



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Düzce İli Karasal Karbon Kapasitesinin Belirlenmesi

 Ahmet Salih DEĞERMENCI^{a,*}

^a Orman Mühendisliği Bölümü, Orman Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: ahmetdegermenci@duzce.edu.tr

DOI:10.29130/dubited.1023712

ÖZ

Karasal ekosistemler içinde en önemli karbon havuzları ormanlardır. Özellikle orman alanlarındaki canlı biyokütle ve orman toprağı yoğun miktarda karbon depolamaktadır. Biyokütle miktarları meşcere tiplerinin hektardaki ağaç serveti verilerinden hareketle belirlenmektedir. Bu çalışmada biyokütle verisinin doğruluğunu artırmaya yönelik ağaç kapalılık yüzdesi haritası ile çakıştırılması yapılmış ve nihai biyokütle haritası elde edilmiştir. Biyokütle haritası ve topraktaki organik karbon miktarları da uydu görüntülerinden belirlenerek Düzce ilinin karasal karbon stoğu ortaya koyulmuştur. Çalışma alanında ağaç türü bazında en fazla biyokütle ve karbon birikimi Kn ağaç türünde ve toplam biyokütle ve karbonun yaklaşık ¾'ünü depoladığı belirlenmiştir. En düşük biyokütle ve karbon miktarı ise Düzce'deki yayılışı sınırlı olan Çm ağaç türünde tespit edilmiştir. Orman alanlarındaki toplam karbonun %69.7'si canlı biyoküttele depolanırken, %30.3'ü ise toprakta depolanmıştır. Orman dışı alanlardaki özellikle toprakta tutulan karbon miktarları da değerlendirildiğinde tüm karbonun %84.6'sı orman alanlarında depolanırken, %14.5'lik kısmı ise tarım alanlarındaki toprakta ve %0.9'luk kısım da diğer arazi sınıflarında depolanmıştır. Orman ve orman dışı alanlar birlikte değerlendirildiğinde toplam depolanan karbon miktarının %41'i toprakta depolanırken, %59'u ise canlı biyokütle üzerinde depolandığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Biyokütle, Karbon, Düzce, Orman*

Determination of Terrestrial Carbon Capacity of Duzce

ABSTRACT

The most important carbon pools in terrestrial ecosystems are forests. Living biomass and soil, especially in forest areas, store a large amount of carbon. Biomass amounts are determined from the volume data of stand types per hectare. In this study, the biomass data was matched with the percentage tree cover map to increase the accuracy and the final biomass map was obtained. The terrestrial carbon stock of Düzce was revealed by determining the biomass map and the amount of organic carbon in the soil from satellite images. It has been determined that the highest biomass and carbon stored on the basis of tree species in the study area is in the Kn tree species and it stores ¾ of the total biomass and carbon. The lowest biomass and carbon stored were determined in Çm tree species, which has a limited distribution in Duzce. While 69.7% of the total carbon is stored in living biomass, 30.3% is stored in the soil. Considering the amount of carbon retained in the soil, especially in non-forest areas, it was observed that 84.6% of all carbon was stored in productive forest areas, while 14.5% was stored in the soil in agricultural areas and 0.9% of it was stored in other land classes. When forest and non-forest areas are evaluated together, it was determined that 41% of the total stored carbon amount is stored in the soil, while 59% is stored on living biomass.

Keywords: *Biomass, Carbon, Duzce, Forest*

I. GİRİŞ

Geçmişten günümüze kadar enerji ihtiyacının karşılanmasında petrol, doğalgaz ve kömür gibi fosil enerji kaynaklarının yoğun şekilde kullanımı, bu enerji kaynaklarının hızla tükenmesine sebep olmaktadır. Özellikle günümüzde Avrupa ve birçok ülkede baş gösteren enerji krizlerine de yine bu enerji kaynaklarının plansız ve düzensiz bir şekilde kullanılması neden olmaktadır. İnsanoğlu bu enerji krizinden çıkabilmek için özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmesi gerekmektedir. Fosil enerji kaynakları giderek azalmakta ve özellikle tüketiminin doğamız açısından sera gazlarının artışına sebep olarak, küresel ısınma gibi çok ciddi olumsuzluklara neden olmaktadır. Fosil enerjilerin bu olumsuzlukları ve yenilenemeyen kıt kaynak olması da ilgiyi yenilenebilir enerji kaynaklarına yönlendirmektedir [1]. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında özellikle çevre açısından değerlendirildiğinde çevreye zararı en az olan ve yeşil bitkilerin fotosentezi ile üretilen orman biyokütlesi önemli bir yere sahiptir [2].

Biyokütle, belirli büyüklükteki orman alanında ağaç, ağaççık, kök, dal, kabuk, yaprak gibi odunsu ve odunsu olmayan toplam kütle miktarı olarak tanımlanmaktadır [3]. Dünya’da biyokütlenin yaklaşık %90’ını ormanlarda bulunan ağaç gövdeleri, dallar, ibreler ve yapraklar, toprak üzerindeki ölü örtü ve bu ölü örtüde yaşayan mikroorganizmalar oluşturmaktadır. Yapılan çalışmalarda Dünya ormanlarındaki yıllık toplam biyolojik üretimin yaklaşık 50×10^{19} ton olduğu tahmin edilmektedir [4], [5].

Orman ekosistemleri üzerinde yapılan biyokütle çalışmaları farklı amaçlara yönelik olabilmektedir. Ormanlardaki biyokütlenin belirlenmesi ile ortamda bulunan bitki besin elementleri, toprağın organik madde veya mineral madde kayıp veya birikmesi arasındaki ilişkiler ortaya koyulabilirken bunun yanında özellikle son dönemlerde popüler olan küresel ısınma ve dünyadaki karbon döngüsü ve dengesi üzerinde önemli rolü bulunan orman ekosistemlerinin üretimleri belirlenebilmektedir [6]. Artan karbon salınımı ve karasal ekosistemlerde en fazla karbon depolayan ve bunu çok uzun süre tutabilen orman ekosistemleri, karbonu toprak üstü ve toprak altı canlı biyokütle ile orman toprağında biriktirmektedir. Bu bağlamda orman toprağı ve biyokütle atmosferde biriken sera gazlarını absorbe ederek bu gazların yönetimine önemli ölçüde katkı yapmaktadır [7].

