü örtülülüğünün yüzde cinsinden miktarını ifade etmektedir (Şekil 4) [9]. Kanopi olarak da ifade edilebilen ağaç kapallığı, gökyüzünden yeryüzüne bakıldığında yeryüzünde yayılım gösteren doğal bitki örtüsünün yeryüzünü örtme miktarıdır. Bu çalışmada 2002 yılına ait ağaç kapallık yüzdesi verisi açık erişim ile elde edilmiş ve çalışma hiyerarşisine dâhil edilmiştir.



Şekil 4. Ağaç kapalık yüzdesi haritası (Hansen/UMD/Google/USGS/NASA)

Toprak organik karbonun hesaplanması sürecinde [10] tarafından üretilen Türkiye Organik Karbonu verisi esas alınmıştır. Türkiye düzeyinde gerçekleştirilen bu çalışmada ülkenin farklı bölümlerinden derlenen 0-20 cm derinliğinde toprak profilleri Walkley-Black yöntemine göre analiz edilmiştir. Analiz sonuçları uzman görüşlerine göre Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) toprak sınıfları ve toprak tekstür verileri esas alınarak sınıflandırılmıştır. Çukurova Üniversitesi Bitki Besleme ve Toprak Bölümü'nden elde edilen Kozan İlçesine ait FAO toprak sınıfları verisinde [10] tarafından uzman görüşüne dayalı organik madde miktarı sınıflaması gerçekleştirilmiştir. Şekil 5'te gösterilen toprak sınıfları incelendiğinde alanın kuzeydoğu-güneybatı ekseninde Leptosol-Calcisol sınıfının alanın %50.09'unu kapladığı gözlenmektedir (Çizelge 1). Bu tip topraklar çoğunlukla kireç ve potasyumca zengindir. Bu kesimlerde Leptosol-Cambisol toprakları bulunmaktadır. Bu tip topraklar çoğunlukla orta derin-sığ karstik sık orman alanlarının topraklarıdır [11].



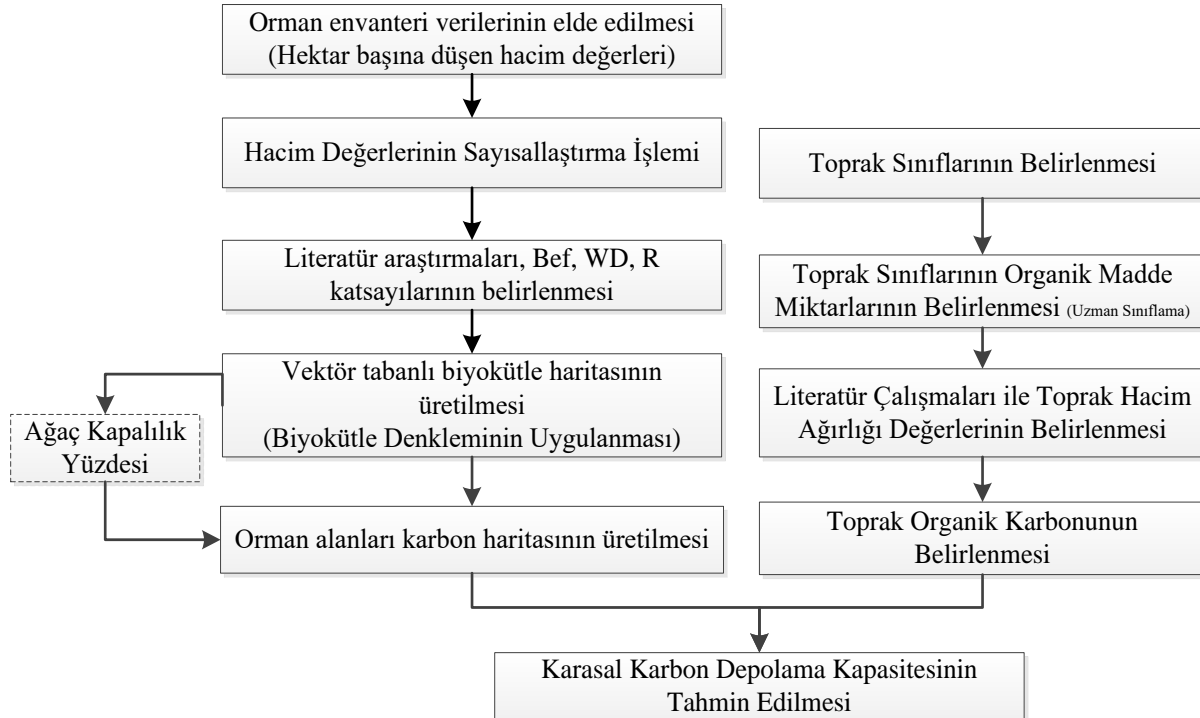
Şekil 5. Toprak Sınıfları Haritası (FAO)

