

Karbon Birikiminin Farklı Yöntemlerle Hesaplanması; Bartın Orman İşletme Müdürlüğü Örneği

¹ Birsen DURKAYA ¹Ali DURKAYA ¹*Sinan KAPTAN

¹* Bartın Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Mühendisliği Bölümü, 74100 Ağdacı-Bartın, Turkey

Özet

Dünyada 1850 sanayileşme devrimine koşut olarak, insan kaynaklı sera gazı olan karbondioksit seviyesi trajik bir şekilde artmaktadır. Çevreyle ilgili temel sorunlara eklenen “Küresel Isınma” tüm Dünya’nın gündeminde yer almaktadır. Küresel ısınmada ile mücadelede atmosferdeki karbondioksit seviyesinin aşağı çekilmesi elzemdir. Orman ekosistemleri sayesinde karbondioksit, odunsu bitkiler vasıtasıyla atmosferden alınarak bünyelerinde depolanmaktadır. Ormanların depoladıkları karbon miktarı sahip oldukları biyokütleden hesaplanmaktadır. Bu çalışma ile Bartın İşletme Müdürlüğü orman alanında tutulan karbon miktarının hesaplamaları 3 farklı yöntemle karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir. Çalışmada İşletme müdürlüğü içerisinde yer alan 8 işletme şefliğinin Orman Amenajman planlarından elde edilen servet ve alan verilerinden yararlanılmıştır. Bu amaçla ASAN tarafından önerilen yöntem, FRA-2010 kılavuzundaki hesaplama yöntemi ve Ekosistem Tabanlı Fonksiyonel Orman Amenajman Planlarının (ETFOP) Düzenlenmesine ait Usul ve Esaslar kılavuzundaki yöntemle karbon hesapları yapılmıştır. Çalışma sonucunda, Bartın İşletme Müdürlüğü’nde ETFOP yöntemiyle 142 t/ha; FRA-2010 yöntemiyle 119,4 ton/ha ve Asan yöntemiyle 135,7 ton/ha karbon depoladığı belirlenmiştir. En yüksek toplam karbon değerini veren ETFOP yöntemi baz alındığında ASAN yöntemi % 4,5; FRA 2010 yöntemi ise %16 daha düşük değer vermektedir.

Key words: Karbon tutma, Bartın Orman İşletme Müdürlüğü, biyokütle

1. Giriş

Paris’te düzenlenen İklim Zirvesi Konferansı’nda (COP21), dünya yüzey sıcaklık artışının 2 derece hatta mümkünse 1,5 derece ile sınırlandırılması konusunda anlaşma sağlanmıştır. Hukuken bağlayıcılığı olan bu anlaşmayla, fosil yakıtlarının kullanımı kısıtlanarak sera gazı emisyonları azaltılması hedeflenmektedir. Bu anlaşma uyarınca, tüm ülkeler ulusal programlarını 5 yıllık süreçlerle hazırlamak ve kıyaslamalar yapması gerekmektedir. Sera gazları emisyonunun düşürülmesi için yapılacak çalışmalar neticesinde ilk rapor 2025’te yayımlanacak; her rapor önceki süreçle kıyaslamaları içerecektir. Küresel ısınma ile mücadelede orman ekosistemleri vazgeçilmezdir. Ormanlar diğer ekosistemlerle birlikte yıllık olarak insan kaynaklı karbondioksitin %30 unu atmosferden çekmektedir [1]. İklim değişikliği ile mücadele sürecinde diğer imza atan ülkeler gibi ülkemizde düzenli olarak İklim Değişikliği Ulusal Bildirimleri ve her yıl Ulusal Sera Gazı Envanterleri hazırlamakla yükümlüdür. 2010 yılından itibaren Ulusal Bildirimler ve Sera Gazı Envanterleri hazırlanmaya başlanmış ve bu faaliyetler kapsamında ülke ormanları üzerinde yıllık karbon stok değişimini belirleme amacıyla çalışmalar yapılmaktadır.

