



Review

INTEGRATING CARBON SEQUESTRATION INTO FOREST MANAGEMENT PLANNING

Emin Zeki BAŞKENT^{1,*} 

¹ Karadeniz Technical University, Faculty of Forestry, Department of Forest Engineering, Trabzon, Türkiye

* Correspondence: eminzekibaskent@gmail.com

Received: 18 February 2022; Accepted: 23 July 2022; Published: 31 December 2022

ORCID: 0000-0003-2053-0298

Citation: Başkent, E.Z. (2022), Karbon tutulumunun orman amenajman planlarına entegrasyonu. *ArtGRID*, 4(2), 324-342

Abstract

Managing the forests for multiple uses based on ecosystem approach is a fundamental target of sustainable management. Projection of stand development over time, establishing the functional relationships between stand structure and forest values and the use of decision support systems in planning are all imperative to accomplish the objective. Carbon management as part of the global climate change programme and among the forest management policies is closely associated with the protection of forests, enlargement of forest areas and delay of carbon emission back to the atmosphere. Forest management plans are vital mechanism in measuring the amount of carbon, accumulation and regulation of carbon change and even controlling consumer behaviors in using forest resources. Increasing carbon sequestration potential of forest ecosystems in addition to the conventional forest management objectives can be realized through developing carbon-based forest management planning approaches. This paper touches upon the possible management strategies related to the carbon sequestration capacity of forests within forest management planning. This paper concludes that silvicultural actions need to be implemented in right time according to the site conditions, stand stability must be improved against and insect, fire and other natural disturbances, rotation periods and forest stratification should be carefully determined and thus the management plans need to be prepared with decision support systems.

Keywords: Forest management, carbon management, multiple use planning

*Derleme***KARBON TUTULUMUNUN ORMAN AMENAJMAN PLANLARINA ENTEGRASYONU****Özet**

Ormanların katılımcı yaklaşımla ekosistem tabanlı ve çok amaçlı planlanması sürdürülebilir ormancılığın temel hedefidir. Bu hedefe ulaşmak; meşcere gelişimlerinin kestirilmesi, işletme amaçları ile orman yapıları arasında fonksiyonel ilişkilerin kurulması ve planlamanın karar destek sistemleriyle düzenlenmesiyle ancak mümkündür. Planlama hedefleri arasında yer alan ve küresel iklim değişikliği ile gündeme gelen karbon yönetimi, büyük ölçüde ormanların geliştirilmesi, korunması ve atmosfere salınan karbonun azaltılması ve geciktirilmesine bağlıdır. Orman amenajman planları, karbon miktarının hesaplanması, tutulumun artırılması, düzeninin sağlanması ve sürdürülebilir planlama esaslarıyla birlikte tüketici davranışlarının düzenlenmesini dahi içeren bir dizi konuları da kapsar hale gelmektedir. Geleneksel işletme amaçları ve koruma hedeflerinin yanı sıra, son dönemlerde karbon tutulumunun artırılması da planlamada dikkate alınacak hedefler arasında yer almaya başlamıştır. Bu eserde, amenajman planlarının hazırlanmasında karbon artırımına yönelik planlama parametreleri ile karbon dinamikleri arasındaki ilişkiler ile karbon odaklı planlama stratejilerine yer verilmiştir. Sonuçta; meşcere silvikültürel bakımlarının yetişme ortamı koşullarına göre zamanında yapılması, yangın, böcek ve mantar gibi doğal olaylara karşı meşcere dayanaklıklarının artırılması ve koruyucu tedbirlerin alınması, idare sürelerinin ve orman fonksiyonlarının isabetli belirlenmesi ve nihayetinde sürdürülebilir planlamanın karar verme teknikleriyle kararlaştırılması, karbon tutulumunun orman amenajman planlarına yansıtılmasında dikkate alınması gerekli öncelikli unsurlar olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Orman amenajmanı, Karbon yönetimi, Çok amaçlı planlama

