



Research Article

PRINCIPAL COMPONENTS OF CARBON DYNAMICS IN FOREST ECOSYSTEMS AND PLANNING

Emin Zeki BAŞKENT 

KTU, Faculty of Forestry (Emeritus)

Corresponding Author: eminzekibaskent@gmail.com

ORCID: 0000-0003-2053-0298

Received: 29 December 2021; Accepted: 21 April 2022; Published: 30 June 2022

Abstract

Forest ecosystems contribute significantly to the carbon cycle in the atmosphere. Carbon is held in different pools inside and outside forest ecosystems. In order to calculate the total carbon amount appropriately, all carbon components related to forest ecosystems should be determined together with their contents. Carbon is stored in many different pools, usually in living biomass in the forest, live or dead trees, soil and harvested wood products, and indirectly in wood-substitutes. Carbon emissions to the atmosphere occur directly in the forest operations conducted in the forest, natural death and decomposition and indirectly in the harvesting, transportation and production processes. Determining the balance between carbon storage and emission as well as the long-term prediction of carbon dynamics requires accurate calculation of carbon pools with all components. In addition, it plays an important role in understanding the effects of energy production policies, forestry policies, planning and management activities on the carbon cycle and therefore climate change. In this article, first of all, carbon components were determined and the calculation method of carbon in each carbon pool was assessed. A general framework was developed for the calculation of carbon components and assessment were conducted by drawing attention to the role of each component in carbon reduction in the fight against climate change. As a result, it was pointed out that carbon pools should be determined and calculated accurately in order to determine effective policies and strategies in the sustainable management of forest ecosystems and to effectively combat climate change.

Keywords: Emission, carbon components, carbon pools, forest ecosystems, planning

*Araştırma Makalesi***ORMAN EKOSİSTEMLERİNDE KARBON DİNAMIĞININ TEMEL BİLEŞENLERİ VE PLANLAMADAKİ YERİ****Özet**

Orman ekosistemleri atmosferdeki karbon döngüsüne önemli katkı sağlarlar. Karbon orman ekosistemleri içerisinde ve dışarısında farklı havuzlarda tutulmaktadır. Toplam karbon miktarının daha isabetli hesaplanabilmesi için, orman ekosistemleriyle ilgili tüm karbon bileşenlerinin içerikleriyle birlikte belirlenmesi gerekmektedir. Karbon, genellikle ormandaki canlı biyokütlede, dikili-devrik odun ya da ölü-diri örtüde, toprakta ve oduna dayalı ürünler ile dolaylı olarak da, odun-ikame maddelerde olmak üzere çok farklı havuzlarda depolanmaktadır. Atmosfere karbon salınımı ise, doğrudan ormandan yapılan üretim-bakım çalışmaları, doğal ölüm ve ayrışma ile dolaylı olarak da üretim, taşımacılık ve işleme sürecinde meydana gelmektedir. Karbon birikimi ile salınımı arasındaki dengenin belirlenmesi ve karbon dinamiğinin uzun vadeli doğru tahmini için karbon havuzlarının tüm bileşenleri ile birlikte belirlenmesi gerekir. Ayrıca, enerji üretim politikaları, ormancılık politikaları, planlama ve yönetim faaliyetlerinin karbon döngüsü ve dolayısıyla iklim değişikliği üzerindeki etkilerinin anlaşılmasında önemli rol oynamaktadır. Bu makalede, öncelikle karbon bileşenleri belirlenmiş ve her bir karbon havuzundaki karbonun hesaplanma yöntemi değerlendirilmiştir. Karbon bileşenlerinin hesaplanmasına yönelik genel bir çerçeve çizilmiş ve her bir bileşenin iklim değişikliği ile mücadelede karbon azaltımındaki rolüne de dikkat çekilerek değerlendirmeler yapılmıştır. Sonuçta, orman ekosistemlerinin sürdürülebilir yönetiminde etkin politika ve stratejilerinin belirlenmesi ve iklim değişikliği ile etkin mücadele için karbon havuzlarının doğru belirlenmesi ve hesaplanması gerektiğine dikkat çekilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Emisyon, karbon bileşenleri, karbon havuzları, orman ekosistemleri, planlama

1. GİRİŞ

Orman ekosistemleri odun üretimi yanında bir dizi ekonomik, ekolojik ve sosyo-kültürel hizmetler sunarlar. Geleneksel odun üretimine odaklı planlama süreci yerine, günümüzde artık çok ölçütlü, katılımcı ve çok amaçlı planlama yaklaşımı tercih edilmektedir. Bu değişim; toplumun orman ekosistemlerine olan taleplerin çeşitlenmesi, çevre duyarlılığının artması ve bu karmaşık yapıdan azami çok yönlü faydalanmaya yönelik geliştirilen çeşitli analitik yöntemlerin geliştirilmesine borçludur (Pukkala 2004, Bettinger ve Chung 2004, Baskent vd. 2008). Ormanların sunduğu ekosistem hizmetleri arasında karbon tutulumunun önemli yeri olduğu ve iklim değişikliği ile mücadelede kritik rol aldığı bilinmektedir (Pukkala 2016). Özellikle, iklim değişikliğinin etkisinin azaltımında (mitigation) ağaçlandırma çalışmaları, ormanların korunması ve azalmasının önlenmesi, kimi silvikültürel müdahalelerle ormandaki karbon birikimin artırılması, odun ürünlerinin uzun vadeli etkin kullanımı ile ilave karbon tutulumu ve sürdürülebilir odun ürünlerinin atmosfere yoğun sera gazlarının salınımını sağlayan fosil yakıt ve diğer materyallerin yerine kullanılması, planlamada önemli karbon tutulumu mekanizmalarıdır (Mäser vd., 2003; Kucuker, 2019). Öte yandan karbonun atmosfere salınımında toprak, bitki ve hayvanların solunumu gibi doğal süreçlerin yanı sıra, enerji üretiminde ve endüstriyel süreçlerde fosil yakıtların kullanımı etkili olmaktadır. Atmosferdeki karbon miktarını düzenlemede bir taraftan karbon havuzlarını artırmaya yönelik

yaklaşımlar benimsenirken, öte yandan da karbonun atmosfere salınımını geciktiren/azaltan mekanizmalar geliştirilir. Burada, ormanlar gerek fotosentez yoluyla gerekse sürdürülebilir planlama ve akıllı ürün kullanımı ve atık yönetimi yoluyla atmosferdeki karbon düzeyine katkı sağlayarak iklim değişikliği ile mücadelede önemli rol oynarlar. Örneğin Amerika Birleşik Devletleri ormanları ve oduna dayalı ürünler ülkedeki sera gazı emisyonunu %15'e kadar azaltabilmektedir (EPA 2015).