Ülkemiz ormanları için karbon birikiminin hesaplanması amacıyla farklı bakış açıları kullanılarak çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiştir[2,3,4,5,6,7]. Bu çalışmalarda, ulusal orman envanteri temel alınmıştır ve orman alanları üzerindeki bitkisel kütle için ağaç türleri itibari ile ortalama kurumu maddeye dönüştürülerek biyokütle miktarları belirlenmiştir. Biyokütlede biriken karbon miktarından yola çıkarak, ormanlardaki toplam karbon birikimleri hesaplanmıştır. IPCC karbon stok değişimlerinin belirlenmesinde orman envanterinin kullanılmasını gerektiren yöntemi öngörmesine rağmen, genellikle pratikte orman envanterleri ekonomik gerekçelerle odun hacmine odaklanmakta, biyokütle tespitine yönelik veriler içermemektedir [8]. Orman envanterine dayalı bir karbon hesabı yapılacaksa biomass expansion factors (BEF) kullanılarak dikili gövde hacminden toprak üstü ve altı karbon değerleri hesaplanmaktadır. Ağaç türlerini iğne yapraklı ve geniş yapraklı ağaçlar olarak ayırarak ülkemiz ormanlarının içinde bulunduğu enlem derecesine bağlı olarak belirlenmiş katsayılar kullanılarak toprak üstü ve toprak altı biyokütle ve karbon miktarlarına ulaşılmaktadır. Arazi Kullanım Değişiklikleri ve Ormancılık için İyi Uygulamalar (GPG-LULUCF) kılavuzuna göre ormanların depoladığı karbon miktarı ve bunun yıllık değişimleri 5 başlık altında değerlendirilmektedir. Bunlar yer üstü canlı, yer altı canlı, ölü odun, ölü örtü ve organik topraktır [9,10]. Orman ekosistemindeki depolanan karbon miktarının ortaya konması, karasal karbon döngüsünü daha iyi anlamamız ve karar verme süreçlerinin daha etkin ve doğru düzenlenmesi açısından önem taşımaktadır [11].

Ülkemiz ormanlarında tutulan karbonun belirlenmesi amacıyla Asan tarafından iğne yapraklı ve geniş yapraklı ormanlar için önerilen katsayı ve formüllerle ilk hesaplamalar yapılmıştır[2]. Ormanlarda stoklanan karbonun belirlenmesinde diğer yöntem, bozuk orman alanlarını da hesaplama dahil eden FRA 2010 kılavuzunda belirtilen katsayı ve formüllerle yapılan hesaplamalardır [7]. Son olarak FRA 2010 esas alınarak, Tolunay [4,13] ve Tolunay-Çömez [14] tarafından geliştirilen BEF katsayılarının kullanıldığı, Ekosistem Tabanlı Fonksiyonel Orman Amenajman Planlarında (ETFOP) önerilen yöntemle hesaplamalar yapılmaktadır. Söz konusu üç farklı hesaplama yöntemi kullanılarak yapılan hesaplamalarda sonuçlar arasında nasıl farklılıklar gözlenmektedir sorunun cevabını belirlemek için, bu çalışmada Bartın Orman İşletme Müdürlüğü'(OİM)'nin 2011-2030 plan dönemine ait karbon stok miktarı üç farklı yöntem kullanılarak belirlenmiş ve yöntemlerin kendi arasındaki farkları ortaya konulmuştur

2. Materyal ve Metot

Bartın OİM'ü 8 orman işletme şefliğinden oluşmaktadır. Toplam alanı 140.935,30 ha olup ormanlık alanı 73.227,20 ha dır. İşletme müdürlüğü orman alanının 8.550,20 ha bozuk nitelikte ve 64.677,00 ha'ı verimli orman vasfındadır. İşletme müdürlüğü plan dönemi içerisinde 895 777 m³ iğne yapraklı ve 10 094 870 m³ geniş yapraklı ağaç servetine sahiptir. Çalışma 2011-2030 plan dönemine ait amenajman planlarından yararlanılarak hazırlanmıştır. Bu amaçla karbon hesaplarının yapılmasında kullanılan yöntemlere ait formüller, çeşitli kaynaklardan temin edilmiştir ve Microsoft Excel ortamında hesaplamalar yapılarak sonuçlara ulaşılmıştır. Çalışmada üç farklı hesaplama yöntemi kullanılmıştır.