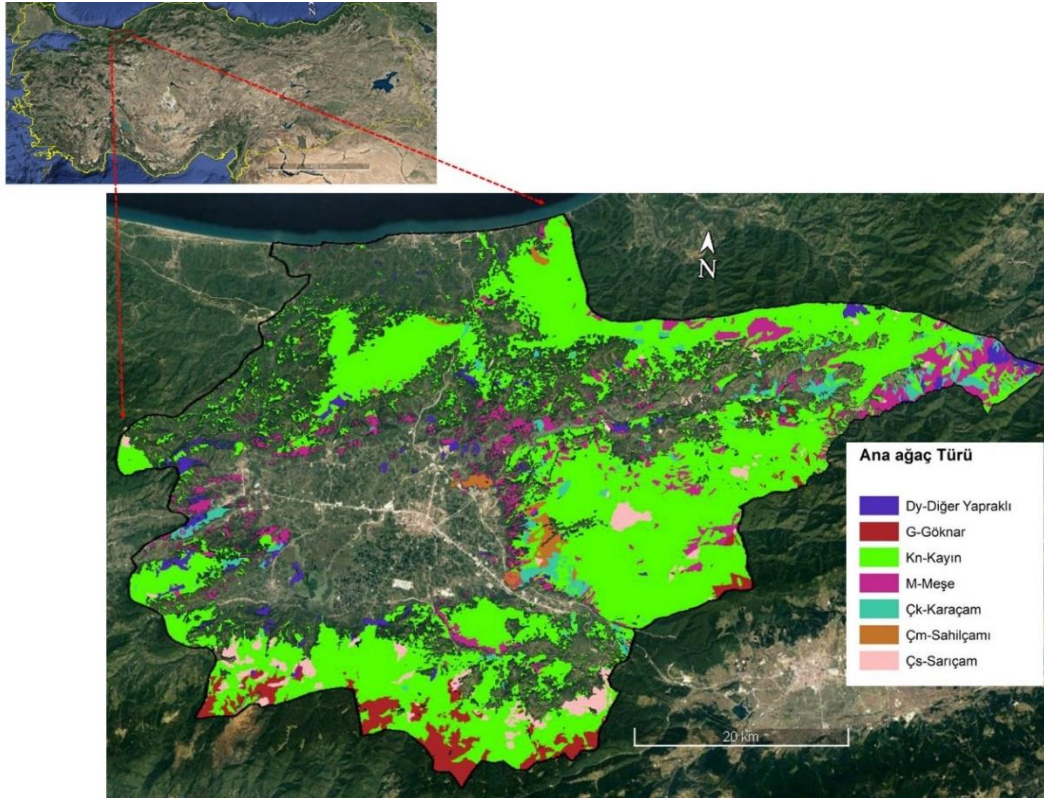
Orman ekosistemlerinin karbon depolama kapasitelerinin ortaya koyulabilmesinde kullanılacak en önemli parametre biyokütledir [8]. Orman amenajman planları için yapılan ağaç serveti ve artımı envanterinde özellikle her bir meşcere tipi için belirlenen hektardaki hacim verilerinin kullanımı biyokütleyi belirlemede kullanılacak en iyi yaklaşım tarzıdır. Ulusal bazda %99’u devlete ait olan orman ekosistemlerinin envanter verileri sağlıklı bir şekilde elde edilebilmekte ve biyokütle bu veriler üzerinden hesaplanabilmektedir [9], [10]. Meşcere servetleri yardımıyla servete bağlı dönüştürme katsayıları veya çapa bağlı olarak daha önce yapılmış olan çalışmalarla elde edilen ilişkilerden [9], [11], [12] ve [13] faydalanılarak toprak üstü ve toprak altı biyokütle miktarları hesaplanmaktadır. Biyokütle miktarları üzerinden çeşitli dönüşüm katsayılarının yardımıyla orman alanlarının karbon depolama kapasiteleri tahmin edilebilmektedir [14], [15].

Bu çalışmada Düzce ili karasal alanlarından olan orman alanları ve topraktaki toplam karbon miktarının belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla amenajman planlarından alınan meşcere tipleri birim alan (ha) hacim değerleri üzerinden biyokütle miktarları hesaplanmıştır ve bu veriler uzaktan algılama teknikleri ile Landsat uydu görüntüleri üzerinden oluşturulmuş olan ağaç kapallılık yüzdesi haritasına entegre edilerek daha güvenilir ve doğru olacak şekilde birim alandaki (ha) toplam biyokütle belirlenmiştir. Toplam biyokütle üzerinden canlı biyokütledeki karbon hesaplanırken, topraktaki karbon miktarlarının belirlenmesinde ise FAO tarafından üretilen toprak organik karbonu haritasından faydalanılmıştır. Özetle, uzaktan algılamanın yersel ölçümlerle kombine edilmesinin yapılan çalışmaların doğruluğunu arttırdığı düşünüldüğünden, bu çalışmada yersel ölçümlerle elde edilen verilerin uzaktan algılama teknikleriyle oluşturulan verilerle karşılaştırılması yapılmış ve oluşturulan son haritalar üzerinden biyokütle ve karbon miktarları belirlenmiştir.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

A. ÇALIŞMA ALANI

Çalışma alanı olarak Türkiye'nin kuzeybatısında bulunan, İstanbul ve Ankara gibi metropollerin arasında kalan Düzce ili seçilmiştir. Düzce coğrafi konum olarak 40°53'29" - 41°00'19" N Kuzey enlemleri ile 31°16'58" - 31°12'37" D, Doğu boylamları arasında ve WGS84 UTM ZONE 36-6°'lik koordinat diliminde kalmaktadır (Şekil 1). Özellikle güney ve kuzey yönlerden dağlar ile çevrelenmiş olan Düzce, I. sınıf alüvyial topraklardan oluşan ova üzerine kurulmuş bir kenttir. Doğal bitki örtüsü bakımından son derece zengindir. Tarım alanlarının ve ormanlık alanların yoğun bir yayılım gösterdiği ilin, denize kıyısı bulunmaktadır ve deniz seviyesinden 1850 m'lere kadar da rakıma sahiptir. Düzce Ovası'nı çevreleyen dağların düşük rakımlarında kayın, gürgen ve meşe gibi geniş yapraklı ağaç türleri, yüksek rakımlarda ise karaçam, sarıçam ve göknar gibi ibrelili ağaç türleri yayılım göstermektedir. Düzce'de Karadeniz iklimi hâkimdir ve özellikle kışın yaprağını döken ağaç türlerinden oluşan ormanlar çok geniş alanları kaplamaktadır.