Ormanlar atmosferdeki karbonu farklı havuzlarda depolarlar. Canlı ağaç, ağaççık ve çalılardaki topraküstü ve toprakaltı biyokütlerde, ölü örtüde ve ölü örtünün çürümesiyle de toprakta doğrudan depolarlar (Kucuker ve Tuyoglu, 2020). Ormanlardan üretim yoluyla elde edilen orman ürünleri ile karbon tamamen tekrar atmosfere salınmamakta, esasen karbon orman alanından çıkarak başta bir ortama transfer edilmektedir. Bu durumda, ormandan hasat edilen ham orman ürünlerinin kereste, yonga levha, kâğıt hamuru gibi çeşitli nihai ürünlere dönüştürülerek bu ürünlerin kullanım zamanlarına göre de karbon uzun vadeli saklanabilmektedir (Hillier ve Murphy 2000). Karbonun orman ürünlerinin farklı kullanım alanlarındaki uzun vadeli depolanmasıyla iklim değişikliğinin etkisinin azaltımında etkili olduğu bir çok araştırmacılar tarafından kanıtlanmıştır (Hofer vd., 2007; Canals Revilla vd., 2014; Pan vd., 2011). Üstelik odunun fosil yakıtlar, çimento ve demir-çelik yerine ikame materyal olarak kullanıldığı durumlarda da, atmosfere salınan karbon emisyonu azaltılmaktadır. Ayrıca, odun hammaddesinin farklı kullanım yerlerinde, kullanım süreleri sonunda iyi tasarlanmış katı atık alanlarında etkin depolanması ve/veya yanıcı atık maddeye dönüşmesiyle birlikte biyoyakıt olarak kullanılmasıyla da fosil yakıt emisyonu azaltılmaktadır. Öte yandan, odun ürünlerin üretilmesinde kullanılan toplam enerjinin odun-dışı ürünlerin üretilmesinde kullanılan enerjiden daha az olması da odun ürünlerinin dolaylı olarak karbon dinamiğine olumlu katkı yapmaktadır (Sathre ve O'Connor 2010A). Bu şekilde karbonun dolaylı havuzlarda tutulduğu süreçler de dikkate alındığında karbon dinamiğinin bir hayli karmaşık olduğu görülecektir. Öte yandan, ormanda üretim çalışmaları, taşıma ve işleme işleminin yansira biyokütlenin doğal ölüm, fırtına, kuraklık, sel, böcek ve özellikle de yangınlar gibi bir takım doğal olaylarla da karbon atmosfere salınmaktadır. İklim değişikliğinin önlenmesi kapsamında karbon havuzlarının genişletilmesi ve karbon emisyonunun azaltılması ancak bu karmaşık karbon döngüsünün tüm bileşenleri ile birlikte iyi kavranmasına, sürdürülebilir planlanmasına ve akıllı ürün kullanımında farkındalığın oluşturulmasına bağlıdır. Bu bağlamda, orman ekosistemlerine yapılan müdahaleler planlı olmalı ve doğal olaylardan kaynaklanan belirsizlik ve riskler de önden tasarımlı (proaktif) yaklaşımla planlamaya konu edilmelidir.

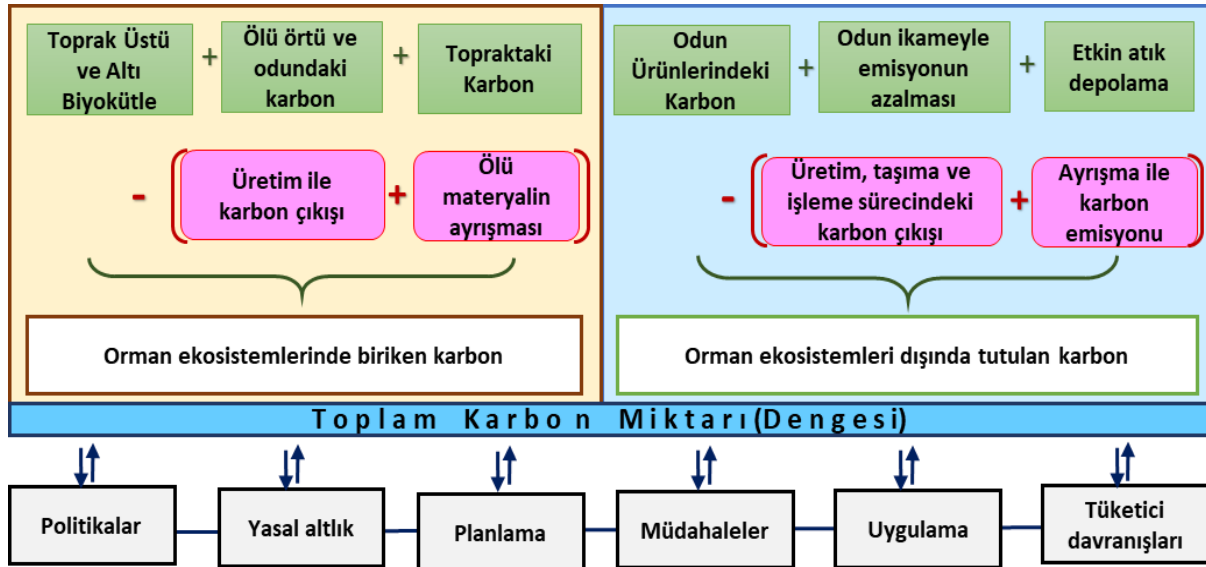
Ormancılık faaliyetlerinin doğru yönetilmesinde (planlama ve işletmeciliği) en önemli noktalardan biri karbon bileşenlerinin bütüncül olarak değerlendirmeye alınmasıdır. Doğal yaşlı ormanların karbon dengeleme noktasında etkili olduğu genel olarak varsayılırken (Desai vd., 2005), üretim çalışmalarıyla birim alan etkinliği artırıldığı ve oduna dayalı ürünlerde karbon tutulduğundan dolayı, uzun vadede daha etkin karbon yönetimi sağlayacağı vurgulanmaktadır (Pukkala 2014, Pilli vd., 2015). Ancak, üretim, taşıma ve odun işleme faaliyetleri ekosistemlerden biyokütle çıkışına sebep olmaktadır (Liski vd., 2001). Ayrıca, üretim artıkları canlı biyokütlenin ayrışmasından daha hızlı ayrışmaktadır. Üstelik katı atık depolanmanın yönetimi de karbon dengesinde önemli katkısı söz konusudur. Dolayısıyla, karbon birikimi uzun vadeli bir işlem olduğundan, zaman unsuru da karbon miktarının tahmininde dikkate alınması gereken bir faktördür. Örneğin, Başkent ve Küçüker 2010 ile Pukkala (2016) yaptığı çalışmalarda, yaklaşık 100 yıla kadar olan bir planlamada doğal yaşlı ormanların karbon-etkin olduğu, ancak daha uzun vadeli kestirimlerde ise üretim faaliyetleri ağırlıklı planlama senaryolarının daha karbon-etkin olduğu gösterilmiştir. Bu durum, karbon

bileşenlerinin tüm öğeleriyle birlikte değerlendirmeye alınması ve planlama ve işletmeciliğinin de bu hesaplamalar üzerine kurularak uzun vadeli düzenlenmesi gerektiğini göstermektedir.

Bu makalenin temel amacı, planlama çalışmalarında karbonun önemli bileşenlerini ve dolayısıyla karbon havuzlarını ortaya koymak ve her bir karbon havuzundaki karbonun hesaplanması yöntemini yapılan çalışmalara dayalı olarak değerlendirmektir. Bununla birlikte, karbon bileşenlerinin hesaplanmasına yönelik genel bir çerçeve çizilmiş ve her bir bileşenin iklim değişikliği ile mücadelede karbon azaltımındaki rolüne de dikkat çekilerek değerlendirmeler yapılmıştır.