Çizelge 1. Kozan ilçesi toprak sınıflarının organik madde miktarları ve alansal dağılımları

FAO TOPRAK SINIFLARI	ORGANİK MADDE MİKTARI	ALAN (ha)	ALANSAL DAĞILIM(%)
Calcaric Cambisol	1.7	22797.87	9.94
Calcaric Fluvisol	1.9	12924.20	5.63
Calcaric Regosol	1.4	208.53	0.09
Calcaro-Chromic Cambisol	2.5	896.48	0.39
Calcaro-Chromic Vertisol	1.6	34972.43	15.24
Cambisol-Leptosol	1.4	102.46	0.04
Chromic Cambisol	2	417.00	0.18
Chromic Luvisol	3.2	577.47	0.25
Leptosol-Calcisol	2.4	114895.99	50.09
Leptosol-Cambisol	2.6	22474.74	9.80
Leptosol-Luvisol	3.2	11708.91	5.11
Lithic Leptosol	1.7	7379.25	3.22

2.2. Yöntem

Çalışmada Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) aracı, orman biyokütlesinin hesaplanması ve haritalandırılması sürecinde işlevsel olarak kullanılmıştır. Orman biyokütlesine ait bilgilerin toplanmasının ardından elde edilen bilgilerin sayısallaştırılması, vektör formatında hazırlanan veri setlerinin klasik biyokütle tahmini yöntemine göre analiz edilmesi; raster formatında hesaplanan TOK miktarının belirlenmesi; biyokütle ve TOK verilerine ait format dönüşümlerinin yapılması ve bu verilerin entegrasyonlarının sağlanması aşamalarında ArcGIS 10.2 yazılımından yararlanılmıştır. Vektör formatında üretilen biyokütle tahminlerine katkıda bulunması açısından uzaktan algılama görüntüleri yardımı ile üretilmiş ve açık erişim ile indirilen ağaç kapalık yüzdesi verisi kullanılmıştır (Şekil6).

**Şekil 6.** Çalışmanın yöntemi

2.2.1 Biyokütle Haritasının Üretilmesi Aşaması

Biyokütle, bir türe veya çeşitli türlerden oluşan bir topluma ait yaşayan organizmaların belirli bir zamanda sahip oldukları toplam kütle miktarı olarak tanımlanmaktadır. Orman alanlarında yer alan ağaç ve ağaççıkların kök, gövde ve dal odunu ile birlikte odunu olmayan kabuk ve yapraklarından oluşan bütüne orman biyokütlesi denilmektedir. Biyokütle ormanın ölçülen zamandaki kapasitesini ifade etmektedir. Daha basit şekilde biyokütle, depolanan enerji olarak tanımlanabilir. Karasal ekosistemler içerisinde yer alan orman alanları ekosistem hizmetleri içerisinde pek çok fonksiyona sahip olduğu gibi aynı zamanda karbon yutakları olarak işlev görmektedir. Orman alanlarında karbon yutakları (i) canlı biyokütle, (ii) ölü organik madde ve (iii) toprak olmak üzere üç temel grupta değerlendirilmektedir. Bu çalışma kapsamında orman alanlarında canlı biyokütlesi ele alınmıştır. Canlı biyokütlesi (i) toprak üstü biyokütlesi ve (ii) toprak altı biyokütlesi olmak üzere iki bölümden meydana gelmektedir. Toprak üstü biyokütle; toprak üstündeki gövde, kütük, kabuk, tohum ve dallardır. Toprak altı biyokütle ise; toprak altındaki kökleri kapsamaktadır [12,13,14]. Bu çalışmada orman biyokütlesinin tahmin edilmesi adına [15-20] tarafından orman alanlarındaki karbon birikimi üzerine yapılan çalışmalarda kabul edilen yaklaşımlar benimsenmiştir (Şekil 6). Bu yaklaşım genelinde öncelikle toprak üstündeki biyokütle (ağaçların dal, gövde ve yaprakları) belirlenmekte, daha sonrada toprak üstü biyokütle miktarına bağlı olarak toprak altı biyokütle tahmin edilmektedir. Araştırma alanında orman biyokütlesinin tahminine ilişkin aşağıdaki denklem kullanılmıştır.

$$\text{Toplam Biyokütle} = (V \times \text{Bef} \times \text{WD}) \times (1 + R) \quad (1)$$

Kozan İlçesi orman alanlarını kapsayan biyokütlenin hesaplanması için gerekli olan 2002 yılına ait hacim (servet) değeri (V) (m³/ha), fırın kurusu ağırlık veya odun yoğunluğu (WD) (Mg/m³), Bef ve R katsayıları literatür araştırmaları aracılığı ile elde edilmiştir. Çalışmada farklı çalışmaların her birinde arazi çalışması yapılarak ağaç ve kök sökme gibi işlemlerin yapılması, ağırlıkların ölçülmesi ve oranlanması gerçekleştirilemeyeceğinden dolayı bu konuda daha önceden yapılmış literatür çalışmalarından yararlanılmıştır. Araştırma alanında bulunan bitki türlerinin fırın kurusu ağırlıkları üzerine literatür araştırması yapılmış ve benzer coğrafi alanlardaki örnek çalışmalardan yararlanılarak WD katsayıları kullanılmıştır (Çizelge 2).