ETFOP yöntemi; Ekosistem Tabanlı Fonksiyonel Orman Amenajman Planlarının Düzenlenmesine Ait Usul ve Esaslar Yönetmeliğindeki orman alanlarının karbon miktarının

hesaplamasına dair katsayı ve formüllerden yararlanılmıştır [15]. Bu yöntemde meşcere tipindeki ağaç türlerinin servetlerinden yararlanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Tablo 1’de yöntemin aşamaları verilmiştir.

Tablo 1. ETFOP’a göre karbon hesaplaması

		Verimli orman		Bozuk orman	
Toprak Üstü Biokütle (TÜB)	İğne yapraklı	DGHx0,446x1,212	DGHx0,446x1,212		
	Geniş yapraklı	DGHx0,541x1,31	DGHx0,541x1,31		
Toprak Üstü Karbon (TÜK)	İğne yapraklı	TÜB x 0,51	TÜB x 0,51		
	Geniş yapraklı	TÜB x 0,48	TÜB x 0,48		
Toprak Altı Biokütle (TAB)	İğne yapraklı	TÜB x 0,29	TÜB x 0,40		
	Geniş yapraklı	TÜB x 0,24	TÜB x 0,46		
Toprak Altı Karbon (TAK)	İğne yapraklı	TAB x 0,51	TAB x 0,51		
	Geniş yapraklı	TAB x 0,48	TAB x 0,48		
Ölü Odunda Karbon (ÖOK)	İğne yapraklı	TÜB x 0,01 x 0,47	TÜB x 0,01 x 0,47		
	Geniş yapraklı	TÜB x 0,01 x 0,47	TÜB x 0,01 x 0,47		
Ölü Örtüde Karbon (ÖÖK)	İğne yapraklı	Alan x 7,46	Alan x 1,86		
	Geniş yapraklı	Alan x 3,75	Alan x 0,93		
Toprak Karbon	İğne yapraklı	Alan x 76,56	Alan x 19,14		
	Geniş yapraklı	Alan x 84,82	Alan x 21,20		
TOPLAM KARBON		TÜK+TAK+ÖOK+ÖÖK+Toprak Karbon			

FRA 2010 yöntemi; Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü tarafından hazırlanmış olan FRA 2010 kılavuzunda öngörülen katsayılar ve hesaplama yöntemi kullanılmıştır [5,12]. Tablo 2’de yöntemin aşamaları verilmiştir.

Tablo 2. FRA 2010’a göre karbon hesaplaması

Karbon Havuzu		Hesaplama Yöntemi ve Katsayılar	
		Verimli orman	Bozuk orman
Toprak Üstü Biokütle (TÜB)	İğne yapraklı	DGH x 0,496 x 1,22	DGH x 0,496 x 1,22
	Geniş yapraklı	DGH x 0,638 x 1,24	DGH x 0,638 x 1,24
Toprak Altı Biokütle (TAB)	İğne yapraklı	TÜB x 0,29	TÜB x 0,40
	Geniş yapraklı	TÜB x 0,24	TÜB x 0,46
Toprak Üstü Karbon (TÜK)	İğne yapraklı	TÜB x 0,51	TÜB x 0,51
	Geniş yapraklı	TÜB x 0,48	TÜB x 0,48
Toprak Altı Karbon (TAK)	İğne yapraklı	TAB x 0,51	TAB x 0,51
	Geniş yapraklı	TAB x 0,48	TAB x 0,48
Ölü Odunda Karbon	İğne yapraklı	TÜK x 0,01	TÜK x 0,01
	Geniş yapraklı	TÜK x 0,01	TÜK x 0,01
Ölü Örtüde Karbon	İğne yapraklı	A ₁ x 22	A ₃ x 6
	Geniş yapraklı	A ₂ x 13	A ₄ x 2
Topraktaki karbon		(A ₁ + A ₂) x 34	(A ₃ + A ₄) x 34
Toplam karbon		TÜK + TAK + Ölü odunda karbon + Ölü örtüde karbon	

Asan yöntemi; Bu yöntemde Asan tarafından [2,3] önerilen formüller ve katsayılar kullanılmıştır. Tablo 3’de yöntemin detayları verilmiştir.