Şekil 1 Çalışma alanı coğrafi konumu

Toplam 242.340 hektar alana sahip ilin %51'ine denk gelen 122.712 hektarlık kısım ormanlardan oluşmaktadır. Ormanlarda başta kayın (Kn) olmak üzere, gürgen (Gn), kestane (Ks), çınar (Çn), meşe (M), ıhlamur (Ih), dişbudak (Dş), titrek kavak (Kv) ve söğüt (Sö) gibi yapraklı türler bulunur. Yaklaşık 600 m rakımdan sonra iğne yapraklı ağaç türleri görülmeye başlar. Göknar (G), sarıçam (Çs), karaçam (Çk), sahilçamı (Çm) ormanlarda görülen iğne yapraklı ağaçlardandır. Yıllık sıcaklık ortalaması 13,0 °C, yıllık toplam yağışların ortalaması 839,4 kg/m² olup, ortalama nispi nem %76'dır [18].

Çalışma alanı olarak Düzce il sınırı baz alınmıştır. Orman işletme şeflik sınırları dikkate alınmamıştır. Dolayısıyla, Adapazarı, Bolu ve Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğüne bağlı orman işletme şefliklerine ait orman alanları da Düzce il sınırı içinde bulunmaktadır ve Düzce İl sınırı içinde kalan

meşcere tipleri de çalışma alanına dâhil edilmiştir. Amenajman planına ulaşılamayan meşcere tipleri için komşu şefliklerin amenajman planlarından aynı meşcere tiplerine ait bilgilerden faydalanılmıştır.

A. 1. Biyokütle Miktarının Belirlenmesi

Ormanlarda bulunan ağaç ve ağaççıkların kök, gövde ve dal odunu ile birlikte odunsu olmayan kabuk ve yapraklarının oluşturduğu kütle bütün orman biyokütlesi olarak anılmaktadır. Ormanın ölçülen zamandaki kapasitesini ifade eden biyokütle, toprak altı ve toprak üstü olmak üzere iki bölüme ayrılmaktadır. Toprak üstü canlı biyokütle, gövde, dallar ve kabuktan oluşurken, toprak altı canlı biyokütle ise ağacın köklerini içermektedir [19] ve [20].

Orman alanlarının biyokütle miktarının belirlenmesinde birim alan yöntemi, orta ağaç yöntemi ve regresyon yöntemi olmak üzere üç farklı yöntemden faydalanılmaktadır [21]. Bu çalışma kapsamında biyokütle tahmini için birim alan yönteminden faydalanılmıştır. Düzce ilinde bulunan tüm meşcere tipleri için 2008-2012 yılları arasında yapılmış olan amenajman planlarındaki hektardaki servet miktarları kullanılmıştır. Bu yaklaşımla birlikte öncelikle çalışma alanının toprak üstü biyokütle (TÜB) miktarı belirlenmekte ve toprak üstü biyokütle miktarına bağlı olarak da toprak altı biyokütle (TAB) miktarı hesaplanmaktadır. Toplam toprak üstü ve toprak altı biyokütlenin hesaplanmasında daha önce yapılan ve kabul görmüş çalışmalardan olan [9], [21],[22], [23], ve [24]'ten faydalanılarak Denklem 1'deki eşitlik kullanılmıştır.

$$\Sigma B = (V \times Bef \times WD) \times (1+R) \quad (1)$$

Denklemden; ΣB ; TÜB+TAB biyokütle toplamını, V ; Düzce iline ait meşcere tipleri hektardaki hacimlerini, Bef ; Ağaç türlerinin firın kurusu ağırlıklarını, WD ; odun yoğunluklarını ve R ; toprak üstü kütle için toprak altı kütle dönüşüm katsayısını ve CF karbon faktörünü ifade etmektedir.

Çalışma alanında bulunan ana ağaç türlerine göre kullanılan Bef ve WD değerleri daha önce yapılan çalışmalardan alınmıştır ve kullanılan değerler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1 Ağaç türlerine göre WD ve Bef katsayıları

Ağaç Türü	WD	Bef	Kaynak
Gök nar	0.350	1.195	[25]
Kayın	0.530	1.228	[26]
Karaçam	0.470	1.701	[25]
Sarıçam	0.426	1.276	[24]
Sahilçamı	0.430	1.220	[27] ve [28]
Meşe	0.570	1.324	[26]
Diğer Yapraklılar	0.638	1.240	[27]

Toprak üstü biyokütlenin belirlenmesinden sonra toprak altı biyokütlenin belirlenmesi için de R katsayısı kullanılmıştır. R katsayısı ormanın ibrelili veya yapraklı oluşuna ve toplam biyokütlenin miktarına bağlı olarak değişiklikler göstermektedir. Bu çalışma kapsamında Mokany ve ark. [29] tarafından yapılan çalışmayla belirlenen R katsayıları kullanılmıştır.

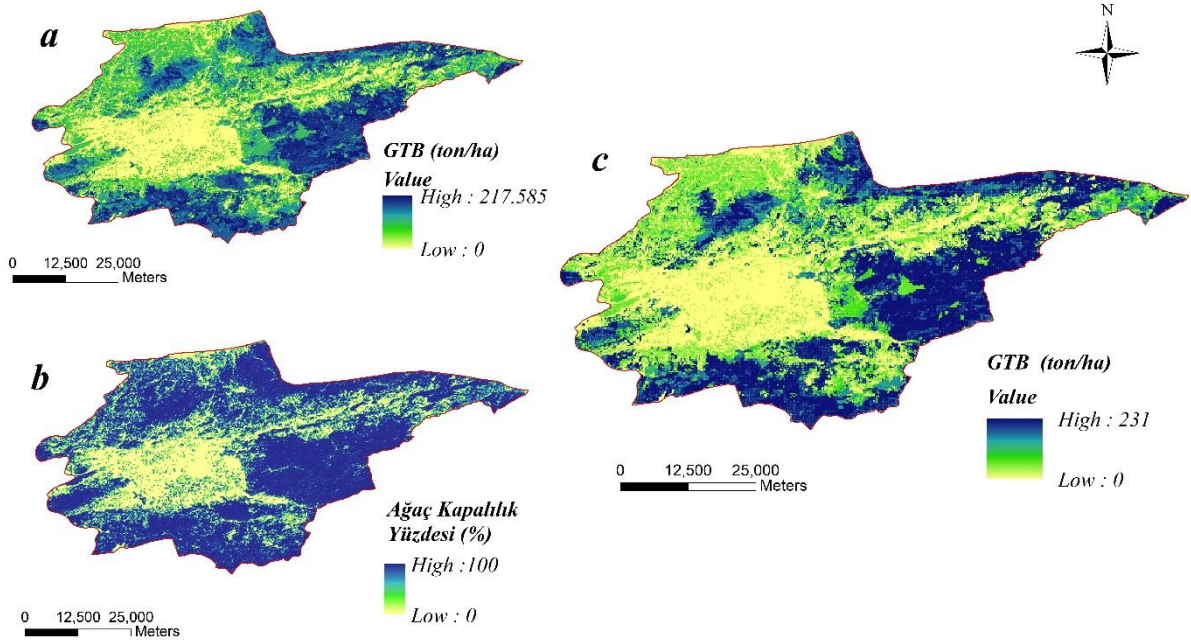
Tablo 2 Çalışmada kullanılan R katsayıları [29]