2. KARBON BİLEŞENLERİ

Orman ekosistemlerinde karbon dinamiğini “stok değişim” metodu ya da “kazan-kayıp” metoduna göre hesaplanması mümkündür (IPCC 2006). Kazan-kayıp metoduna göre hesaplanması durumunda, ekosistemlere giren karbon ile ekosistemlerden çıkan karbon miktarı belirlenerek arasındaki fark net karbon birikim miktarı olarak değerlendirilir. Burada kazanım, topraküstü ve toprakaltı biyokütledeki artış ile; kayıp ise, üretim süreci ve ölüm neticesinde ortaya çıkmaktadır (Şekil 1). Burada her bir havuzdaki net değişim hesaplandığı için servet yerine yıllık artım miktarı kullanılır. Ayrıca karbonun bir alandan başka bir alana transferi ve etkin katı atık depolama yönetimi ile de orman ekosistemleri dışında da kazanım söz konusudur (Masera vd., 2003). Stok değişim metodunda ise, değişim istenen farklı zaman dilimlerinde hesaplanan tüm karbon havuzlarındaki toplam karbon stokları hesaplanır ve aradaki fark alınarak zaman dilimine de bölünerek yıllık karbon değişim miktarı hesaplanır. Burada ise her bir havuzdaki toplam biriken karbon stok miktarı hesaplandığı için artım yerine servet miktarı kullanılır. Öte yandan, etkin politika, planlama ve farkındalık çalışmaları da karbon döngüsünü etkileyen dış etmenlerdir.



Şekil 1. Orman ekosistemlerindeki karbon havuzları ve dinamiği (Başkent 2020'den uyarlanmıştır).

2.1. Orman Ekosistemlerindeki Karbon Bileşenleri

Ormanlar, atmosferdeki karbonun önemi bir kısmını hızlı ve ani yakalayıp depolayarak karbon salınım (emisyon) hedeflerine ulaşmada önemi rol oynarlar. Orman ekosistemlerindeki karbon genellikle biyolojik değişim ya da “büyüme/artım” ile sağlanmaktadır. Orman ekosistemlerindeki bu artış genellikle ağaçlandırma, etkin koruma, ormansızlaşmanın önlenmesi, teknik müdahalelerle ağaçlardaki büyüme trendindeki net değişim ve sürdürülebilir yönetimle sağlanabilmektedir. Orman ekosistemlerinden ayrılan karbon ise, ormansızlaşma, doğal olayların önlenememesi (örneğin, orman yangınları, böcek salgını vb.), doğal ölümler, üretim çalışmaları ve düzensiz bir yönetim sonucu meydana gelmektedir. Karbon döngüsünün bu iki temel süreci arasındaki fark, orman ekosistemlerinde oluşan net karbon değişimini göstermektedir. Bu değişimin pozitif olması durumunda, ormanların bir karbon depolama havuzu/yutağı (*sink*) olduğu, aksi durumda ise karbon kaynağı (*source*) olduğu şeklinde değerlendirilmektedir.

Orman ekosistemlerinde tutulan karbonun ayrıntılı hesaplanması bir hayli karmaşık ve zor olmasına rağmen, daha pratik ve kolay uygulanabilir hesaplamalar da yapılabilmektedir. Orman ekosistemlerinde karbon pratik olarak genellikle; topraküstü canlı biyokütlede, toprakaltı biyokütlede, ölü örtü ve toprakta tutulan karbon olarak hesaplanmaktadır.

Topraküstü canlı biyokütle: Topraküstü biyokütlede tutulan karbon ağaç, ağaççık ve çalı formasyonunun toprak üzerinde tuttuğu miktarı ifade etmektedir. Normal olarak her bir ağaç türü ile diğer bitki formasyonları için geliştirilen biyokütle denklemleri yardımıyla hektardaki biyokütle hesaplanır. Bu modellerin olmadığı durumlarda ise, mevcut ağaç hacim denklemlerine göre hesaplanmış hektardaki ağaç serveti üzerinden hesaplanır [1].

$$TUB = DKGH \times BCEF_i \quad (1)$$

Burada;

TUB = topraküstü biyokütle (t C/ha/yıl), DKGH = dikili kabuklu gövde hacmi (*Not: bu değer kazan-kayıp metodunda hacim artımıdır*) ve BCEF = her bir ağaç türü (i) için ayrı ayrı hesaplanmış BEF¹ (biyokütle dönüşüm faktörü) x D (odun yoğunluğu) faktörünü göstermektedir.

Toprakaltı canlı ve ölü biyokütle: Bitkilerin kökleri, yapraklar, dallar ve kütükler gibi kısımlarından meydana gelen ölü örtü toprak üstünde ayrışarak toprağa karışırlar. Burada büyük kökleri, ağaçların ölümüyle ancak ayrışırken, kılcal kökleri ise sürekli değişim halinde olup zamanla büyür ve ölürleri. Burada oluşan biyokütle toprakaltı biyokütle olarak belirlenir. Doğrudan hesaplanması bir hayli zor olduğu için, genellikle topraküstü biyokütle ile ilişkiye getirilerek toprakaltı (canlı ve ölü) biyokütle hesaplanabilmektedir. Örneğin, ılıman kuşak ormanlarda toprakaltı biyokütle aşağıdaki regresyon denkleminde tahmin edilebilmektedir [2] (Crosby vd., 2010).

¹BEF ve R katsayıları için http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_02_Ch2_Generic.pdf veya https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_04_Ch4_Forest_Land.pdf belgelerindeki 2.2 bölümüne bakınız. Bu ve benzer katsayıların ülkelerin kendilerinin belirlemesi öngörülmekte, ancak bunların olmadığı durumlarda da IPCC tarafından hazırlanan GPG-LULUCF kılavuzundaki değerler önerilmektedir.

$$TAB = e^{-1.0587 + 0.8836 \times \ln(TUB) + 0.2840} \quad (2)$$

Toprakaltı biyokütlerde tutulan karbon, pratik olarak yine topraküstü biyokütlenin belirli bir kök-sak oranına (R) göre çarpılmasıyla da hesaplanabilir [3]¹.

$$TAB = TUBK \times (R)_i \quad (3)$$

Biyokütle kayıpları ise, ekosistemlerden üretim yoluyla ya da doğal olaylar (ölüm, fırtına, yangın ve böcek gibi) ile ayrılan miktarı göstermektedir. Üretim (son hasılat ve bakım) yoluyla ormandan çıkarılan biyokütlerdeki karbon miktarı yine ilgili katsayılarla göre şu şekilde hesaplanmaktadır [4].

$$K_{\text{üretim}} = ETA \times BCEF_i \times (1 + R) \times CF \quad (4)$$

Burada;

$K_{\text{üretim}}$ = yıllık toplam karbon kayıp miktarı (tC/ha/yıl), ETA = yıllık toplam üretim miktarı (hektardaki son ve ara hasılat miktarı), CF = her bir tür için biyokütle karbon dönüşüm faktörünü göstermektedir.