Tablo 3. Asan'a göre karbon hesaplaması

Karbon Havuzu		Hesaplama Yöntemi ve Katsayılar
TÜB	Geniş Yapraklı	DGH x 0,640 x 1,25
	İğne Yapraklı	DGH x 0,473 x1,20
TAB	Geniş Yapraklı	TÜB x 0,15
	İğne Yapraklı	TÜB x 0,20
TUÖDB		(TÜB + TAB) x 0,40
Toplam genel biyokütle (TGB)		TÜB + TAB +TUÖDB
Biyokütlerdeki toplam karbon		TGB x 0,45
Orman toprağındaki karbon		TGB x 0,45 x 0,58
Toplam Karbon		Biyokütlerdeki toplam karbon + orman toprağındaki karbon

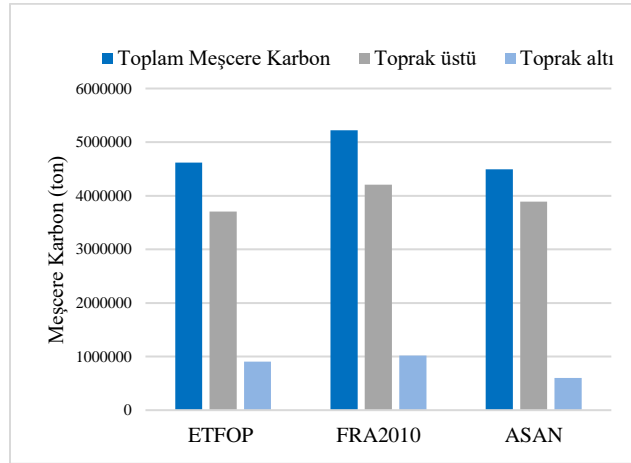
Kullanılan metodlar arasındaki farklılıklar ve plan dönemlerindeki karbon stok miktarındaki değişimler hesap ve grafiklerle ortaya koyulmuştur.

3. Sonuçlar

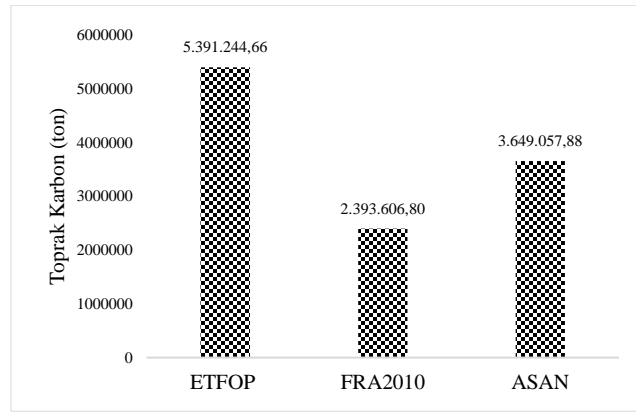
Çalışmanın yöntem kısmında açıklanan üç yönteme göre, Barın OİM sınırları dâhilinde yer alan ormanlardaki karbon hesaplamaları Tablo 4'de gösterilmiştir. Çalışmada meşcere de toprak üstü ve toprak altında bağlanan karbon miktarı hesabında 5 222 648.52 ton ile FRA 2010 Yöntemi en yüksek, 4 493 913.64 ton ile Asan Yöntemi en düşük meşcere karbon değeri vermiştir (Şekil 2) (Tablo 4). Toprakta tutulan karbon miktarı hesabında 2 393 606.80 ton ile toplam karbon hesabındaki gibi FRA 2010 Yöntemi en düşük değeri vermiştir (Şekil 3). Çalışma alanındaki toplam karbon miktarı ETFOP yöntemine göre 10 416 550.90 ton, FRA 2010 Yöntemine göre 8 744 668.32 ton ve Asan Yöntemine göre ise 9 940 536.98 ton olarak hesaplanmıştır. Toplam karbon hesabında, ETFOP yöntemi en fazla değeri verirken FRA 2010 yönteminin en düşük toplam değer verdiği görülmüştür (Şekil 4).