Bitki Örtüsü	Toprak Üstü Biyokütle (mg/ha^{-1})	R
İbrelili Ormanlar	<50	0.40
	50-150	0.29
	>150	0.20
Yapraklı Ormanlar	<75	0.46
	75-150	0.23
	>150	0.24

Toprak üstü ve toprak altı biyokütle hesaplandıktan sonra toprak üstü ölü ve diri örtüdeki biyokütle (TÜÖDB) hesabı için de Asan [30], [31], tarafından yapılan çalışmalarda kullanılan yöntemle göre, 0.40 katsayısı ile toprak üstü ve toprak altı biyokütle toplamı çarpılarak hesaplama yapılmıştır. Genel toplam biyokütle (GTB) de hesaplanan TÜB, TAB ve TÜÖDB'nin toplanmasıyla elde edilmiştir.

GTB'nin hesaplanmasından sonra özellikle biyokütle üzerinden ormanlarda depolanan karbon miktarının hesaplanmasında, güvenilirlik ve doğruluğun artırılması adına, ormanların yayılışlarını temsil eden ağaç kapalılık haritalarının kullanılması önem arz etmektedir [32], [33]. Ağaç kapalılık haritaları, küçük alanlarda yahut küresel ölçekte karbon dinamiklerinin ve buna bağlı olarak karbon modellemesinin güvenilirliğinin ve doğruluğunun artırılması için kullanılan en etkin yöntemlerden birisidir [32]. Ağaç kapalılık yüzdesi haritası bitki örtüsünün yoğunluğuna göre 0 ile 100 arasında değerler almaktadır. Maryland Üniversitesi Coğrafya Bölümü tarafından hazırlanan ve küresel düzeyde orman kayıplarını veya kazançlarını belirleyebilmek adına 2000-2012 yıllarını kapsamakta ve orman vejetasyonunun yoğunluğunu yüzde cinsinden ifade etmektedir. 30 m çözünürlüğe sahip Landsat uydu görüntüleri üzerinden Hansen ve ark.[16] 2013 yılında yaptıkları çalışma ile doğal bitki örtüsünün yatay ve dikey olarak yayılışı ve örtücülüğünü yüzde cinsinden ağaç kapalılık haritaları ile ortaya koymuştur. Bu çalışma kapsamında da Hansen ve arkadaşlarının 2013 yılında oluşturdukları ağaç kapalılık yüzdesi haritası kullanılmıştır.

Her bir meşcere için hesaplanan TÜB, TAB ve TÜÖDB değerleri (ton/ha), ArcGIS 10.4TM yazılımıyla raster formatına dönüştürülmüş ve çözünürlükleri (100 m) eşitlenen ağaç kapalılık ve biyokütle haritaları, ArcGIS 10.4TM yazılımı Map algebra hesaplama aracıyla çakıştırılmış ve nihai biyokütle haritası elde edilmiştir (Şekil 2).

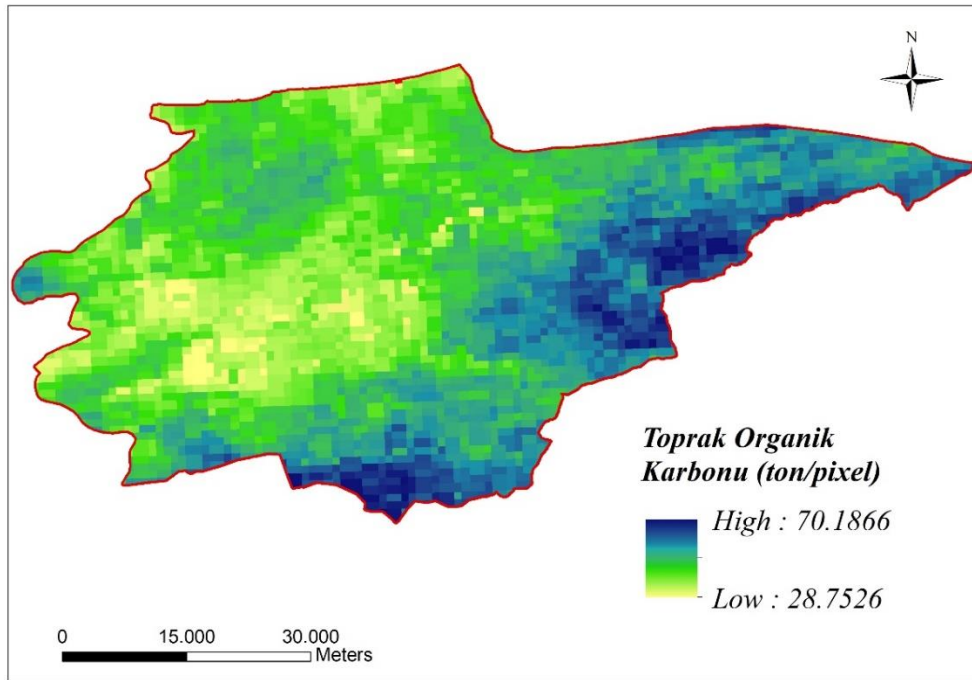


Şekil 2. Çakıştırılan hektardaki biyokütle(a), ağaç kapalılık haritası (b) ve elde edilen nihai hektardaki biyokütle haritası (c)

Biyokütle miktarlarının hesaplanmasından sonra biyokütlerdeki karbon miktarının belirlenmesinde IPCC [22] kılavuzunda belirlenen karbon dönüşüm faktörü (CF) değerlerinden faydalanılmıştır ve ibrelili ormanlar için 0.51, yapraklı ormanlar için 0.48 katsayıları kullanılmıştır ve toplam biyokütlerdeki karbon miktarları belirlenmiştir.