1. GİRİŞ

Küresel iklim değişikliğinin nedeni olarak görülen sanayileşme, nüfus artışı ve buna bağlı olarak da artan enerji taleplerinin karşılanması, yenilenebilir temiz enerji kaynaklarının kullanımına yönelimi artırmıştır. Orman ekosistemleri küresel iklim değişikliği ve bu bağlamda atmosferdeki karbon değişiminin önemli bileşenidirler. Bilindiği gibi, ormanlar potansiyel olarak net karbon yutağı (sink) olduklarından karbonu tutulumunu sağlayarak iklim değişikliğinin etkisini azaltmada önemli rol oynarlar. Karasal ekosistemdeki organik karbonun yaklaşık %76-78'ini tutma kapasitesine sahip orman ekosistemleri en önemli karbon havuzu onumundadır (Buringh vd., 1984; Birdsey, R.A. 1992, Hashimoto vd., 2000; Haripriya vd., 2002). Atmosferdeki yıllık karbon salınımının 7 katı kadar miktarını dönüştüren ormanlar, sadece Avrupa'da toplam karbon salınımının %7-12 ini yakalamaktadır (Jandl vd., 2007). Burada biyokütle ve toprak, ölü örtünün yanı sıra, karbonun depolandığı iki önemli bileşendir. Pan vd., (2011) dünya ormanlarının biriktirdiği toplam karbon stokunun 861 Pg C olduğu ve yıllık brüt karbon miktarının da 2.4 Pg C/yıl (net 1.1 Pg C/yıl) olduğunu ifade etmiştir. Öte yandan, fosil yakıtlardan ve endüstriyel süreçlerden ortaya çıkan yıllık salınım (emission) miktarı ise 9.7 Pg C/yıl civarındadır. Ülkemizde 2019 Eylül itibarıyla, karbon salınımının yaklaşık %55'i fosil kaynaklardan elde edilen enerji kaynaklarından ve geri kalan %45'i ise yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilmektedir. Burada ormanların toplam karbon salınımının önemli bir kısmını (yaklaşık %11) telafi ettiği açık olarak görülmektedir. Yıllık

karbon depolama miktarını ya da potansiyelini artırmak için, iklim değişikliği ile mücadele ve küresel karbon dengesi bakımından orman ekosisteminin korunması ve sürdürülebilir kullanımı önem arz etmektedir (Ruiz-Peinado vd., 2017). Bu bağlamda, örneğin, Paris Anlaşması'nı takiben Avrupa Birliği (AB) 1990'lı seviyelere kıyasla sera gazı salınımlarında 2030 yılına dek %40'a kadar indirim kararı aldığı ve bunun da %25'lik kısmının arazi kullanım değişikliği ve ormancılık sektöründen gelmesi beklendiği vurgulanmıştır (Grassi vd., 2017). Buradan hareketle, ülkemiz de 2021 yılı sonu itibarıyla Paris İklim Anlaşması'nı kabul etmiş ve ülke yasalarına koymuştur. Bu girişimlerin iklim değişikliği mücadelesini etkileyip-etkilemediği şüpheleri bir tarafa, planlama ve ormancılıkla ilgili kararları ve dolayısıyla ormancılık sektörünü etkilediği anlaşılmaktadır.