Çizelge 2. Meşcere tiplerine göre WD katsayıları

BİTKİ TÜRLERİ	WD	KAYNAK
Abies sp.	0,35	[21]
Pinus nigra	0,47	[21]
Pinus pinea	0,47	[21]
Cedrus libani	0,48	[22]
Juniperus exelsa	0,508	[22]
Pinus maritima	0,43	[22]
Quercus sp.	0,57	[23]
Pinus brutia	0,478	[23]
Fagus orientalis	0,53	[23]
Diğer yapraklılar	0,638	[24]

Gövde kütlelerinin hesaplanmasının yanı sıra bir ağaca veya meşçereye ilişkin gövde kütlelerinin genişletilmesi işlemi gerçekleştirilmektedir. Bef katsayısının belirlenmesi için toplam toprak üstü biyokütlenin (gövde ve dal kütlelerinin tamamı) yalnızca gövdeden çıkan kereste kütlelerine oranlanması ile elde edilmektedir [19, 21, 24].

Çizelge 3. Çalışmada kullanılan bitki türlerine ilişkin BEF katsayıları

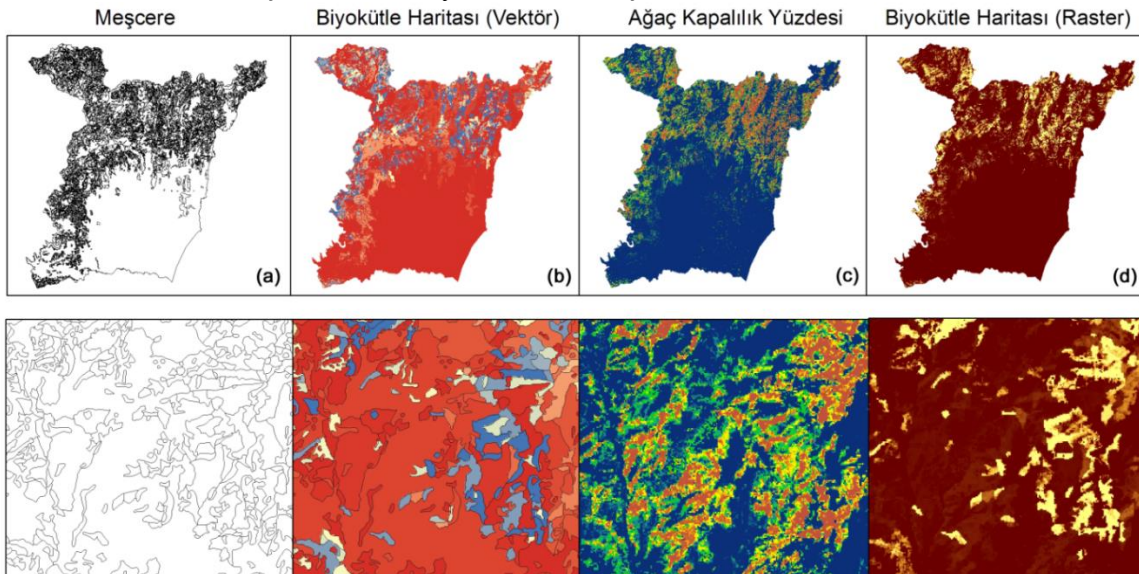
BİTKİ TÜRLERİ	BEF	KAYNAK
Pinus brutia	1,319	[20]
Abies sp.	1,195	[21]
Cedrus libani	1,195	[21]
Juniperus exelsa	1,195	[21]
Pinus nigra	1,701	[21]
Pinus pinea	1,195	[21]
Quercus sp.	1,324	[23]
Fagus orientalis	1,228	[23]
Pinus maritima	1,220	[24]
Diğer yapraklılar	1,240	[24]

Meşcere türleri esas alınarak elde edilen toprak üstü biyokütlenin toprak altı biyokütleyle dönüştürülmesi için R katsayısı (root/shoot ratios) kullanılmaktadır. R katsayısı sayesinde toprak üstü biyokütleden, toprak altı biyokütle elde edilebilmektedir. Bunun için toprak altı biyokütle ile toprak üstü biyokütle ağırlıkları birbirleri ile oranlanmaktadır [19, 21, 24]. Bu çalışmada da önceden yapılmış çalışmalardan yararlanılmış ve [2]'e göre toprak üstü biyokütle miktarına göre R katsayısı belirlenmiştir (Çizelge 4).