A. 2. Toprak Organik Karbonunun Belirlenmesi

Karasal karbon depolarından bir diğeri olan orman toprağındaki karbon miktarının belirlenmesinde FAO tarafından yürütölen “Küresel Toprak Organik Karbon Haritası” (GSOCmap-<http://54.229.242.119/GSOCmap/>) isimli proje kapsamında tüm dünya ölkeleri için topraktaki organik karbon miktarlarının tahmin edildiğı haritalar kullanılmıştır [17]. Oluşturulan bu haritalar ilk 30 cm’deki karbon miktarlarını vermektedir ve yaklaşık 1 km çözünürlüğe sahiptir. Bu çalışma kapsamında Düzce ili için bu toprak organik karbon haritası üzerinden topraktaki karbon miktarları belirlenmiştir (Şekil 3). Raster formatında olan toprak verisi haritası da nihai biyokütle haritasının çözünürlüğüne (100 m) dönüştürölmüş ve hem biyokütledeki hem de topraktaki karbon miktarlarını içeren katmanlar ArcGIS Map algebra aracı ile karşılaştırılarak hesaplamalar yapılmıştır ve sonuçta da Düzce ili için karasal karbon miktarları belirlenmiştir.



Şekil 3. FAO tarafından üretilen Düzce ili toprak organik karbon haritası. [17]

III. BULGULAR

Düzce ili için karasal karbon depolama kapasitesinin belirlenmesi adına öncelikle biyokütle miktarları ele alınacaktır. Sonra toplam biyokütledeki karbon miktarları ile topraktaki karbon miktarları ele alınacaktır.

B. 1. Düzce İli Biyokütle Miktarlarına İlişkin Bulgular

Çalışma alanı olan Düzce ili orman varlığı bakımından zengindir ve tüm alanın yaklaşık %51’i orman alanlarıyla kaplıdır. Her bir meşcere için ana ağaç türü baz alınmıştır ve meşcere tipinin hektardaki toplam serveti üzerinden hesaplamalar yapılmıştır. Düzce ilinde en fazla biyokütleyle sahip olan tür Kn ağaç türüdür. Toplam biyokütlenin %78.2’si Kn ağaç türünün saf ve ana tür olduğu orman alanlarında bulunmaktadır. En az biyokütle miktarı ise %0.9 ile Çm ağaç türünde bulunmuştur. Kn ağaç türünden sonra en fazla biyokütleyle sahip türler %8.7 ile M ve %3.9 ile G ağaç türlerinde bulunmuştur. Ayrıca toplam biyokütlenin %3.5’i Çk, %2.3’ü Çs ve %2.5’i de Dy ağaç türlerinde bulunmaktadır (Tablo 3). Kn ağaç türü hem yayılış alanı olarak en fazla yayılış alanına sahip (% 73.8) hem de hektardaki

ortalama biyokütle miktarı bakımından en yüksek miktarda biyokütle (45 ton/ha) sahip olduğundan diğer türlere göre çok yüksek oranda biyokütleyle sahip olmuştur. En az yayılış alanına sahip tür olan Çm ise en düşük alansal dağılım (%0.9) ve en düşük hektardaki ortalama biyokütleyle sahip olduğundan en az biyokütlenin bulunduğu tür olmuştur. Ağaç kapallık yüzdesi haritası ile genel toplam biyokütle haritasının karşılaştırılmasıyla elde edilen nihai biyokütle haritasında ortalama biyokütlelerde artış olmuştur. Yani ağaç kapallık yüzdesi haritasının biyokütle miktarları üzerinde az da olsa artırıcı etkisi olmuştur.

Tablo 3. Ağaç türlerine göre toplam hacim ve toplam biyokütle miktarları

Ağaç Türü	Nihai Biyokütle (ton/ha)	Toplam Biyokütle(ton)	%	Toplam Alan	%
Çk	40.3	340149.9	3.5	8442.8	3.7
Çm	28.1	85150.3	0.9	3029.3	1.3
Çs	29.0	223473.3	2.3	7718.1	3.4
Dy	34.4	246627.4	2.5	7160.1	3.1
G	36.7	380414.0	3.9	10362.4	4.6
Kn	45.0	7573213.1	78.2	168170.6	73.8
M	36.7	838745.2	8.7	22861.8	10.0
Toplam		9687773.2	100.0	227745.3	100.0

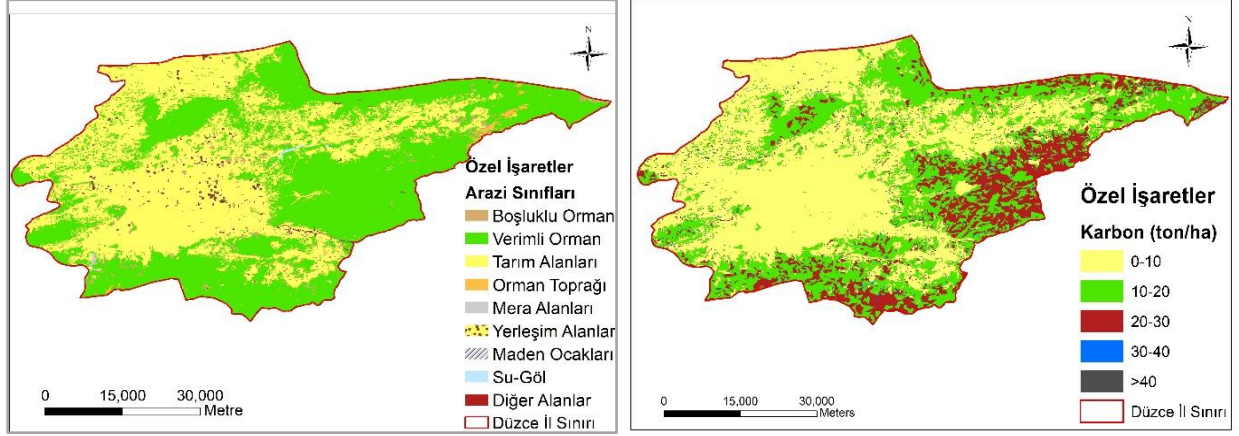
B. 2. Biyokütlerdeki ve Topraktaki Karbon Miktarları

Ağaç türü bakımından toplam biyokütlenin karbona dönüştürülmesi ile biyokütlerdeki karbon miktarları belirlenmiştir. Toplam biyokütle içindeki karbon miktarlarına bakıldığında biyokütle miktarını bünyesinde en fazla depolayan tür olan Kn türünün en fazla karbonu (3,64 Mt (milyon ton)) da depoladığı görülmüştür. Topraktaki organik karbon bakımından da yine en fazla karbonun Kn ağaç türünün hâkim olduğu orman topraklarında depolandığı (1,5 Mt) tespit edilmiştir. Toplam biyokütlerde depolanan karbonun %77.7'si ve orman topraklarında depolanan toplam karbonun %73.6'sı Kn ağaç türünde gerçekleşmiştir. Toplam biyokütlerdeki karbonun %8.6'sı M ve %4.1'i de G ağaç türünde bulunurken, orman toprağındaki organik karbon miktarı bakımından da %10'u M, %5.2'si G ağaç türlerinin hâkim olduğu alanlarda depolanmıştır. Biyokütlerdeki ve topraktaki karbon miktarları diğer türlerde daha düşük miktarlarda bulunmaktadır. Toplam depolanan karbon miktarı bakımından da %76.4 ile Kn ağaç türü en fazla karbon depolanmıştır. Çm ağaç türünde %1.0 ile en az karbonun depolandığı ağaç türü olmuştur. Çalışma alanındaki ormanlık alanlarda yaklaşık 6.71 Mt karbon depolandığı belirlenmiştir. Bu toplam karbonun %69.7'si orman alanlarında depolanan biyokütlerde tutulurken, %30.3'ü ise orman toprağındaki organik karbon miktarından oluşmaktadır (Tablo 4).