Özellikle, orman kaynaklarının yönetiminde doğrudan ya da dolaylı olarak söz sahibi olan paydaşlar (politikacılar, yöneticiler, vb.) ormanların verim gününü artırıcı ve daha iyi/akıllı odun ürünleri üretebilecek (inşaat malzemesi veya diğer ikame materyaller) politikalar geliştirmek durumundadırlar. Öte yandan, ormanların bozulmasını ve azalmasını önleyici koruma tedbirlerinin alınması teşvik edilmelidir. Çünkü FAO (2015) dünya ormanlarının azaldığını ve bu azalma miktarının son 25 yıllık bir sürede 129 milyon ha (ortalama %3,1, yılda ise yaklaşık %0,13) gibi önemli bir rakama ulaştığını bildirmektedir. FAO'nun 2020 güncel verilerine göre orman alanların küresel bazda azalma hızının ağaçlandırma ve doğal ormanlaşma nedenleriyle birlikte azaldığı gözlemlense de, yine kayıp miktarı (1990-2020 arasında 176 milyon ha, %0,12) önemini korumaktadır (FAO, 2020). Buna rağmen aynı kaynak, hem dünya odun talebinin ve hem de odun üretim miktarının attığını göstermektedir. Örneğin, 2010-14 yılları arasındaki yıllık odun üretimi 3,5 milyar m³ ten 3,7 milyar m³ e (FAO, 2016), 2014-18 yılları arasındaki üretim ise 3,7 milyar m³ ten 3,9 milyar m³ e çıkmıştır (FAO, 2018). Bu sayısal gerçeklerin sürdürülebilir ormancılık için önemli göstergeler olduğu ve aynı zamanda da küresel iklim değişikliğine uyum (adaptation) ve iklim değişiminin azaltımı (mitigation) stratejilerinin temel ormancılık politikaları ya da amaçları arasında yer alabileceğinin ya da alması gerektiğinin işaretini vermektedir.

Uyum stratejilerinin yanı sıra, iklim değişikliğinin etkilerini azaltmaya yönelik temel ormancılık stratejileri şöyle sıralanabilir. Planlamadaki silvikültürel müdahalelerle ormandaki karbon yoğunluğunu koruma ve artırma, yangın riskini azaltmada ve uzun vadeli karbon birikimini sağlamada ve böylece iklim değişikliğinin etkisini azaltmada kullanılacak önemli araçlardır. Orman alanlarının mevcut durumunun korunması, ağaçlandırma ve rehabilitasyonla artırılması, orman bozulmalarının önlenmesi, azaltılmış etkili üretim teknikleri ve daha önemlisi ormanların doğal ekolojik koşullarına uygun sürdürülebilir yönetimi; atmosferdeki karbon (C) depolama kapasitesini artırma ve dolayısıyla karbondioksit (CO₂) konsantrasyonlarını azaltmada etkili araçlar olduğu bilinmektedir (Kurz vd., 1993; Krankina vd., 1996; Brown 2002; Küçüker, 2019). Ayrıca, yüksek üretim maliyetli ürünlere alternatif olarak orman ürünlerinin kullanımının teşvik edilmesi ve fosil yakıtlar yerine biyo-enerji kullanımının artırılması da önemli tedbirler arasında yer almaktadır (Canadell ve Raupach, 2008, Bravo vd., 2008).

Genel olarak değerlendirildiğinde, yetişme ortamı, orman yapısı ve gelişme çağları gibi faktöre bağlı olarak koruma ormanlarının işletme ormanlarına göre daha fazla karbon tutabileceği gözlemlenmiştir (Luyssaert vd., 2008; Stephenson vd., 2014). Bu görüşe göre de, doğal yaşlı ormanların çok miktarda havadaki karbonu biyokütle ve toprakta tutabildiklerinden hareketle, bu ormanlara dokunulmadan bırakılması önerilmektedir. Ancak, bu görüş karbon tutulumunun sadece tek bir amaç olduğu durumda geçerlidir ki, birtakım dezavantajlarını da beraberinde getirmektedir. Yaşın artmasıyla birlikte tutulan karbonun belirli bir yaşa kadar artış