Çizelge 4. Çalışmada kullanılan bitki gruplarına ilişkin R katsayısı [2]

TÜR GRUPLARI	TOPRAK ÜSTÜ BİYOKÜTLE (mg/ha ⁻¹)	R
İbreliler	< 50	0.46
	50-150	0.32
	>150	0.23
Yapraklılar	<75	0.43
	75-150	0.26
	>150	0.24

Vektör formatında hesaplanan biyokütle miktarı ağaç kapalılık yüzdesi verisi ile örtüşmesi bakımından 30 m çözünürlüğe dönüştürülmüştür. Raster formatına dönüştürülen biyokütle miktarı ağaç kapalılık verisi ile ArcGIS 10.2 Map Algebra aracı ile entegre edilmiştir. Ülkemizde meşcere verisi üzerinden vektör formatında hesaplanan biyokütle sonuç verisi Şekil 7'de (b) gösterilmiştir. Çalışmada Şekil 7 (b) ve Şekil 7 (c) verileri entegre edilerek sonuç biyokütle (d) haritası üretilmiştir. Bu sayede bir poligon üzerinde ortalama biyokütle yerine 30 m çözünürlükteki değişken örtülülük gösteren raster formatlı biyokütle sonuç verisi tahmin edilmiştir. Elde edilen sonuç biyokütle miktarının karbona dönüştürülebilmesi adına OGM tarafından kabul edilen 0,45 çevirme katsayısı kullanılmıştır.

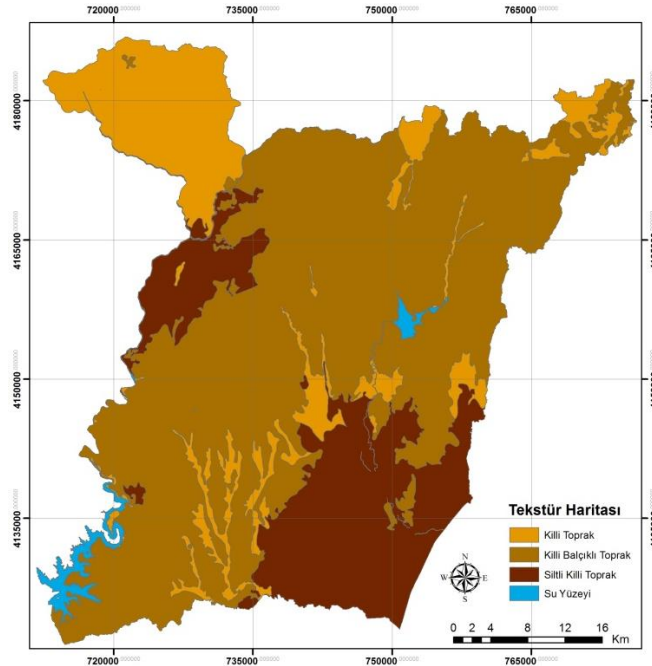
**Şekil 7.** Orman biyokütle hesaplamalarında ağaç kapalılık yüzdesi verisinin entegrasyonu

2.2.2. Toprak Organik Karbonunun Hesaplanması Aşaması

Karasal karbon stoğunun diğer bir bileşeni olan toprakta depolanan karbon düzeyi ise Avrupa Birliği Ortak Araştırma Merkezi Çevre ve Sürdürülebilirlik Enstitüsü (European Commission Joint Research Centre Institute for Environment and Sustainability) tarafından yürütülen “Küresel Toprak Organik Karbon Tahminleri ve Uyumlaştırılmış Dünya Toprak Veritabanı” çalışmasında temel alınan Toprak Organik Karbon Hesaplama (Soil Organic Carbon Computation) yöntemi esas alınarak hesaplanmıştır. Toprak organik karbon hesaplama yönteminde kullanılan denklem;

$$SOCS = SOCC (\%) \times BD (g\ cm^{-3}) \times A (ha) \times LD (m) * 10^{-2} \quad (2)$$

SOCS toprak organik karbon miktarı ($Mg\ ha^{-1}$), SOCC belirlenen toprak derinliğindeki karbon içeriği (%), BD toprak tekstürüne göre belirlenmiş özgül ağırlık ($Mg\ m^{-3}$, A toprak organik maddesinin kapladığı yüzey alanı (ha), LD toprak derinliğini (m) ifade etmektedir ($Mg = 10^6$ gram) [25]. BD verisi, toprak tekstürüne ait özgül ağırlıdır (Bulk Density-BD). Toprak organik karbonunun hesaplanması sürecinde BD verisi, Kozan İlçesine ilişkin toprak tekstür haritasından üretilmiştir (Şekil 8). Toprak karbonun belirlenmesi adına toprak organik maddesinin %58'i esas alınarak üretilmiştir. Çalışmada toprak organik karbon miktarının belirlenmesi için 0-20 cm derinlik esas alınmıştır.