Ancak, üretilen ürünlerdeki karbonun hemen atmosfere geri dönmediğine dikkat edilmelidir. Bu ürünler, ileride gösterileceği gibi, ormandan çıkarıldıktan sonra kullanım yerlerine göre karbonu *transfer* yoluyla mamul/yarı mamullerde ve enerji ve odun ikame olarak kullanımıyla birlikte ilave karbon kazanımlarıyla karbon dengesine katkı sağlamaktadırlar. Burada önemli diğer nokta ise, ölü oduna aktarılan miktarın belirlenmesidir. Bunun için kök, kütük ve üretim artıklarının “ölü odun” havuzuna transfer edildiği varsayımı yapılarak hesaplama yapılabilir. Doğal olaylar (doğal ölüm/kuruma, fırtına, yangın ve böcek gibi) ile ayrılan karbon miktarı ise şöyle hesaplanmaktadır [5].

$$K_{\text{ölüm}} = OH \times BCEF_i \times (1 + R) \times CF \quad (5)$$

Burada;

$K_{\text{ölüm}}$ = yıllık toplam ölü karbon miktarı (tC/ha/yıl), OH = doğal yolla ayrılan hacim ile olağan üstü olaylarla ormandan ayrılan, ancak olağan üstü eta olarak kullanılmayan, hacim miktarı CF = her bir tür için biyokütle karbon dönüşüm faktörünü göstermektedir.

Ancak, üretim miktarında olduğu gibi ölü miktar da hemen atmosfere emisyonla dönmekte, yine transfer yoluyla ölü odundaki karbon havuzuna katılmaktadır. Ölü tomruk, kök ve kütüklerde biriken hacim yine belirli bir fonksiyonuna göre ayrışarak karbon dinamiğine katkı sağlamaktadır [6 ve 7] (IPCC 2006; Pingoud ve Wagner 2006).

$$OH_{ij+1} = e^{-k} * (OH_{ij} \times FF) + \left[\frac{(1 - e^{-k})}{k} \right] * (Katılan_{ij} \times FF) \quad (6)$$

$$Katılan_{ij} = (ETA \times BCEF) \times HF + MH \times BCEF \quad (7)$$

Burada;

i = yıl, j = ölü odun kategorisi (kök, kütük, ölü tomruk vb), OH_{ij} = i . yılda j ölü odun kategorisinde biriken karbon, $k = \ln(2)/YYZ$, yarım-yaşam zamanına göre (ayrışarak) azalma trendini gösteren katsayı, FF parçalanma kayıp oranı (genelde 0,85 –yılda %15 olarak alınır) ve $Katılan_{ij}$ = i . yılda yeni ölen j kategorisindeki ölü odundaki karbon miktarını ($t C ha^{-1} yıl^{-1}$) göstermektedir. HF alanda kalan üretim oranıdır (üretim etkinliğine göre alınabilir -genelde 0.03), MH = yıllık ölü hacim

Bu formül [6] kendi içerisinde yineleyen (recursive) türden bir model olduğundan başlangıç ölü hacmin tahmin edilmesi gerekmektedir. Ağaçlandırma alanlarında bu miktar sıfır, diğer meşcerelerde ise ya ulusal orman envanteri verilerine göre ortalama bir değer, ya da son yıllardaki ortalama hektardaki ölü miktarı dikkate alınarak hesaplanmalıdır. Ayrıca, bu formül dağılıma-parçalanma sürecini dikkate almadığı için, olduğundan daha yüksek tahmin yapmakta ve ölü miktarın, katılan da dahil, bir parçalanma katsayısı (PK) ile çarpılarak düzeltilmesi gerektiği önerilmektedir (Bond-Lamberty ve Gower, 2008). Bu araştırmacılar, bu ilave kaybın yaklaşık %10-30 arasında değiştiğini ve hesaplamaya katılması gerektiğini bildirmektedirler. Ayrıca, ölü odun ayrışma trendinin (k) belirlenmesinde, ülke ya da ilgili ekosistemler için bir veri yoksa yarı yaşam zamanını (YYZ) yuvarlak odun için 12 yıl, kökler için 19 yıl ve kütükler için de bu süre 14 yıl olarak önerilmektedir (Olajuyigbe vd., 2011).

Topraktaki karbon miktarı: Topraktaki toplam karbon miktarı, toprak solunumu yoluyla salınan karbon (ayrışma) ile ölü-diri örtü ve doğrudan kılcal köklerde depolanan karbon miktarı ile belirlenmektedir. Her bir süreç ormanda üretim çalışmaları (kesim, bakım, toprak hazırlığı, gübreleme vb.) tarafından doğrudan etkilenmektedir. Dolayısıyla ormancılık faaliyetlerinin şekli ve yoğunluğu topraktaki karbon değişimi üzerine etkili olmaktadır (Jandl vd., 2007).

Orman ekosistemlerinde tutulan karbonun belirli bir miktarı toprakta tutulmaktadır. Mineral ve organik topraktaki karbon miktarı arazi kullanımı ve yönetimine göre değişmektedir (IPCC 2006). Gübreleme ve sulama gibi müdahalelerle bitki üretimi/ büyümesindeki artış, doğrudan karbon girişi, üretim çalışmalarında kalan artıklar veya doğal olayların oluşturduğu kalıntılar topraktaki karbon dinamiğini doğrudan etkilemektedir. Topraktaki organik maddenin ayrışması; karbon miktarını doğrudan etkilemekte, nem ve sıcaklık rejimindeki değişimden etkilenmekte ve ormancılık çalışmalarıyla toprağa uygulanan müdahale yoğunluğu ile de ayrıca etkilenmektedir. Topraktaki organik maddenin bir kısmı ayrışmayarak stabil toprak karbonu haline dönüştüğü ve daha uzun vadede tutulduğu da bilinmektedir (Gelman vd., 2013).

Teorik olarak değerlendirildiğinde, topraktaki karbon dengesi (net karbon miktarı) şu şekilde hesaplanmaktadır [8] (Pukkala 2014).

$$TKd = \text{Ölüm} + \text{Ölü örtü} + \text{Atıklar} - \text{Ayrışma} \quad (8)$$

Burada her bir bileşen ilgili sınıfın karbon miktarını göstermektedir. Her bir meşcerenin ölü örtü miktarı ise, ince ve kalın kökler, yaprak ve dallardaki toplam biyokütle bileşenleri ile her

bir ağaç türü için belirlenmiş yıllık biyokütle değişim oranlarına göre hesaplanmalıdır (Liski vd., 2006, Pukkala 2014). Ayrıca, bu formülün etkin uygulanabilmesi için ekosistemler (meşcereler) ağaç türlerine ve her bir tür de ayrıca çap sınıflarına göre sınıflandırılarak toprağa giren toplam organik maddenin ayrışma miktarı daha isabetli hesaplanmalıdır. Topraktaki organik madde ayrışması materyal boyutuna göre değişeceğinden bu şekilde bir sınıflandırma gerekmektedir. Üstelik ölü organik maddenin zamana göre ayrışma trendi farklı olacağından bu değişimden tahmin edilerek topraktaki karbon dengesi hesaplanmaktadır (Liski vd., 2006).