göstermesine rağmen daha ileriki yaşlarda azaldığı da bilinmektedir (Küçüker ve Başkent 2015). Bu ormanlar başta toplumun odun üretimi talebine cevap verememekte, bu ormanlardaki doğal ölüm süreçleri artımla olan dengeyi azaltmakta veya sıfırlamaktadır. Bilindiği gibi, ekosistem tabanlı ve çok amaçlı planlamada hedef sadece karbon tutulumu olmayıp, ormanlardan ekolojik, ekonomik ve sosyo-kültürel diğer ürün ve hizmetlerin de elde edilmesidir (Başkent vd..2008). Burada baskın olan görüş ise; karbon tutulumu itibarıyla işletme ormanlarının potansiyel olarak daha fazla artım ve buna rağmen daha düşük ölüm oranına sahip olması, daha iyi odun ve odun dışı orman ürünleri (ODOÜ) hizmeti sunması, orman sağlığının gelişmiş olması veya daha düşük yangın riskinin olması nedeniyle ekstrem iklim koşullarına karşı daha az duyarlı olması gibi bir çok fayda sağlayacak olmasıdır (Ruiz-Peinado vd., 2017). Buradan hareketle, ekosistem tabanlı ve çok amaçlı sürdürülebilir bir planlama yaklaşımının küresel değişimleri en iyi bir şekilde dikkate alabildiğinden uygun bir planlama yaklaşımı olduğu görülmektedir.

Planlamanın karbon stoku üzerine etkisi; üretim, tür seçimi, aralama ve gençleştirme gibi faaliyetlerin sonucu olarak sıklığın azaltılması nedeniyle daha çok canlı biyokütle üzerinde görülür. Sıklığın düşürülmesi kesim sonrası ekosisteme girdiyi azaltarak ölü örtü miktarını etkilemektedir (Jiménez ve Navarro, 2016; Küçüker, 2019). Meşcereler silvikültürel müdahaleler ile açıldığından, daha fazla ısı ve ışığın meşcereye girmesi sağlanır ve humusun ayrışma oranı da önemli ölçüde etkilenebilmektedir. Karbon tahmininin geliştirilmesi ve planlamadaki etkilerinin kavranması ciddi bir araştırma konusu olmakla birlikte, karbon tutulumunun diğer işletme amaçları arasında yer alması gerektiği daha da belirginleşmektedir. Ormancılıkta karbon tutulumuna yönelik bu tür mekanizmaların kurulmasında esas olan orman ekosistemlerinin verimliliği ile karbon tutulum miktarının doğrudan ilişkili olmasıdır. Buradan hareketle, orman ekosistemlerinden sürdürülebilir tabanlı optimal faydalanmayı düzenleyen orman amenajman planlarının, karasal karbon döngüsünün değişimini düzenleyen önemli bir araç olduğu görülmektedir.

Dünya ormancılık sektöründeki planlama yaklaşımları incelendiğinde, Rio zirvesinde sonra ülkelerin artık sürdürülebilir orman planlama ve işletmeciliğine (yönetim) yöneldiği görülmektedir. Bu değişim sürecinde, genellikle Kuzey Amerika ülkelerinin ekosistem tabanlı çok amaçlı entegre planlamayı hedef alırken, Avrupa ülkelerinin daha çok doğaya yakın ya da uyumlu ormancılık felsefesini benimsemiş olduğu görülür. Son dönemlerde ise, ormancılık sektöründe gelişmiş ülkeler daha çok iklim değişikliği ile uyumlu çok amaçlı planlamayı katılımcı yaklaşımla düzenlemeye başlamışlardır. Planlamadaki bu anlayışı işlevsel hale getirmenin birincil koşulu, orman ekosistem envanterinin bilgi teknolojileri ile birlikte yapılmaya başlanmasıdır. Elde edilen konumsal verilerin (harita ve öznitelik) veri tabanlarına aktararak bir bilgi sistemi ile yönetiliyor olması veriye ulaşımı kolaylaştırmakta, veri güvenliğini sağlamakta, kullanım kolaylığı getirmekte ve verilerin bütünsel olarak etkin kullanımını artırarak nitelikli plan kararlarının alınmasını sağlamaktadır. Bu süreçte, işletme amaçları ve koruma hedeflerinin miktar ve bunların ekonomik değerleri olarak belirlenmesi ve karar destek sistemleri (KDS) ile eniyilenmesi önemli bir gelişmedir. Planlamanın motoru olarak hasılat tabloları ile birlikte dinamik büyüme modellerinin geliştirilip, kullanılıyor olmaları da başka bir önemli gelişmedir. Bu büyüme modelleri her bir meşcerenin mevcut durumunu zamana bağlı olarak kestirmekte ve silvikültürel müdahalelerin etkisini tahmin edebilmektedir. Diğer bir önemli gelişme ise, ormanların toprak koruma, su üretimi, biyoçeşitlilik koruma, ODOÜ üretimi, ekoturizm ve karbon tutulum değerlerinin farklı yöntemlerle ölçülmesi, ayırımların yapılması ve orman formu ve meşcere yapılarıyla ilişkilendirilmesidir. Bu sayede, amaç-fonksiyon ilişkileri kurulmakta ve farklı planlama stratejilerinin orman ekosistemine ve planlamaya etkileri kimi performans göstergeleri ile