Şekil 8. Toprak Tekstür Haritası [10]

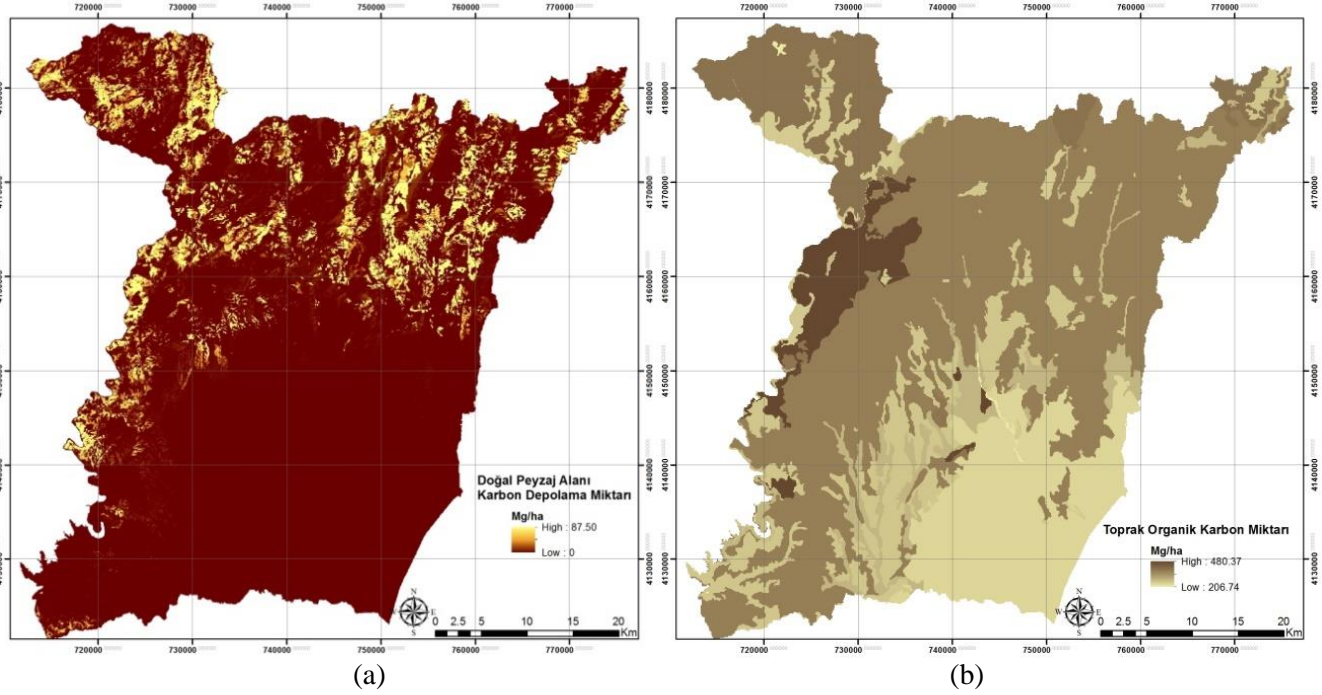
Çizelge 5. Çalışma alanı toprak tekstür özellikleri

TOPRAK TEKSTÜRÜ	BD	ALAN (HA)	ALANSAL DAĞILIM (%)
Killi	1.27	40049.34	17.71
Killi Balçık	1.31	139765.74	61.79
Siltli Killi Balçık	1.28	46367.11	20.50

TOK miktarının belirlenmesi aşamasında tüm girdi verileri 30 m çözünürlükte oluşturulmuştur. Raster formatlı verilerin hepsi ArcGIS 10.2 yazılımında Map Algebra aracı ile hesaplanmıştır. Veri dönüşümlerinin sağlanmasının ardından 30 m çözünürlükteki biyokütle ve TOK verisi toplanarak karasal karbon miktarı tahmin edilmiştir.