Tablo 4. Toplam biyokütle ve topraktaki toplam karbon miktarları

Ağaç Türü	Toplam Biyokütlerdeki Karbon (ton)	%	Topraktaki Organik Karbon (ton)	%	Toplam Karbon (ton)	%
Çk	173476.4	3.7	73028.9	3.6	246505.3	3.7
Çm	43426.7	0.9	21430.8	1.1	64857.5	1.0
Çs	113971.4	2.4	74680.0	3.7	188651.4	2.8
Dy	118381.1	2.5	58411.2	2.9	176792.3	2.6
G	194011.2	4.1	104890.4	5.2	298901.6	4.5
Kn	3635142.3	77.7	1495899.5	73.6	5131041.8	76.4
M	402597.7	8.6	202884.4	10.0	605482.1	9.0
TOPLAM	4681006.8	100.0	2031225.2	100.0	6712232.0	100.0
%	69.7		30.3		100.0	

Orman alanları üzerinden hektardaki hacim miktarları baz alınarak biyokütle hesabı yapıp depolanan karbon miktarları hesaplanmış ve bu biyokütlerdeki karbon miktarları da belirlenmiştir. Orman dışı alanlarda biyokütle hesabı yapılamadığından dolayı yukarıdaki verilen değerlerde orman dışı alanlar bulunmamaktadır. Fakat özellikle toprakta tutulan karbon miktarları uydu görüntüsünden elde edildiği için orman dışı alanların toprak organik karbonları da hesaplanabilmektedir. Çalışma alanında belirlenen arazi sınıfları ve arazi sınıflarına göre hektardaki karbon miktarlarının konumsal dağılımları Şekil 4’te verilmiştir.



Şekil 4. Düzce ili arazi kullanım durumu (solda) ve hektardaki ortalama toprak organik karbon miktarları (sağda) dağılımı

Arazi durumlarına göre toplam biyokütlerdeki ve topraktaki karbon miktarları değerlendirildiğinde, en fazla karbonun verimli (%10 ve üzerinde kapalılığa sahip) orman alanlarında (%83.6) depolandığı belirlenmiştir. Karbon miktarı bakımından verimli orman alanlarını tarım alanlarının takip ettiği ve tutulan tüm karbonun %14.5’inin bu arazi sınıfında depolandığı görülmüştür. Boşluklu kapalı orman alanlarında da %1,0 oranında karbon depolanmıştır ve diğer arazi sınıflarında %1’in altında depolama gerçekleşmiştir (Tablo 5). Tüm Düzce ili orman ve orman dışı alanlar birlikte değerlendirildiğinde yaklaşık 7.94 Mt karbonun depolandığı tespit edilmiştir. Bu depolanan karbon miktarının da %59’u canlı biyokütleyi oluşturan orman ağaçlarında depolanırken, %41’i ise toprakta depolanmıştır.

Tablo 5. Arazi Sınıflarına göre toplam karbon miktarları dağılımları

Arazi Durumu	Toplam Biyokütlerdeki Karbon (ton)	%	Topraktaki Organik Karbon (ton)	%	Toplam Karbon (ton)	%
Boşluklu Orman Alanları	17189.3	0.4	59482.5	1.8	76671.8	1.0
Verimli Orman Alanları	4663817.5	99.6	1971742.7	60.5	6635560.2	83.6
Tarım Alanları	0.0	0.0	1154671.6	35.4	1154671.6	14.5
Yerleşim Alanları	0.0	0.0	26807.4	0.8	26807.4	0.3
Mera Alanları	0.0	0.0	2669.0	0.1	2669.0	0.0
Orman Toprağı	0.0	0.0	33267.2	1.0	33267.2	0.4
Su-Göl	0.0	0.0	2762.9	0.1	2762.9	0.0
Maden Ocakları	0.0	0.0	1653.6	0.1	1653.6	0.0
Diğer Alanlar	0.0	0.0	5033.6	0.2	5033.6	0.1
TOPLAM	4681006.8	100	3258090.6	100	7939097.4	100
%	59.0		41.0		100.0	

IV. SONUC VE ÖNERİLER

Düzce ili karasal karbon kapasitesinin belirlenmesi adına, canlı biyokütlerdeki karbonun belirlenmesi için amenajman planlarındaki meşcere tiplerinin hektardaki hacimleri üzerinden hesaplamalar yapılmış, topraktaki karbon miktarının belirlenmesi için de coğrafi bilgi sistemleri tekniklerinden faydalanılmıştır. Özellikle bu çalışma ile yoğun şekilde kullanılan biyokütle denklemleriyle karbonun belirlenmesinde, doğruluğun artırılması adına ağaç kapalılık yüzdesi verisinin kullanımı sağlanmıştır. Çalışma alanına ilişkin elde edilen nihai biyokütle haritası kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda ağaç türü bazında en fazla biyokütlenin Kn ağaç türünde depolandığı belirlenmiştir. Biyokütlenin karbona dönüştürülmesiyle de en fazla karbonun da yine Kn ağaç türünde olduğu tespit edilmiştir. Hem biyokütlenin hem de karbon miktarının en fazla olduğu Kn ağaç türü Düzce ilinde ormanlık alanların %73.8'inde saf veya karışıma katılarak yayılış yapmaktadır. Ayrıca hektardaki ortalama biyokütle bakımından da en yüksek miktarlar yine Kn ağaç türünde elde edilmiştir. Bu sebeplerden dolayı da Kn ağaç türü diğer türlere göre çok yüksek miktarda biyokütle ve karbon miktarına sahip tür olmuştur. Ağaç türü bazında en düşük biyokütle ve karbon miktarları ise Çm ağaç türünde belirlenmiştir. Çm ağaç türü diğer ağaç türlerine göre yayılışı daha sınırlıdır ve bu yüzden düşük biyokütle ve karbon değerleri elde edilmiştir. Orman topraklarında depolanan karbon miktarı bakımından da en fazla yayılışı gösteren tür olan Kn alanlarında en fazla karbon depolanmıştır. En az yayılış alanına sahip Çm ise toprakta tutulan karbon miktarı bakımından da son sırada yer almıştır. Özellikle orman alanlarında depolanan toplam karbonun %69.7'sinin canlı biyokütlerde tutulduğu, %30.3'ünün ise orman toprağında depolandığı belirlenmiştir. Durkaya ve ark.[34], Bartın Orman İşletme Müdürlüğü bazında yaptıkları çalışmada farklı karbon depolama yöntemlerini karşılaştırmış ve orman alanlarında tutulan karbon miktarlarını belirlemiştir. Bu çalışmada bulunan karbon miktarları ve Düzce İli için hesaplanan karbon miktarı değerleri yakın olmakla beraber, depolanan toplam karbon miktarı bakımından Düzce ili karbon miktarları daha düşüktür. Mirici ve ark.[35], Kozan ilçesinde yaptıkları çalışmada orman alanlarında biyokütle ve toprakta depolanan karbon miktarını belirlemiştir ve toplam karbonun büyük kısmının bu çalışmada olduğu gibi canlı biyokütlerde tutulduğunu tespit etmişlerdir.