ölçülerek en uygun planlama stratejisi belirlenebilmektedir (Backéus vd., 2005, Keleş ve Başkent, 2006, Bravo vd., 2008; Küçükler ve Başkent, 2015).

Planlamadaki bu hızlı ve kapsamlı değişimde karbon birikiminin planlara entegrasyonu da yer almaktadır. Dolayısıyla bu eserde, iklim değişikliği ile uyumlu ve karbon tutulumuna odaklı orman amenajman planlama sürecinin temel bileşenleri ve içeriği ele alınmış olup, karbon odaklı planlama yaklaşımının nasıl olabileceği üzerine değerlendirmeler yapılmıştır.

2. ORMANLARIN PLANLANMASINDA KARBON BİRİKİMİNİN YERİ

Küresel karbon döngüsünde ormancılık sektörünün katkısı dikkate alındığında, en kolay ve ucuz karbon tutulumunun yolunun orman ekosistemlerinin yönetiminden geçmekte olduğu görülür. Bilindiği gibi atmosferdeki karbon salınımının kaynağı sırasıyla petrol, kömür, ormansızlaşma ve doğal gaz kullanımı olarak sıralanmaktadır (IPCC, 2006, Asan vd., 2002). Bunlardan ormansızlaşma ve mevcut ormanların bozulması, kısaca yetişme ortamı faktörlerinden tam olarak yararlanılamaması, küresel karbon değişimini olumsuz etkileyen yegane faktörlerdendir. Ormansızlaşma süreci küresel karbon salınımının yaklaşık üçte birini oluşturmaktadır (Brown vd., 1996). Ormanlar karasal ekosistemlerdeki karbon birikiminin yaklaşık %46'sını oluştururken, bitki örtüsü tarafından tutulan karbonun da yaklaşık %75'i orman ekosistemlerinde depolanmaktadır. Bu derece öneme sahip orman ekosistemleri en kolay ve ucuz karbon depolama mekanizması olarak yer alır. Dolayısıyla orman ekosistemlerinden faydalanma planlanırken, yani amenajman planları yapılırken, sadece belirli miktarlarda orman ürünlerinin elde edilmesi değil aynı zamanda ormanların sunduğu su üretimi, biyoçeşitlilik koruma ve karbon depolama gibi çeşitli hizmetlerin de bütüncül olarak sağlanmasını hedeflenir.

Orman ekosistemleri karbon birikimine üç farklı şekilde katkı sağlar (Brown vd., 1996; Asan vd., 2002; IPCC 2006):

1. Karbon havuzlarının genişletilmesi: Boş ve açıklık alanların ağaçlandırılması, boşluklukapalı alanların rehabilitasyonu, tarımsal ormancılık sistemlerinin geliştirilmesi ve kent ormanları gibi rekreasyon ormanlarının kurulması doğrudan karbon havuzlarının genişletilmesini sağlar. Bu yöntem, karbon miktarının artırılmasında birincil faktör olarak yer almaktadır.
2. Mevcut karbon havuzlarının korunması: Yangın, böcek, kaçak kesim, mantar vb. zararlarına karşı ormanların korunması ve uygun silvikültürel işlemler ile sürdürülebilir ormancılık anlayışına göre orman ekosistemlerinin yönetilmesiyle birlikte mevcut karbon havuzları korunur. Bu yaklaşım ile orman ekosistemlerinin mevcut karbon tutma kapasitesinin korunması sağlanır.
3. Depolanan karbonun atmosfere geri dönüşümünün geciktirilmesi: Üretim yahut diğer yollarla ormandan çıkarılan odun vb. ürünlerin kullanım şekillerinin düzenlenmesi ve sürelerinin uzatılmasıyla birlikte depolanan karbonun tekrar atmosfere geri salınımı geciktirilerek karbon tutulumuna pozitif katkı sağlanır. Karbon dengesinde önemli olan bu ikincil unsur, tutulan karbonun atmosfere salınma süresinin olabildiğince uzun tutularak geciktirilmesidir.