3. BULGULAR ve SONUÇ

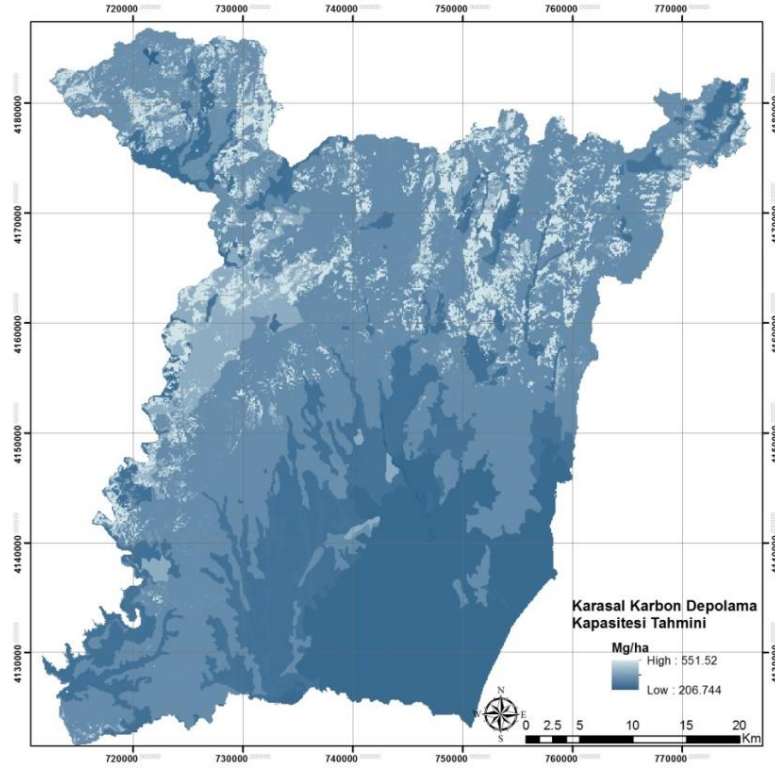
Araştırma alanına ilişkin orman biyokütlesinin hesaplanması büyük oranda meşcere türüne, yaşına ve dağılımina bağlı olarak değişim göstermektedir. Meşcere verilerine dayalı olarak üretilen vektör tabanlı biyokütle verisinde temel yoğunluğun kızılçam ve bozuk türlere ait olduğu gözlenmektedir. Elde edilen sonuca göre hacim değerlerine sahip olmayan ziraat, yerleşim ve açık alanların biyokütle değerleri göz ardı edilmiştir.



şekil 9. (a) Orman örtüsü karbon depolama miktarı, (b) Toprak organik karbon (TOK) miktarı

Çalışma alanında en düşük miktarda elde edilen karbon miktarı bozuk ardı (Juniperus sp.) meşcere türünde (0,013 Mg) iken en yüksek biyokütle miktarı Kızılçam- Pinus brutia (zd3) (87.50 Mg) meşcere türünde gözlenmektedir. Alan genelinde ise ortalama karbon depolama kapasitesi 38.3 Mg/ha olarak tahmin edilmiştir. Elde edilen sonuçlar meşcere tipleri ile ilişkilendirildiğinde alanda genel olarak yaşlı (c-d sınıfı) kızılçam, karışık göknar ve sedir ormanlarında yüksek karbon değerleri tahmin edilmiştir. Alanda en düşük karbon depolama değerlerini ise genel olarak bozuk türler ve genç kızılçam, sedir meşcercelerinde gözlenmektedir. Hesaplamalar göstermiştir ki, alan geneline yayılan meşcere türünün yüksek hacim değerine sahip olması, meşcere türünün olgun ve yaşlı meşcercelerden oluşması biyokütle miktarını ve dolayısı ile depolanan karbon miktarını arttıran etkenler olarak öne çıkmaktadır. Kızılçam meşcercesinin hacim değerlerinin yüksek olması sebebi ile hektar başına düşen biyokütle miktarı yüksek değer almıştır. Alanda genel meşcere türlerine göre hesaplanan toplam karbon depolama değerleri incelendiğinde kızılçam türüne ait toplam biyokütle tüm biyokütlenin %73'üne denk gelmektedir (şekil 9a).

Karasal karbon havuzlarından bir diğer olan TOK miktarı en yüksek düzeyde alanın batı kesiminde yer alan Leptosol-Luvisol toprak tipinde 480.37 Mg/ha olarak tahmin edilirken en düşük TOK miktarı Calcaric Regosol tip topraklarda 206.74 Mg/ha olarak tahmin edilmiştir. Alan genelinde hektara düşen ortalama TOK miktarı 301.66 Mg olarak tahmin edilmiştir (şekil9b). Elde edilen orman örtüsü karbon miktarı ve TOK tahminleri arasında veri çözümlüklüklerinin eşitlenmesinin ardından karasal karbon depolama kapasitesinin tahmini için iki veri üst üste bindirilerek toplanmıştır. Kozan ilçesine ait 2002-2012 yıllarına ait veriler esas alınarak gerçekleştirilen karasal karbon depolama kapasitesi haritası şekil 10'da gösterilmektedir. Orman alanlarının hâkim olduğu ve toprak sınıflarının özellikleri dâhilinde biçimlenen bu haritada hektara düşen ortalama karasal karbon kapasitesi 338,7 Mg olarak tespit edilmiştir.