Topraktaki karbon dengesinin yukarıdaki gibi doğrudan hesaplanmasının zor olduğu durumlarda bazı pratik alternatif yöntemler de kullanılmaktadır. Buna göre, topraktaki karbon iki farklı yöntemle tahmin edilebilmektedir. Birincisi toplam biyokütle üzerinden yapılan hesaplama yöntemidir. Toplam biyokütlenin, ülkelere göre hesaplanmış değerler olmadığı durumda, karbon değeri karşılığının bir kütle değişim faktörü (DF) ile çarpılarak aşağıdaki gibi hesaplanabilmektedir [9] (DF=0.58, IPCC 2006).

$$TK = (TUB \times CF + TAB \times CF + K_{ölüm}) \times DF \quad (9)$$

İkinci yöntemde ise biyokütle yerine arazi kullanım şekline göre alan üzerinden hesap yapılmaktadır. Burada, her bir iklim ve toprak türüne göre hesaplanan toplam alanın yine bu tiplere göre belirlenmiş hektardaki referans karbon stok değeri ile çarpılarak hesaplanabilmektedir. Ancak, formül müdahale rejimi, arazi kullanım tipi ve topraktaki organik madde durumuna göre ayrı ayrı kütle değişim faktörleri ile çarpılarak da daha genel kullanıma açılabilir [10]. Ayrıca, ülkemizde yapılan bazı çalışma sonuçlarına göre elde edilen katsayılar doğrudan kullanılabilir (Tolunay ve Çömez, 2008; TAGEM, 2018).

$$TK = \sum_{i,j} Alan_{ij} \times Ref_{ij} \quad (10)$$

Burada;

TK = topraktaki toplam karbon miktarını (t C/yıl), Alan_{ij} = her bir iklim rejimi (i) ve toprak türüne (j) ait alanı (ha), Ref_{ij} = her bir iklim rejimi (i) ve toprak türü (j) için hektardaki referans karbon stok değeri (örneğin, tropik dağ ikliminde kumlu topraklarda 34, boreal/soğuk kuşak ormanlarda 10, IPCC 2006).

Ancak, ölü örtü ve topraktaki karbonun hesaplanmasının kalibre edilmesi gerekmektedir. Topraktaki karbon emisyonunun mineral ve organik kısmı farklı hesaplanmalıdır. Bunun gerçekleşmesinin zor olduğu durumlarda ilgili IPCC temel değişim katsayıları kullanılabilir (IPCC 2006). Dolayısıyla, karbon dengesinin hesaplanmasında organik topraktaki drenaj ve DOC kayıp için emisyon miktarı da hesaplanmaya katılması gerekir. Bunun için IPCC katsayıları kullanılabilir (sırasıyla 0.61 tC/ha/yıl ve 0.31 tC/ha/yıl.) Aksi takdirde olduğundan daha fazla karbon tahmin yapılabilmektedir (Black vd., 2012)

2.2. Orman Ekosistem Dışında Tutulan Karbon

Hasat edilen odun ürünlerindeki karbon: Orman ekosistemlerindeki odun üretimi, biriktirdiği karbonu eşzamanlı olarak atmosfere hemen saldırdığı şeklinde algılanmakta ve dolayısıyla odun ürünlerinde tutulan karbonun etkisi de göz ardı edilmekteydi. Oysaki orman ürünlerinin karbon birikiminin geleceğe aktarılmasında önemli bir mekanizma olduğu daha henüz anlaşılmaya başlanmıştır (Perone vd., 2015). Örneğin, Avrupa Birliği genelinde hasat

edilen odun ürünleri yıllık olarak toplam sera gazı emisyonlarını %1'e kadar azaltmaktadır. Oduna dayalı ürünlerin üretilmesi, muadil alternatif ürünlerin üretilmesine göre daha az miktarda toplam enerjiye ve özellikle daha az fosil yakıtla ihtiyaç duyulduğu bilinmektedir. Bu bağlamda, hammadde temini, taşıma ve ürün işleme süreçlerini de içeren “Beşikten mezara” kadar yapılan materyal üretim analizi, odun ürünlerinin metal, çimento veya tuğla gibi muadil ürünlere göre daha az üretim enerjisine gerek duymaktadır (Sathre ve O’Connor, 2010A). Ayrıca, odun işlemedeki enerjinin çoğu atıkların kullanıldığı kurutmada kullanılan termal enerjidir. Böylece, oduna dayalı ürünlerin üretiminden kaynaklanan fosil karbon emisyonu da odun-dışı diğer ürünlere göre bir hayli daha azdır. Ayrıca, kompozit ürünler katı odun ürünlerden daha fazla fosil yakıtlara ihtiyaç duyarlar. Üstelik reçine, katkı maddeleri ve odun liflerinin mekanik işleminde dahi muadil odun-dışı ürünlere göre daha az enerji kullanılmaktadır (Sathre ve O’Connor, 2010B).

Oduna dayalı ürün (ODÜ), ormandan ayrılan ve mobilya, doğrama, lif-yonga levha, paketlenme, kâğıt hamuru ve kereste gibi ürünlerin üretilmesinde kullanılan odun ürünleridir. Oduna dayalı ürünler karbonu geçici olarak depolamaktadırlar. Çünkü ODÜ ormandan üretildiği andan itibaren bünyesindeki karbonu kilitlemekte ve yaşam/kullanım ömrü ve ilgili ürünün ayrışma sürecine göre atmosfere geri salınımını da geciktirmektedir (UNECE/FAO, 2008). Dolayısıyla iklim değişikliği ile mücadelede ODÜnde tutulan karbonunu da karbon envanterindeki hesaplama katılması gerekmektedir. Her ne kadar ODÜnde tutulan karbonun nasıl hesaplanacağı ve ülkelerin bu konuda nasıl bir politika belirleneceği henüz açık olmasa da, ODÜ özellikleri ve kullanım yerlerine ve belirlenen bir ayrışma kavramına göre ODÜnde tutulan karbon miktarı dinamik olarak hesaplanabilmektedir.

IPCC stok değişim yaklaşımı, üretim yaklaşımı ve atmosferik akış yöntemi olmak üzere üç farklı yöntem önermektedir (Tonosaki, 2009). Hesaplama odun ürün tipinde bulunan karbon miktarına ve IPCC yönetmeliğinde belirtilen ayrışma oranına göre yapılmalıdır (IPCC, 2006). Her bir ürünün hizmet/kullanım süresi **yarı-yaşam zamanı²** (YYZ) na göre belirlenen bir üssel azalma (ayrışma) oranını izlediği varsayılmaktadır. Ulusal verilerin olmadığı durumda kâğıt ürünü için **yarı-yaşam zamanı** 2 yıl, panel için 25 yıl ve kereste için de 35 yıl önerilmektedir (Perugini vd., 2012). Kullanım yeri, ürün dayanıklılığı ve tüketici alışkanlıklarına göre değişen ayrışma oranı, ormandaki ürünler için de ayrıca belirlenebilmektedir.

Bu formülün kendi içerisinde yineleyen türden dinamik yapıda olmasından dolayı, ODÜnde biriken karbonun hesaplanması için öncelikle başlangıçta üretilen odun ürünü miktarı ve her bir ürün tipi (örneğin, kereste, kaplama, kontrplak, mekanik ve kimyasal kütle, biyoyakıt) için yarı-mamul miktarı hesaplanmalıdır. Hesaplanan bu mamul ya da yarı mamul ürünün tür ve kullanımına göre karbon tutma kapasitesi değişmektedir. Belirli bir ürün kategorisinde biriken uzun vadeli karbon miktarı, bir önceki yıldaki miktarı da dikkate alarak şu formüle göre hesaplanmaktadır [11] (IPCC 2006; Pingoud ve Wagner 2006).

$$ODK_{i+1} = e^{-k} * ODK_{ij} + \left[\frac{(1-e^{-k})}{k} \right] * Katılan_{ij} \quad (11)$$

² Bir ürünün kullanımı ile zamanla olan kayıp miktarı başlangıç miktarının yarısına denk gelen yıl sayısını ifade etmektedir. Kısaca, bir ürünün kullanım miktarının yarı yarıya indiğini yada ne kadar bir zamanda yarıya inebileceğini gösterir bir zaman terimidir.