Orman dışı alanlarda biyokütlenin olmaması bu arazi sınıflarında karbon depolanmıyor algısı oluşturabilir fakat bu algı doğru değildir ve orman dışı alanlarda da karbon depolanmaktadır [36], [37]. Uydu görüntüsü üzerinden arazi sınıflarına göre yapılan değerlendirmede özellikle tarım alanlarındaki toprakta depolanan karbon miktarının verimli orman alanlarından sonra geldiği tespit edilmiştir. Özellikle toprakların işlenmesiyle topraktaki karbon miktarında azalma meydana gelmektedir. Bu olumsuz duruma rağmen tarım alanlarındaki topraklarda biriken karbon miktarı tüm karbon miktarının yaklaşık %27'sine tekabül etmektedir [36]. Düzce il bazında, orman ve orman dışı alanlar birlikte değerlendirildiğinde toprakta depolanan karbon miktarının tüm karbonun %41'ini oluşturduğu görülmektedir. %59'luk kısım ise özellikle canlı biyokütle dediğimiz ormanlardaki toprak üstü ve toprak altı ağaç elemanlarında tutulmaktadır.

Özellikle son dönemlerde sürekli gündemde olan küresel ısınma ve bunun olası etkilerinin azaltılmasına yönelik, atmosferdeki CO₂ miktarını, karbon salınımını önleyici tedbirler alınmalıdır. Orman alanlarının azaltılmamasına yönelik koruyucu tedbirler alınmalı, ormanlara yapılan baskılar azaltılmalıdır. Boşluklu orman alanları rehabilite edilip verimli ormana dönüştürülerek hem toprak üstü hem de toprakta tutulacak karbon miktarları artırılabilir. Karışık ormanların kuruluşlarını destekleyici silvikültürel müdahaleler yapılmalı ve ağaçlandırmalar artırılarak orman alanlarında karbon depolamayı artırıcı faaliyetler yapılmalıdır. Biyokütle miktarlarının klasik yöntemle belirlenmesinin yanında uzaktan algılama teknikleriyle biyokütlenin tahmin edilmesine yönelik araştırmalar, çalışmalar yapılmalıdır. Ayrıca karbon miktarlarının belirlenmesinde toprak üstü biyokütlenin belirlenmesinde sadece meşcerenin sahip olduğu ağaç servetinden değil, o meşceredeki ağaç ve ağaççıkların yanında diri örtü elemanlarının da hesaba katılması önem arz etmektedir. Aynı şekilde karışık meşcerelerde ana türe göre yapılan hesaplamalarla net durum tam anlamıyla ortaya konulamamaktadır. Bu durumun düzeltilmesi için de karışıma giren her bir ağaç türüne ait ağaç

serveti dikkate alınmalıdır. Tarım alanlarında ise, karbonun depolanmasını artırmak için sürüm yapılmadan, polikültür ürün deseninin kullanılması ve nadasa bırakmadan bütün yıla yayılan bitkisel üretimin yapılması teşvik edilmelidir. Karasal karbon havuzlarından en önemli karbon deposu olan ormanların sürekli baskı altında olması, üzerindeki vejetasyonun yok edilmesi veya farklı arazi kullanımına dönüştürülmesi de tutulan karbon miktarında ciddi azalmalara sebep olmaktadır. Bu bağlamda tüm dünyada karbon salınımını azaltmaya yönelik yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı artırılmalı ve özellikle orman alanlarını ve karbon depolama kapasitesi yüksek olan bitki türleriyle ağaçlandırmaların yapılması önem arz etmektedir. Karbon depolayan karasal alanların korunmasına yönelik politikaların geliştirilmesi gerekmektedir.

V. KAYNAKLAR

- [1] A. Başçetinçelik, C. Karaca ve H.H. Öztürk, “Bazı Avrupa Birliği ülkelerinde biyokütle politikaları” *V. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, İstanbul, Türkiye, 2004. ss. 439-448.
- [2] D.O. Hall, F. Rosillo-Calle, R.H. Williams, and J. Woods. “Biomass for energy: supply projects, In *Renewable Energy: Sources for Fuels and Electricity*”, Washington DC, *Island Press*, pp. 593-651, 1993.
- [3] N. Saraçoğlu, “Biyokütleden enerji üretiminde enerji ormancılığının önemi”, *VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, İstanbul, Türkiye, 2008, ss. 265-271.
- [4] N. Saraçoğlu, “Enerji ormancılığının kırsal kalkınmaya katkısı”. *Ormancılıkta Sosyo-Ekonomik Sorunlar Kongresi Bildiriler Kitabı*, Ilgaz, Türkiye, 2006. ss. 7-12.
- [5] N. Saraçoğlu, *Küresel İklim Değişimi, Biyoenerji ve Enerji Ormancılığı*, Ankara, Türkiye, Efil Yayınevi Yayıncılık, 2010, 1. baskı, ss. 110.
- [6] A. Tüfekçioğlu ve M. Küçük, “Saf sarıçam meşcerelerinde kök kütlesi, kök üretimi ve kök karbon depolama miktarlarının yaş sınıflarına göre değişimi”. *III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi*, Trabzon, Türkiye, 2010, ss. 1030-1037.
- [7] R. Lal, “Soil carbon sequestration”, SOLAW Background Thematic Report - TR04B, FAO, Rome, İtalya, 2011.
- [8] S. Backeus, P. Wikström and T. Lamas, “A model for regional analysis of carbon sequestration and timber production”. *Forest Ecology and Management*, vol. 216, pp. 28–40, 2005.
- [9] S. Brown, *Estimating biomass and biomass change in tropical forests: A primer*. FAO Forestry Paper 134. Rome, Italy, 1997.
- [10] S. Brown, P. Schroeder, J. Kern, “Spatial distribution of biomass in forests of the eastern USA” *Forest Ecology and Management*, vol. 123, pp. 81–90, 1999.
- [11] H.A. Yolastıgmaz, “Orman ekosistem amenajmanı kavramı ve Türkiye’de uygulaması”, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, K.T.Ü, Trabzon, Türkiye, 2004.