Şekil 10. Kozan ilçesi karasal karbon depolama kapasitesi tahmini

4. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Kozan İlçesi'nin özellikle batı, kuzeybatı ve kuzey ekseninde en yüksek düzeyde karasal karbon kapasitesi elde edilmiştir. Ancak orman alanlarının tamamında yüksek değerlerin elde edilmediği gözlenmektedir. Bitki örtüsü tipi, yaşı ve kanopi değerleri orman alanlarında barındıran karbon miktarını değişken bir hale getirmektedir. Nitekim bu çalışmanın temel amaçlarından biri OGM tarafından kullanılan orman biyokütle denklem uygulamalarını ağaç kapalık yüzdesi verisi ile daha hassas bir biçimde üretilebilmesinin vurgulanmasıdır. Buna ek olarak toprak bünyesinde depolanan toprak organik karbonunun biyokütle ile entegre edilerek planlama çalışmalarında karasal karbon miktarına yönelik tahminlerin üretilebilmesini sağlamaktır.

Çalışma alanında en düşük karasal karbon kapasitesi güneydoğu kesiminde elde edilmiştir. Bunun en önemli sebebi tarım alanlarının yaygın olarak görülmesidir. Kozan ilçesinde yapılan bu çalışmada özellikle 365 Mg'dan düşük olan bölgelerde orman yayılımının düşük olduğu (özellikle yeni ağaçlandırılan) veya orman yayılımının hiç olmadığı gözlenmektedir. Orman örtüsünün az olduğu bölgeler genellikle tarım, orman toprağı ve açık arazilerdir. Bu kapsamda peyzaj planlama stratejileri doğrultusunda özellikle 365 Mg'dan düşük bölgeler hassasiyet oluşturmaktadır. Karasal karbon kapasitesinin artırılması amacı ile bu bölgelerde ağaçlandırma çalışmalarının teşvik edilmesi sağlanabilir. Yapılaşma açısından planlama kararlarında ise özellikle karbon depolama alanlarının düşük olduğu bölgelerde yapılaşma sağlanarak yüksek düzeydeki karbon stok alanlarının korunması teşvik edilebilir. Ayrıca alanın %49.07'si tarım alanlarından meydana gelmektedir. Bu sebeple özellikle karasal karbon depolayabilecek alanların tarım alanlarına dönüştürülmesinden ziyade orman örtüsüne dönüştürülmesi sağlanmalıdır. Nitekim [26]'nında belirttiği gibi tarımsal uygulamalardaki karbon kaybı toprak işleminin bir sonucudur. Toprakların işlenmesi havalandırmayı arttırarak karbon oksidasyonunu hızlandırmakta ve mineralizasyona maruz kalan toprak organik maddesinin yüzey alanının artışı sağlamaktadır. Bu nedenle arazi yönetim ve peyzaj planlarının oluşturulması aşamasında karasal karbon depolama kapasitesi de karar verici mekanizmalar için girdi verisi olarak kullanılması önerilmektedir. Gelişen teknoloji ve çalışma olanaklarının arttırılması ile orantılı olarak

çalışma alanından doğrudan elde edilecek olan toprak profilleri araştırma doğruluğunun artmasını sağlayacaktır. Buna ek olarak analiz edilen profillerin uygun yüzey analizleri ile kategorik düzeyde oluşturulan veri setinden ziyade yeryüzü gerçeğine daha yakın biçimde haritalanması ve yüzey analizlerinden yararlanılması söz konusu olabilir.