Burada;

i = yıl, j = yarı-mamul ürün kategorisi, ODK_{ij} = i . yılda j kategorisindeki ODÜ de biriken *eski* karbon miktarı, $k = \ln(2)/YYZ$, yarım-yaşam zamanına göre azalma trendini gösteren katsayı ve $Katılan_{ij}$ = i . yılda *yeni* üretilen/katılan j kategorisindeki ürünün karbon miktarını ($t C yıl^{-1}$) göstermektedir.

Bu formül ile her bir ODÜnde tutulan yıllık karbon miktarı, mamul yada yarı mamul hale gelmiş her bir ürünün zamanla ayrışmasıyla salınan karbonun çıkarılarak o yıl katılan karbon miktarının eklenmesiyle birlikte kalan/aktarılan karbon miktarı hesaplanabilmektedir. İlgili ürün tipinden ayrılan eski karbon miktarı, yeni katılan karbon miktarı ile ilgili ürün tipinin yarı yaşam zamanına göre değişmektedir. Burada ODÜin başlangıç karbon miktarının (ODK_{ij}) belirlenmesinde son yıllardaki ortalama değerlerin kullanılabilmesi gibi, bunun yokluğunda, IPCC ortalamalarının da kullanılabilmesi önerilmektedir (IPCC 2006).

Bu formülün etkin hesaplama yapabilmesi için, ayrıca *üretim*, *taşıma* ve *ürün işleme* faaliyetlerinden kaynaklanan ilave karbon salınım miktarı da dikkate alınmalıdır (Pukkala 2014). Üretimin ince çaplı bireylerden kalın çaplı bireylere göre değişmesiyle birlikte, üretim faaliyetlerinden kaynaklanan karbon salınımı da azalmaktadır (Pukkala 2014). Taşımadan kaynaklanan ortalama birim ürün miktarı başına karbon salınımı, araçların bir seferde kat ettikleri ortalama mesafeye göre tükettikleri yakıt miktarının taşıdıkları ürün miktarına oranıyla kolayca hesaplanmaktadır. Ürün işleme sürecinde birim ürün başına harcanan enerji/yakıt miktarı da ayrıca hesaplanarak karbon çıkışına eklenir. Örneğin, Liski vd., (2001) yaptığı bir araştırmada, kereste ve kontrplak için bu oranı 0.032, kimyasal muameleye tabi ürünlerin üretiminde ise 0.13 olarak vermektedir. Bazı istisnalar olsa da, bu üç farklı süreçte atmosfere salınan karbon miktarının %1-%13 arasında değiştiği bildirilmektedir (Wihersaari, 2005). Yalnız, mekanik müdahalelerin olduğu durumda daha fazla enerji kullanıldığından bu oran artmaktadır.

Odun ürünlerinin ikamesinden kaynaklanan emisyon azaltımı: Biyokütle artıkları aralama ve üretim çalışmalarının yanı sıra odun ürünlerinin işlenmesiyle de ortaya çıkmaktadır. Oduna dayalı ürünler kullanım süresi sonunda, geri dönüşüm olamadığı sürece, yanıcı madde atığı şekline dönüşür. Bu yan ürünler fosil yakıtlar yerine biyoyakıt olarak kullanılabilirler. Böylece karbon emisyonundan önemli miktarda kaçınılmış olur. Bu miktarın hesaplanması ise, faydaların ürün tipine göre nispi miktarı, fosil yakıt yerine ikame edilen odun ürünündeki karbon yoğunluğu, topraktaki potansiyel karbon değişimi ve ürünlerin kullanım sonrasında atık yönetiminin nasıl olacağı konusundaki belirsizliklerden dolayı bir hayli karmaşıktır (Sathre ve O'Connor, 2010B).

Orman ürünlerinin diğer ürünlerin yerine kullanılmasıyla birlikte de karbon emisyonunda önemli miktarda azalma olacaktır (Tsunetsugu ve Tonosaki 2010). Eğer oduna dayalı ürünlerin geleneksel kullanım politikaları değişmez ise, burada ilave bir karbon tutulumu yada emisyon azaltımı söz konusu değildir. Ancak, oduna dayalı ürünlerin kullanım alanlarının genişlemesi ve yoğunlukların artması politikaları sonucunda ilave karbon tutulumu sağlanabilecektir. Bu durumda ancak bir ilave karbon kredisi söz konusu olabilecektir. Örneğin, oduna dayalı ürünlerin biyoenerji olarak kullanılması, inşaat sektöründe ahşabın olduğundan daha fazla kullanılması ve plastik malzeme yerine bilinçli olarak ahşap malzemenin kullanılması gibi. Burada önemli olan ODÜ in bilinçli olarak diğer ürünlerin yerine ikame olarak kullanılması durumudur. Bu durumda bir ilave karbon tutulumu yada

emisyona azaltımı söz konusu olacaktır ki, o miktarı da şu şekilde hesaplamak mümkündür [12] (Tsunetsugu ve Tonosaki 2010);

$$EK_{ij} = ODU_{ij} * BCEF * AO_j * DF_j \quad (12)$$

Burada; EK_{ij} = Emisyon kazanım miktarı, BCEF = Biyokütle dönüşüm faktörü, AO_j = j ürünün biyoyakıt/diğer malzeme olarak kullanım oranı, DF_j^3 = j ürününün fosil yakıtı/diğer ürünlere değiştirme katsayısını göstermektedir.

Burada en önemli faktör, herhangi bir kategorideki ODÜ'nün diğer ürüne yada fosil yakıtı değiştirme katsayısının (DF) belirlenmesidir. Bunun için birçok araştırmaya yapılmış ve ODÜ'nün hangi tip fosil yakıtın yerine kullanılacağına göre ayrı ayrı hesaplanmıştır. Örneğin, Sathre ve O'Connor (2010B) 21 farklı araştırma sonuçlarını karşılaştırmış ve DF katsayısının -2.3 ila 15 e kadar, ancak tipik olarak da her bir tC için 1-3 tC olarak değiştirdiğini gözlemlemiştir. Örneğin kömür için 0.36, petrol için 0.26, inşaat malzemesi için 1.1. Ancak, ortalama olarak DF katsayısının 2.1 olduğunu göstermiştir. Bu şu anlama gelmektedir; oduna dayalı her bir ton karbonun odun-dışı fosil yakıt yerine kullanılmasıyla birlikte yaklaşık 2.1 ton karbon emisyonundan tasarruf edilecektir. Diğer ifadeyle, her bir m³ ham odun ürünü için 1.9 ton karbondioksit emisyon faydası sağlanacaktır. Burada, ODÜ'nün enerji yada diğer malzemeler yerine göre bilinçli / akıllı kullanım politikaları olması durumunda ancak bir emisyon kazanımından bahsedilebilir. Aksi takdire, ilave bir kazanımın olmayacağını tekrar vurgulamak gerekir.