Tablo 4. Farklı yöntemlerle 2011-2030 plan dönemi için karbon stok miktarları

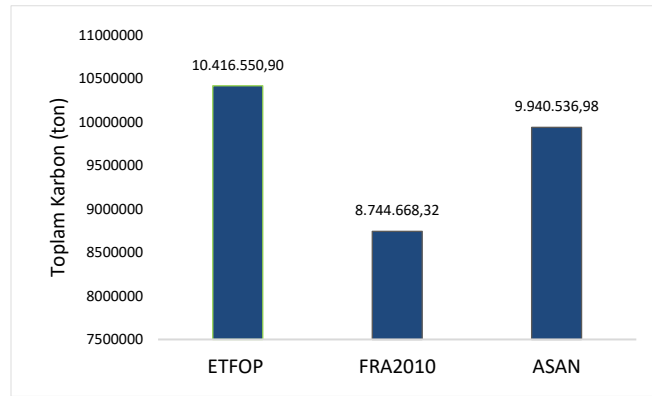
2011-2030 PLAN DÖNEMİ		ETFOP	FRA2010	ASAN
Toprak Üstü Karbon	İğne Yapraklı	250087.25	7025.84	231706.81
	Geniş Yapraklı	3457386.06	4199576.98	3658816.08
	Toplam	3707473.31	4206602.82	3890522.89
Toprak Altı Karbon	İğne Yapraklı	72870.49	2423.92	46922.85
	Geniş Yapraklı	834899.78	1013621.79	556467.90
	Toplam	907770.27	1016045.70	603390.76
Toplam Meşcere Karbon	İğne Yapraklı	322957.74	9449.76	278629.66
	Geniş Yapraklı	4292285.84	5213198.77	4215283.98
	Toplam	4615243.57	5222648.52	4493913.64
Ölü Odun Karbon		35901.18	41770.75	
Toprak Üstü Ölü-Diri Örtü Karbon		374161.48	1086642.25	1797565.46
Toprakta Karbon		5391244.66	2393606.80	3649057.88
Alandaki Toplam Karbon		10416550.90	8744668.32	9940536.98



Şekil 2. Meşcere toplam karbon



Şekil 3. Toprak karbon



Şekil 4. Toplam karbon

Üç yöntem sonucu elde edilen bulgular kıyaslandığında biyokütledeki karbon ile toplam karbon birikimini miktarlarında önemli farklılık söz konusudur. Verimli ve bozuk ormanlar için farklı katsayılar kullanarak hesaplamının yapıldığı ETFOP ve FRA 2010 yöntemlerinde, toplam meşceredeki karbon miktarı, Asan yöntemine göre fazla değer vermiştir. Meşcere karbon hesabın da FRA 2010 yöntemi Asan Yöntemine göre %14 fazla değer hesaplarken, ETFOP yöntemi Asan

yöntemine göre yaklaşık %3 fazla hesaplamıştır (Şekil 2). Yine FRA 2010 yöntemi ETFOP yöntemine göre %11 oranında meşcere karbonunu fazla hesaplamıştır. Bu fark kullanılan formüllerdeki katsayı farklılığından kaynaklanmaktadır. Özellikle FRA 2010 yönteminde geniş yapraklılar için önerilmiş olan 0.638 ve 1,24 katsayıları bu farkın oluşmasında önemli paya sahiptir. Zira işletme müdürlüğünde geniş yapraklı ağaç türlerinin serveti iğne yapraklıların yaklaşık 11 katından daha fazladır

Orman toprağındaki karbon ise ETFOP yöntemi FRA 2010 yöntemine göre %56 Asan Yöntemine Göre % 32 oranında fazla değer vermiştir. Ormanlardaki toplam karbon birikimi ise, ETFOP yöntemi Asan yöntemine göre yaklaşık %5 , FRA 2010 yöntemine göre yaklaşık %16 fazla değer vermiştir.