Bu genel politikardan hareketle, iklim değişikliği ile uyumlu ve karbon tutulumuna odaklı düzenlemelerin farklı ülkelerde nasıl geliştirildiği ve planlara nasıl yansıtılmaya çalışıldığı incelenmiştir. İklim değişikliği ile mücadelede karbon tutulumunu hedefleyen birtakım genel politikaların farklı ülkeler tarafından geliştirildiği ve uygulamaya aktarılmaya başlandığını görmek mümkündür (Spittlehouse, 2005). Fransa son zamanlarda inşaat sektöründe kullanılan

yapı malzemelerin %15'inin ahşap malzeme olması gerektiğini yasal zemine oturtmuştur. Yapılan bilimsel araştırmalara göre, mevcut inşaat ve bina yapımında kullanılan diğer malzemelerin %40 oranında sera gazına etkisi olduğu bilinmektedir. Almanya'da ise ülke genelinde belirlediği politikalara göre, 2050 de ülke ormanlarının karbon yutağı haline gelmesi için iklim değişikliğine uyumlu ormanların oluşturulması zorunlu tutularak hükümetçe ayrıca desteklenmektedir. Finlandiya'nın temel politikası ise, ormanların sürdürülebilir kullanımıyla karbon tutulumunun daha iyi sağlanması ve yapı sektöründe ahşap kullanımına ağırlık verilmesidir (Valeria vd., 2013). İsveç, düzenli silvikültürel tedbirler ile karbon tutulumunu artırmayı hedeflemektedir. İngiltere ise Londra metropolünde araçlarda düşük salınım bölge standardı uygulamasının uzun zamandan beri başlatmış olup uymayan araçlara önemi miktarlarda para cezası yaptırımını uygulamaktadır. Bu tür uygulamaları Almanya gibi bazı Avrupa ülkeleri de takip etmiştir. Ülkemizde ise, hazırlanan güncel kalkınma planlarında yeşil bina kavramı getirilmiş olup düşük enerji kullanımları teşvik edilmekte, yenilenebilir enerji yatırımlarına ağırlık verilmekte ve devlet tarafından desteklenmektedir (Anonim 2004).