5. KAYNAKLAR

1. Watanabe, M.D.B., Ortega, E., 2011, "Ecosystem services and biogeochemical cycles on a global scale: valuation of water, carbon and nitrogen processes", *Environmental Science and Policy*, 14,594-604
2. IPCC, 2003, "Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry", In J. Perman, M. Gytarsky, T. Hiraiski, T. Krug, D. Kruger, R. Pipatti, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, K. Tanabe & F. Wagner (Eds.), IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme. Japan: Institute for Global Environmental Strategies (IGES).
3. Lal, R., 2011, "Soil Carbon Sequestration", SOLAW Background Thematic Report - TR04B, FAO
4. Ravindranath, N. H., M. Ostwald, 2008, "Carbon Inventory Methods: Handbook for Greenhouse Gas Inventory, Carbon Mitigation and Roundwood Production Projects (Advances in Global Change Research)", Beijing China, Forestry Publishing House.
5. UNFCCC, 2007, "United Nations Framework Convention on Climate Change". National Inventory Submissions.
6. Tolunay, D. Çömez, A., 2008, "Türkiye Ormanlarında Toprak Ve Ölü Örtüde Depolanmış Organik Karbon Miktarları", Hava Kirliliği ve Kontrolü Ulusal Sempozyumu 2008. 22-25 Ekim 2008, Hatay. 750-765.
7. OGM, 2012, Orman İdaresi ve Planlama Dairesi Başkanlığı Hizmet İçi Eğitim Ders Notları. Ankara, Orman Genel Müdürlüğü.
8. Hansen, M. C., P. V., Potapov, R., Moore, M., Hancher, S. A., Turubanova, A., Tyukavina, D., Thau, S. V., Stehman, S. J., Goetz, T. R., Loveland, A., Kommareddy, A., Egorov, L., Chini, C., Justice, J., 2013, "High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change", *Science* 342: 850-53.
9. Dönmez, C., Berberoğlu, S., 2008, "Envisat Meris Uydu Verileri Kullanılarak Seyhan Yukarı Havzası Ormanlarında Meşcere Kapalılığının Haritalanması". Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi. 18-1.
10. Aydın G., Lal R., Berberoğlu S., Akça E., Miavaghi S.R S.R., Çullu M.A., Ersoy M., Çilek A., Kapur S., 2014, "Carbon Stocks in Soils of Turkey", Istanbul Carbon Summit: Carbon Management, Technologies & Trade, İstanbul, Türkiye
11. Şimşekli, N., Kapur, S. (2012). "Karapınar Rüzgar Erozyonunu Önleme Alanının Sürdürülebilir Arazi/Toprak Yönetimi Planının Geleneksel Yapının Perspektifinden Geliştirilmesi", Çukurova Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi. 27-1.
12. Alemdağ, İ., 1980, "Aboveground-mas equations for six hardwood species from natural stands of the research", Forest at Petawawa. Canada, Petawawa National Forest Institute.
13. Ashton, S., McDonell, L., Barnes, K., 2010, "Wood Biomass Desk Guide & Toolkit. United State of America", U.S. Department of Interior and the USDA Forest Service.
14. Saraçoğlu, N.,2011, "Küresel İklim Değişiminin Yavaşlatılmasında Ormanların Rolü. Bilim ve Akılın Aydınlığında Eğitim". 135: 60-71.
15. Asan, Ü., 1995, "Global İklim Değişimi ve Türkiye Ormanlarında Karbon Birikimi", İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, Seri:B, Cilt:41, Sayı:1-2, s.23-38.
16. Brown, S., 1997, "Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forest: A Primer". United States of America, Food and Agriculture Organization of the United Nations.
17. Deware, R., Cannell, M., 1992, "Carbon seuestration in the trees, products and soil of forest plantations: an analysis using UK examples", *Tree Physiology*, 11, 49-72.
18. FRA, 2008, "Guidelines For Country Reporting to FRA 2010". Global Forest Resources Assessment. 2010 Rome.
19. Levy, P., 2004, "Biomass Expansion Factor and Root:Shoot Ratios for Coniferous Tree Species in Great Britain", Center for Ecology & Hydrology (CEH). England.

20. Tolunay, D ., 2009, “Total Carbon Stock and Carbon Accumulation in Living Tree Biomass in Forest Ecosystems of Turkey”, TBİTAK, 265-279.
21. omez, A., 2012, “Sndiken Dağları'ndaki (Eskişehir) Sarıçam (Pinus slyvestris L.) Meşcerelerinde Karbon Birikiminin Belirlenmesi”, Orman Toprak ve Ekoloji Araştırmaları Enstit Mdrlğ. Eskişehir.
22. As, N., Ko, H., Doğu, D., Atik, C., Aksu, B., & Erdinler, S., 2001, “Türkiye'de Yetişen Endstriyel neme Sahip Ağaların Anatomik, Fizik, Mekanik ve Kimyasal zellikleri”, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi.
23. GEF, 2012, “Integrated Approach to Management of Forests in Turkey, with Demonstration in High Conservation Value Forests in the Mediterranean Region Project Report Turkey: Global Environment Facility Investing in Our Planet”.
24. FRA, 2010, “Global Forest Resource Assessment Country Report”, Forest Department Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome.
25. Hiederer, R., M. Kchy, 2011, “Global Soil Organic Carbon Estimates and the Harmonized World Soil Database” - JRC Scientific and Technical Reports. Italy, European Union.
26. Demirci, S., 2008, “Farklı Arazi Kullanımlarında Agregatlara Bağlı Karbon İle Biyolojik Karbon ve Azot Fraksiyonlarının Belirlenmesi” Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak ABD YL. Tezi.