Tartışma

Son yıllarda ormanlarda biriken karbon miktarı ve bunun yıllık değişimlerinin hesaplanması çalışmaları, ormanların diğer ekosistemlere oranla daha fazla CO₂ tutarak iklim değişikliği ile mücadelede önemli olmalarından dolayıyla artış göstermiştir. Bu çalışmada Bartın OİM sınırlarındaki orman alanlarının karbon birikimini üç farklı hesaplama yöntemi ile hesaplayarak, bu yöntemler arasındaki farklılıkları ortaya koymak amaçlanmıştır.

Yine meşcere karbon hesaplamaları incelendiğinde, FRA 2010 yönteminin toprak üstü ve toprak altı meşcere karbonunda ve doğal olarak meşcere toplam karbon hesabında en yüksek hesap değeri verdiği görülmüştür. 2011-2030 Amenajman plan verilerine göre, FRA 2010 yöntemi baz alınır, ETFOP Yöntemi %11, Asan yöntemi %13 daha düşük değerde toplam meşcere karbonu belirlemiştir. Durkaya vd. [7] tarafından yapılan çalışmada da benzer şekilde FRA 2010 yöntemine göre ETFOP Yöntemi %10, Asan yöntemi %17 daha düşük değerde meşcere toprak üstü karbonu hesaplamıştır. Benzer şekilde Yolasığmaz vd. [5] tarafından yapılan çalışmada da FRA 2010 yöntemi Asan yöntemi ile kıyaslanmış ve Asan yönteminin toprak üstü biyoküttelede biriken karbon miktarı Asan yöntemiyle %29 oranında düşük bulunmuştur. Her tür grubu için, ETFOP yöntemi gövde odunu hacim fırın kurusu ağırlığı (ton/m³) değeri olarak, iğne yapraklılarda 0,446 geniş yapraklılarda 0,541 kullanırken, FRA 2010 yönteminde iğne yapraklılarda 0,496 geniş yapraklılarda 0,638 kullanılmıştır. Bu iki yöntemdeki hesaplamaların farklı çıkmalarının sebebi olduğu düşünülmektedir.

Meşcere karbon hesabının FRA 2010 yönteminde daha yüksek hesaplanmasına karşılık toprak karbonu hesabında ETFOP yöntemi FRA 2010 yönteminden daha yüksek hesaplama yapmaktadır ve çalışma sonucunda Bartın OİM'nün toplam karbon birikiminde ETFOP yöntemi ASAN ve FRA 2010 yöntemine göre daha fazla değer hesaplamıştır. ETFOP ve FRA2010 yönteminde verimli ve bozuk orman ayırımı yapıldığı, Asan yönteminde ise bu ayırımın olmadığı görülmektedir. Asan yöntemi ölü örtü ve toprak karbon hesabında alan verileri yerine meşcere ve ölü-diri örtü biyokütlesinden hesap yapmaktadır. Diğer iki yöntemde ise orman alanlarından bu hesaplamalar yapılmaktadır. Bu FRA 2010 yöntemindeki toprak karbon hesabının Asan yönteminden düşük hesaplanmasına ve toplam karbondaki Asan yönteminin FRA 2010 yöntemini geride bırakmasına

sebeptir olmaktadır.