Katı atık alanının yönetimi ile karbon tutulumu: Bazı oduna dayalı ürünler kullanımları sonrasında katı atık olarak depolanmakta ve burada yanıcı maddeye dönüşmektedir. Katı atık depolarındaki karbon dinamiği bir hayli değişmekte ve sera gazlarını döngüsüne önemli derecede etki etmektedir (Sathre ve O'Connor, 2010B). Katı atık depolarındaki odun ürünlerinin bir kısmı uzun süreli depolanarak iklim değişikliğine olumlu katkı sağlamaktadır. Diğer kısmı ise ayrışmayla metan gazına dönüşerek iklim değişikliğine olumsuz etki etmektedir. Ancak, katı atık depolarında biriken/oluşan bu metan gazının önemli bir kısmı geri kazanımla birlikte fosil yakıt yerine biyoyakıt olarak kullanılabilir. Dolayısıyla, katı atık depolarındaki bu belirsizlikler etkin yönetimin önemini göstermekle birlikte, ilave karbon faydasının hesaplanmasını da bir hayli zorlaştırmaktadır. Katı atık depolarında biriken karbonun hesaplanmasında etkin olan parametre, katı atık yönetimi ile ürün dönüştürme katsayısıdır (DF). İyi yönetilemeyen katı atık depolarında bu katsayı negatif değere kadar düşebilmektedir (Petersen ve Solberg, 2005). Ancak, çok iyi tasarlanarak yönetilen katı atık depolamada ise, daha büyük ürün dönüştürme faktörü kullanılmakta olup ortalama olarak 1.1 değeri önerilmektedir (Sathre ve O'Connor, 2010B).

2.3. Toplam Karbon Değişim Miktarı

Orman ekosistemlerinde herhangi bir dönemde biriken toplam net karbon miktarı (karbon dengesi) ise özetle şöyle hesaplanabilmektedir [13]:

$$TopK = TUBxCF + TABxCF + OH + TK + ODK + EK + Diğer - (K_{üretim} + K_{ölüm}) \quad (13)$$

³ Biyokütlenin sera gazı emisyon miktarını azaltmadaki etkinlik katsayısı. Diğer ifadeyle, bir birim oduna dayalı ürünün kullanımıyla kazanılan emisyon miktarını ifade eder.

Burada;

$TopK$ = Belirli bir ekosistemde, örneğin orman ekosistemi, belirli bir zamanda biriken birim alandaki net karbon miktarı (tC/ha/yıl), Diğer = hesaplanması durumunda katı atık depolama ve diğer yollarla tutulan ilave karbon miktarı.

Bu şekilde ayrıntılı olarak hesaplanacak karbon dengesi uzun vadeli kestirim yoluyla da zamansal değişimi de izlenebilecektir. Zaten karbon miktarı ya da dengesinin doğru tahmini ancak uzun vadeli planlama sonucu ortaya çıkacaktır. Çünkü hem karbon kazanımı ve hem de kaybı zamana bağlı süreç olup ekosistemlerdeki zamanla oluşan biyokütle artımı ile ayrışması karbon dengesini etkileyene iki önemli süreçtir. Dolayısıyla, bu şekilde karbon dengesinin ayrıntılı hesaplanmasıyla birlikte, öne çıkan birçok planlama parametreleri ile karbon dengesini ilişkilendirerek bu süreçteki etkili faktörler istatistiki olarak da belirlenebilir. Örneğin, Pukkala (2014) ormandan üretilen ürün miktarı ile ormandaki biyokütle artımının karbon dengesini etkileyen en önemli iki parametre olduğu ve dikili gövde hacmi ile kereste miktarının pek etkili olmadığını göstermiştir ($R^2=0.827$ ve $RMSE=0.19$ Mg/ha). Ancak, karbon hesaplamaların ekosistem yapısı, üretim politikaları, planlama stratejileri ve kullanıcı davranışlarına göre değiştiği gerçeği de dikkatten kaçmamalıdır.

3. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Karbon havuzlarının belirlenmesi ve net karbon kazanımının/miktarının doğru ve ayrıntılı olarak hesaplanması iklim değişikliği ile mücadelede ve çok amaçlı planlamada öne çıkan önemli planlama bileşenlerindedir. Ancak, atmosferdeki karbon dengesinin orman ekosistemleri ile ilgili bileşenleri itibarıyla bir hayli farklı olması, zamana göre değişmesi, dinamik yapıda olması, oduna dayalı ürünlerin kullanım alanlarının farklı olması ve enerji kullanımı ile bağlantılı olması teknik anlamda planlamayı sosyal anlamda da toplumsal farkındalığı etkilemektedir. Ekosistem tabanlı planlamada; planlama yaklaşımı, orman fonksiyonları ve işletme amaçları, idare süreleri, müdahale türü ve yoğunluğu gibi teknik faaliyetler karbon dengesini doğrudan etkilemektedir. Öte yandan, oduna dayalı ürünlerin kullanım süreci ile etkin atık yönetimi de yine karbonun ekosistemler dışındaki dinamiğini etkilemektedir. Dolayısıyla, karbonun bütünsel anlamda etkin yönetimi için öncelikle karbon havuzlarının/bileşenlerinin etkin olarak belirlenmesi ve hesaplamasının da bu bağlamda daha doğru yapılması gerekmektedir.

Karbon tutulumunun hesaplanmasında kısıtlı bileşenlerin kullanılması ve uzun vadeli kestirimin olmadığı geleneksel planlama süreci, gerek ormancılık politikalarının belirlenmesi ve gerekse etkin planlama ve işletmecilik için önemli bir risk ve belirsizlik alanı oluşturmaktadır. Pukkala (2014) yaptığı çalışmada üretimin olmadığı kısa vadeli planlama stratejisinin daha yüksek karbon tutma kabiliyetini göstermekle beraber, uzun vadeli (en az 100 yıl) kestirimlerde üretim faaliyetlerinin daha etkin karbon dengesi sağladığını göstermiştir. Ayrıca, özellikle odun ürünlerinde tutulan karbon hesaplamalarda dikkate alındığından dolayı, örneğin, yüksek aralama ve devamlı orman yaklaşımının toplam karbon dengesine kısa sürede önemli pozitif etkileri olduğu görülmüştür. Bu ve benzer ormancılık politika ve planlama stratejilerinin isabetli belirlenmesi, etkinliğinin uzun vadede ortaya konulması, mübadele analizin yapılması, orman dinamiğinin doğru kavranarak sebep-sonuç ilişkilerinin ortaya konulması ve etkin kararların verilmesi için karbon havuzlarının daha isabetli tahmin edilmesi gerekmektedir. Bu şekilde yapılacak ayrıntılı bir karbon hesaplamasıyla ancak iklim değişikliği

ile mücadele etkili olabilecek, ulusal ve uluslararası karbon kredi anlaşmaları için etkin politikalar geliştirilebilecektir.