3. SİLVİKÜLTÜREL MÜDAHALELER VE PLANLAMA ÖGELERİ İLE KARBON TUTULUMU İLİŞKİLERİ

Silvikültürel müdahaleler, ormanların aynı yaşlı maktalı bir yapıdan değişik yaşlı düşey kapalı seçme ormanlarına kadar farklı orman kuruluşlarının oluşturulmasında etkin araçlardır. Planlamada, biyolojik ve ekolojik açıdan uygun olması koşuluyla, genellikle ekonomik hedeflerin ağırlıkta olması durumunda aynı yaşlı, diğer işletme amaçların da planlamaya dâhil edilmesiyle seçme orman kuruluşu oluşturulmaya çalışılır (Pukkala, 2016). Seçme ormanları karbon tutulumu açısından daha uygun bir alternatif oluşturabileceği ve böylece planlamada dikkate alınabileceği görüşü ağırlıktadır. Bu ormanların karbon tutulumu açısından avantajı, kapalılık ve sürekli ölü örtü girişinin olması ve böylece toprak ve havzaların sürekli korunmasıdır. Aynı yaşlı ormanlarda ise, bunun aksine, kısa süreli karbon kaybına daha doğrusu transferine neden olacak toprak örtüsün (örn., yaşlı meşcerelerin) periyodik olarak geniş blok gençleştirme alanları şeklinde kaldırılmasıdır. Bazı araştırmalara göre, uzun vadeli planlama modelleriyle yapılan kestirimlerde, seçme ormanlarının aynı yaşlı ormanlara göre daha fazla karbon tutabileceği gösterilmiştir (Taylor vd., 2008; Nunery ve Keeton 2010; Pukkala vd., 2014; Puhlick vd., 2016; Jonard vd 2017). Bu genel sonuçların yanı sıra, seçme ormanların daha karmaşık bir yapı sunmasıyla birlikte orman yangınlarına karşı, aynı yaşlı ormanlara göre, daha hassas olduğu da vurgulanmaktadır (Gonzalez vd., 2008). Buna karşın, Pinus teade ile Pinus echinata'nın ağırlıkta olduğu ormanlarda yapılan bir çalışmaya göre, aynı yaşlı maktalı ormanlar seçme ormanlara göre yaklaşık hektarda iki katı daha fazla, ancak daha düzensiz biyokütle üretirken, seçme ormanlar daha kaliteli ve düzenli karbon birikimine katkı sağladıkları görülmüştür (Bragg ve Guldin, 2010). 25 yıllık idare süreli plantasyon ve 50 yıllık idare süreli doğal gençleştirme ile gelen ormanlarda gerçekleştirilen bu model çalışmada elde edilen sonuçlarının seçme ormanları ile birebir karşılaştırılması elbette kolay değildir. Tüm çalışmaların ortak sonucu olarak; seçme ormanlarının daha düzenli ve stabil karbon birikimin sağladığı, ancak birim alandaki biyokütle ya da karbon biriktirme performansı açısından da farklılıkların olduğunun gözlemlenmesidir. Buna göre, orman yapı ve kuruluşu oluşturulurken, ekolojik ve biyolojik kanuniyetlere uyum dikkate alınmak kaydı ile, işletme amacı ve koruma hedefini eniyileyen planlama seçeneğinin uzun vadeli kestirimlerin sonuçlarına (modellemeler) göre düşünülmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır.

Baltalık ormanlarında ise durum biraz daha farklılık göstermektedir. Baltalık işletmeciliği geçmişte kaldırılmış olmasına rağmen, günümüzde yakacak üretiminden elde edilen gelirin artması ve fosil yakıtlardan salınan karbon salınımının azaltımındaki rolü nedeniyle teşvik

edilen biyoenerji üretimine katkı sağladığı için tekrar gündeme gelmiştir. Ancak, baltalık ormanların kalitesi ve üretim/planlama sistemlerinin geliştirilmesiyle birlikte karbon tutulumuna olan katkısı da artırılabilir. Ruiz-Peinado vd., (2017) Akdeniz bölgesinde baltalık ormanlarının düzensiz planlanması nedeniyle karşılaşılan orman ekosistemlerinin canlılık ve stabilite problemlerini şöyle sıralamaktadırlar: (i) mevcut ormanların yaşlarının idare süresinden daha uzun olması nedeniyle yaşlı ocaklar gençleştirme kapasitelerini kaybedebilmekte, (ii) tozlaşma ile oluşabilecek gençleştirme olasılığı düşüktür, (iii) meşcere sıklığı oldukça fazla ve şiddetli bir yarışmanın olması, meşcere canlılığının azalmasına, daha fazla biyokütle birikimi oluşmasına ve dolayısıyla da daha yüksek yangın riskinin oluşmasına neden olmaktadır. Bunun için, düzensiz yapıdaki bu baltalıkların koru ormanlarına ya da standart düzenli baltalıklara dönüşüm önerilmektedir. Buna göre, ülkemiz ormancılığında baltalık ormanların zamanla koru ormanlarına dönüştürülmesi politikasının yerinde olduğu, ancak dönüştürülmeyen alanların ise sürdürülebilir bazda düzenli işletimesin gerektiği ortaya çıkmaktadır. Bununla birlikte, baltalık ormanların korunması ve biyoenerji üretimi için yakacak odun üretimini de içeren ekosistem hizmetlerinin geliştirilmesi için uygun planlama ve üretim stratejilerinin geliştirilmesi önem arz etmektedir. Topraktaki karbon miktarı, yüksek karbon tutma potansiyeline sahip baltalık ormanlarının temel bileşenidir. Yapılan çalışmalara göre, orta düzey idare süreleri ile biyokütle üretimi amaçlı işletilen baltalıklar, fosil yakıtlarına dolayısıyla oluşacak karbon salınımına alternatif olarak kullanılan biyoenerji için gerekli hammaddeyi sağlarlar. Dolayısıyla, baltalık ormanlarının sürdürülebilir planlanması ve işletilmesi karbon dengesi açısından da önemli olduğu görülmektedir.