Bu çalışmada değerlendirilen  yöntemde kullanılan katsayılar genel katsayılardır. Ağaç türü, bonitet sınıfları gelişim ağı gibi farklılıklardan kaynaklanan karbon bağlama potansiyelini açıklamaktan uzaktır. Karışık meşcereler için belirlenmiş katsayılar kullanılmamaktadır. Ayrıca diri örtünün çok yoğun olduğu bölgeler için (zellikle maki ve orman gl) karbon hesabı toprak üstü meşcere biyokütlesinden değil, kendi katsayıları kullanarak yapılması gereklidir. Amanajman planlarında ağaç türlerinin servet ve artımları farklılık göstermesine rağmen ağaç türü baz alınarak hesap yapmadığından yöntemlerin hatalı olduğu söylenebilir. Bu sebepten her ağaç türü için biyokütle miktarlarını belirleyen allometrik denklemlerin belirlenmesi ve karbon analizleri yapılarak her türe ait karbon bağlama potansiyellerinin daha sağlıklı belirlenmesi gereklidir.

Kaynaklar

- [1] Le Qur C. et al. Global carbon budget 2016. *Earth Syst Sci Data*. 2016. 8(2): 605-649.
- [2]. Asan . Global iklim değişimi ve Türkiye ormanlarında karbon birikimi. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University| İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*. 1995; 45(1-2): 23-38
- [3] Asan . Destan S. zkan YU. İstanbul Korularının Karbon Depolama. Oksijen retme ve Toz Tutma Kapasitesinin Kestirilmesi. *Orman Amenajmanı'nda Kavramsal Açılımlar ve Yeni Hedefler Sempozyumu*. İstanbul.18-19 Nisan 2002;194-197
- [4] Tolunay D. Total carbon stocks and carbon accumulation in living tree biomass in forest ecosystems of Turkey. *Turk J Agric For*. 2011; 35:265-279.
- [5] Yolasığmaz HA. avdar B. Demirci U. Aydın İ. İki farklı ynteme göre karbon birikiminin tahmin edilmesi: Artvin Orman İşletme Őeflięi rneği. *Turkish Journal of Forestry*. 2016; 17(1): 43-51.
- [6] Durkaya A. Durkaya B. Ulu Say Ő. Distribución de la biomasa area y subterrnea de rboles jvenes de plantaciones y bosque nativo de *Pinus sylvestris*. *Bosque (Valdivia)*, 2016;37(3): 509-518.
- [7] Durkaya B. Durkaya A. Kocaman M. Carbon stock change; Bolu Sarialan forest enterprise. *Bar Orm Fak Der*. 2017; 19(1): 268-275.
- [8] Coomes DA. Allen RB. Scott NA. Goulding C. Beets P. Designing systems to monitor carbon stocks in forests and shrublands. *For. Ecol. Manage*. 2002; 164 89–108
- [9] IPCC. Good Practice Guidance for Land Use. Land Use Change and Forestry. IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme. Institute for Global Environmental Strategies. Japan. 2004
- [10] OGM. Orman Genel Mdrlğ Stratejik Plan (2010- 2014). evre ve Orman Bakanlığı Orman Genel Mdrlğ. Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı. Ankara. 2009.
- [11] Liu J. Liu S. Loveland TR. Temporal evolution of carbon budgets of the Appalachian forests in the US from 1972 to 2000. *Forest Ecol Manag*. 2006; 222(1-3): 191-201.
- [12] FRA, 2010. Country Report, Turkey, pp.37-39
- [13] Tolunay D. Türkiye'de ağaç servetinden bitkisel kütle ve karbon miktarlarının hesaplamasında kullanılabilirlik katsayıları. "Ormancılıkta Sektörel Planlamanın 50.Yılı Uluslararası Sempozyumu" bildiriler kitabı Ankara. 2013:240-251.

- [14] Tolunay D. Çömez A. Türkiye ormanlarında toprak ve ölü örtüde depolanmış organik karbon miktarları. Hava Kirliliği ve Kontrolü Ulusal Sempozyumu Bildiri Kitabı. Hatay 2008:750-765.
- [15] OGM. Ekosistem Tabanlı Fonksiyonel Orman Amenajmanı Planlarının Düzenlenmesine Ait Usul ve Esaslar. 2014.