KAYNAKLAR

- Baskent, E.Z and Kucuker, D.M. 2010. Incorporating water production and carbon sequestration into forest management planning: a case study in Yalnizcam planning unit, | Forest Systems, 19 (1):98-111
- Başkent, E.Z. 2020. A Framework for Characterizing and Regulating Ecosystem Services in a Management Planning Context, *Forests* 2020, 11(1), 102; <https://doi.org/10.3390/f11010102>
- Başkent, E.Z., Başkaya, Ş. and Terzioğlu, S. 2008. Developing and implementing participatory and ecosystem based multiple use forest management planning approach (ETÇAP): Yalnızçam case study, *Forest Ecology and Management* 256: 798–807
- Bettinger, P. and Chung, W. 2004. The key literature of and trends in forest-level management planning in North America, 1950–2001. *International Forestry Review* 6(1): 40–50
- Black, K., Hendrick, E., Gallagher., G., Farrington, P. 2012. Establishment of Irelands projected reference level for Forest Management for the period 2013-2020 under Article 3.4 of the Kyoto Protocol. *Irish Forestry* 69: 7-3.
- Bond-Lamberty B. and Gover, S. 2008. Decomposition and Fragmentation of Coarse Woody Debris: Re-visiting a Boreal Black Spruce. *Chronosequence Ecosystems*, 11: 831–840
- Canals Revilla, G.G., Gutierrez del Olmo, E.V., Martin, J. and Gonzalez R. 2014 - Carbon storage in HWPS. Accounting for Spanish particleboard and fiberboard. *Forest Systems*, 23(2): 225-235.
- Crosby, CAF, Christopher, F., Hofmann, C., Horvitz,E., May, E. and Vara, R. 2010. Carbon Sequestration and its Relationship to Forest Management and Biomass Harvesting in Vermont. *Environmental Studies Senior Seminar, Middlebury College Winter 2010*
- Desai, A.R., Bolstad, P.V., Cook, B.D., Davis, K.J. and Carey, E.V. 2005. Comparing net ecosystem exchange of carbon dioxide between old growth and mature forest in upper Midwest, USA. *Agr. For. Meteorol.* 128, 33–55.
- EPA, 2015. Inventory of US Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1009-2013. EPA 430-R-15-004. Washington, D.C. Office of Atmospheric Programs. 564p. <http://www.epa.gov/climatechange/ghgemissions/usinventoryreport.html>
- Hillier B. and Murphy R., 2000 - Life cycle assessment of forest products - a good story to tell. *Journal of the Institute of Wood Science*, 15 (4): 221-232.
- Hofer P., Taverna R., Werner F., Kaufmann E., Thürig E. 2007. The CO2 effects of the Swiss forestry and timber industry: scenario of future potential for climate-change mitigation. *Environmental studies no. 0739. Federal Office for the Environment: Bern*, 102 p.
- IPCC, 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared to National Greenhouse Gas Inventories Programme (H.S. Eggleston vd., editors). Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Hayama, Japan.
- Jandl, R. et al., 2007. How strongly can forest management influence soil carbon sequestration? *Geoderma*, 137, 253–268.
- Kucuker, D.M., 2019 Analyzing the effects of various forest management strategies and carbon prices on carbon dynamics in western Turkey, *Journal of Environmental Management*, 249, No: 109356, DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.109356
- Kucuker, DM. and Tuyoglu, O. 2020. Spatiotemporal patterns and driving factors of carbon dynamics in forest ecosystems: A case study from Turkey. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 18(1): 209-223

- Liski, J., Pussinen, A., Pingoud, K., Mäkipää, R. and Karjalainen, T. 2001 Which rotation length is favourable to carbon sequestration? *Can. J. For. Res.* 31, 2004–2013.
- Liski, J., Lehtonen, A., Palosuo, T., Peltoniemi, M., Eggers, T., Muukkonen, P., Makipaa, R. 2006. Carbon accumulation in Finland's forests 1922-2004 - an estimate obtained by combination of forest inventory data with modelling of biomass, litter and soil. *ANNALS OF FOREST SCIENCE*, 63 (7): pp.687-697
- Masera, O.R., Garza-Caligaris, J.F., Kanninen, M., Karjalainen, T., Liski, J., Nabuurs, G.J., Pussinen, A., de Jong, B.H.J., and Mohren, G.M.J. 2003. Modeling carbon sequestration in afforestation, agroforestry and forest management projects: the CO2FIX V.2 approach. *Ecological Modelling* 164: 177 – 199.
- Olajuyigbe et al., 2011. Stocks and decay dynamics of above- and belowground coarse woody debris in managed Sitka spruce forests in Ireland. *Forest Ecology and Management*, 262:1109-1118
- Pan, Y., Birdsey, R.A., Fang J., Houghton, R., Kauppi, P.E., Kurz, W.A., Phillips, O.L., Shvidenko, A., Lewis, S.L., Canadell, J.G., Ciais, P., Jackson, R.B., Pacala S., McGuire, A.D., Piao, S., Rautiainen, A., Sitch, S. and Hayes, D. 2011 - A large and persistent carbon sink in the world's Forests. *Science*, 333 (6045): 988-993
- Perone, A., Di Benedetto, S., Vizzarri, M. and Lasserre, B., 2015 - Carbon stock in wood products: implications for carbon accounting at national and local scale in Italy. *L'Italia Forestale e Montana*, 70 (4): 257-272.
- Perugini, L., Vespertino, D. and Valentini, R. 2012. Conferenza di Durban sul clima: nuove prospettive per il mondo forestale. *Forest*, 9 (1): 1-7
- Petersen, A.K. and B. Solberg, 2005. Environmental and economic impacts of substitution between wood products and alternative materials: a review of micro-level analyses from Norway and Sweden. *Forest Policy and Economics* 7: 249-259
- Pilli, R., Fiorense, G. and Grassi, G. 2015. EU mitigation potential of harvested wood products. *Carbon Balance Manag.* 10, 6.
- Pingoud, K. and Wagner, F. 2006. Methane emissions from landfills and carbon dynamics of harvested wood Products: The first-order decay revisited. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 11(5): 961-978.
- Pukkala, T. 2004 Dealing with ecological objectives in the MONSU planning system. *Silva Lusit.*, 1–15(Special issue).
- Pukkala, T. 2014 Does biofuel harvesting and continuous cover management increase carbon sequestration?. *For. Policy Econ.* 43, 41
- Pukkala, T. 2016. Does management improve the carbon balance of forestry? *Forestry*. 90. 10.1093.
- Sathre, R., and J. O'Connor. 2010A. A Synthesis of Research on Wood Products and Greenhouse Gas Impacts (2nd Edition). Vancouver, B.C. FPInnovations. 117p. (Technical Report No. TR-19R)
- Sathre, R., and J. O'Connor. 2010B. Meta-analysis of greenhouse gas displacement factors of wood product substitution. *Environmental Science & Policy* 13: 104–114.
- TAGEM, 2018. Soil Organic Carbon Maps in Konya Closed Basin, Ministry of Food, Agriculture and Livestock, Ankara.
- Tolunay, D., Çömez, A. 2008. Amount of Organic Carbon Stored in Forest Floor and Soil in Turkey, *Hava Kirliliği ve Kontrolü Ulusal Sempozyumu*, 22-25 Ekim 2008, Hatay, 750-765.
- Tonosaki M., 2009 - Harvested wood products accounting in the post Kyoto commitment period. *J. Wood Science*, 55 (6): 390-39

- Tsunetsugu, Y. and Tonosaki, M. (2010) Quantitative estimation of carbon removal effects due to wood utilization up to 2050 in Japan: Effects from carbon storage and substitution of fossil fuels by harvested wood products. *Journal of Wood Science* 56(4): 339-344
- UNECE/FAO, 2008 - Workshop on Harvested Wood Products in the Context of Climate Change Policies. Chair's conclusions and recommendations.
- Gelman, V, Hulkkonen, V., Kantola, R., Nousiainen, M., Nousiainen, V. and Poku-Marboah, M. 2013. Impacts of forest management practices on forest carbon. In HENVI Workshop, Interdisciplinary approach to forests and climate change Helsinki University Centre for Environment, HENVI University of Helsinki, 08.04.2013.
- Wihersaari, M. 2005. Greenhouse gas emissions from final harvest fuel chip production in Finland. *Biomass Bioenergy*, 28, 435–443.