- [12] S. Keleş, ve E.Z. Başkent, “Orman ekosistemlerindeki karbon değişiminin orman amenajman planlarına yansıtılması: kavramsal çerçeve ve bir örnek uygulama (1. Bölüm)”, *Orman ve Av Dergisi*, c. 83, s. 2, ss. 36-41, 2006.
- [13] F. Sivrikaya, S. Keleş ve G. Çakır, “Spatial distribution and temporal change of carbon storage in timber biomass of two different forest management units”. *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 132, pp. 429-438, 2007a.
- [14] F. Sivrikaya, ve N. Bozali, “Karbon depolama kapasitesinin belirlenmesi:Türkoğlu planlama birimi örneği”, *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, c. 14, Özel Sayı, ss. 69-76, 2012.
- [15] A.S. Değermenci, H. Zengin. “Ormanlardaki karbon birikiminin konumsal ve zamansal değişiminin incelenmesi: Daday planlama birimi örneği”. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, c. 17, s. 2, ss. 177-187, 2016.
- [16] M.C. Hansen, 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, and J.R.G. Townshend,, “High-resolution global maps of 21st-century forest cover change”, *Science* .Vol. 342, pp. 850–53, 2013.
- [17] FAO, (2019).“Global soil organic carbon map. contributing countries”.[Online] Available: <http://54.229.242.119/GSOCmap/>
- [18] OGM, Orman amenajman planları, Ankara, Türkiye, 2010.
- [19] İ. Alemdağ, “Aboveground-mas equations for six hardwood species from natural stands of the research forest at Petawawa. Canada”, *Environmental Science*. 1981.
- [20] S. Ashton, L. McDonell, and K. Barnes, “Wood biomass desk guide & toolkit. United State of America”, *U.S. Department of Interior and the USDA Forest Service*. 2010.
- [21] O. E. Sakıcı, İ. Ercanlı, “Klasik biyokütle tahmin yöntemleri ve yeni yaklaşımlar”. *Kafkas Üniversitesi Artvin Orman Fakültesi Dergisi*, c. 3, s. 4, ss. 165-171, 2004.
- [22] IPCC, Guidelines for national greenhouse gas inventories, Agriculture, Forestry and Other Land Use. Chapter 4, Rome, İtaly, 2006.
- [23] FRA, “Guidelines for country reporting to global forest resources assessment” Rome, İtaly, 2008.
- [24] D. Tolunay, “Total carbon stock and carbon accumulation in living tree biomass in forest ecosystems of Turkey”.*Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, s. 35, ss, 265-279, 2011.
- [25] A. Çömez, “Sündiken Dağları'ndaki (Eskişehir) sarıçam (*Pinus slyvestris* L.) meşcerelerinde karbon birikiminin belirlenmesi”. *Orman Toprak ve Ekoloji Araştırmaları Enstitü Müdürlüğü*, Eskişehir, Türkiye, Yayın no.6, Teknik Bülten No.2, 2011.

- [26] GEF, "Integrated approach to management of forests in Turkey, with demonstration in high conservation value forests in the mediterranean region project report" Global Environment Facility Investing in Our Planet. Washington, USA. 2012.
- [27] FRA, "Global forest resource assessment country report". Forest Department Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, İtaly, 2010.
- [28] N. As, H. Koç, D. Doğu, C. Atik, B. Aksu ve S. Erdinler, "Türkiye'de yetişen endüstriyel öneme sahip ağaçların anatomik, fizik, mekanik ve kimyasal özellikler," *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*. c, 51, s. 1, ss, 71-88, 2001.
- [29] K. Mokany, R. J. Raison and A.S. Prokushkin, "Critical analysis of root: shoot ratios in terrestrial biomes", *Global Change Biology*, vol, 12, pp. 84-96, 2006
- [30] Ü. Asan, "Global iklim değişimi ve Türkiye ormanlarında karbon birikimi", *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, c. 41, s. 1-2, ss. 23-38, 1995.
- [31] Ü. Asan, "Climate change, carbon sinks and the forests of Turkey. proceedings of the international conference on tropical forests and climate change: status, issues and challenges" *TFCC '98*, Phillippines, 1999. pp. 157-170.
- [32] H. Rokhmatuloh, K. Al-Bılbısı, T. Arıhara, D. Kobayashi, B. Nitto, K. Erdene, T.A. Hirabayashi, S.A. Javzandulam, E. Lee, N. Migita, Y. Solıman, M. Ouma and R. Tateishi. "Application of regression tree method for estimating percent tree cover of asia with quickbird images as training data." 2005.
- [33] S. Berberoğlu, C. Dönmez, P.J. Curran, "Quantifying forest ecosystem productivity of eastern mediterranean using envisat merıs data", *European Space Agency Environment Satellite Symposium*, Switzerland. 2007.
- [34] B. Durkaya, A. Durkaya, S. Kaptan, "Karbon birikiminin farklı yöntemlerle hesaplanması, Bartın Orman İşletme Müdürlüğü örneği" *International Symposium On Environment And Morals*, Bosnia, Herzegovia, 2018.
- [35] M.E. Mirici, S. Berberoğlu, A.Çilek, "Karasal karbon depolama kapasitesinin orman düzeyinde tahmin edilmesi amacıyla geomatik teknolojilerden yararlanılması" *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*. c. 7, s. 3, ss. 21-33, 2015.
- [36] ÇEM, "Toprak organik karbonu projesi, teknik özet", Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye. 2018.
- [37] R. Koçyiğit, "Karasal ekosistemde karbon yönetimi ve önemi" *GOÜ, Ziraat Fakültesi Dergisi*, c. 25, s. 1, ss. 81-85, 2008.