Tarımsal ormancılık uygulamaları da karbon tutulumuna pozitif katkı sağlamaktadır. Özellikle bu alanlarda ağaç ve çalı katmanlarının iyileştirilmesi topraktaki karbon tutulum potansiyelini artıracaktır (Howlett vd, 2011b). Dolayısıyla, ağaç katmanının uygun olduğu tarım arazilerinde mümkün olduğunca dikkate alınması, karbon tutulumu için azda olsa önemine atfen dikkate alınmalıdır.

Silvikültürel müdahalelerden özellikle aralama çalışmalarının karbon tutulumunu ilk bakışta, sıklığı ve ölü örtüyü azaltması nedeniyle olumsuz etkilediği görülebilir. Ancak, aralama çalışmaları sonucunda ortaya çıkan kesim artıkları orman zeminindeki ölü örtü miktarına önemli bir katkı sağlamaktadır. Ayrıca, üretilen odun ürünlerinin dışarıda tuttuğu karbon dikkate alındığında, aralama yapılmış meşcerelerdeki toplam karbon tutulumu, aralama yapılmayan meşcerelere göre aynı ya da daha fazladır (Ruiz-Peinado vd., 2017). Buna ortaya çıkan ekonomik fayda da eklendiğinde, aralamanın avantajı daha da belirginleşmektedir. Üstelik yoğun aralama sonucunda oluşan karbon stoğu daha ılımlı müdahaleler sonucundaki karbon miktarıyla benzer olduğu da yapılan çalışmalarla ortaya konulmuştur (Powers vd., 2011; Bravo-Oviedo vd., 2015). Bu durum daha esnek planlama stratejilerinin oluşturulmasına ve daha da önemlisi diğer işletme amaçlarına ağırlık verilebileceğini göstermektedir. Bu araştırmalar her ne kadar ılımlı müdahalelerin yoğun ya da müdahalesiz meşcerelere oranla daha fazla karbon stoğu oluştursa da, üretilen ürünlerin dışarıda tuttuğu karbon dahil edildiğinde işletilen meşcerelerin her zaman için daha yüksek miktarda karbon stoku oluşturduğu gözlemlenmiştir (Powers vd., 2011; Bravo-Oviedo vd., 2015). Yine de aralama çalışmalarının yangın riskini azaltması, olası artım durmalarının önüne geçmesi, su kıtlığı olan ekosistemlerde su dengesine yardımcı olması ve ara ürün üretimi oluşturması gibi faydalar dikkate alındığında karbon yönetiminde aralamanın iyi bir silvikültürel araç olduğu görülecektir.

İdare sürelerinin karbon tutulumunu etkilediği bilinmektedir. Yapılan çalışmalarda idare sürelerinin uzun ya da kısa tutulmasıyla ilgili genel kabul görmüş bir öneri olmasa da, planlama

biriminin aktüel yapısı, planlama politikaları, işletme amacı ve planlama parametrelerine göre idare sürelerinin karbon birikimini etkilediği görülmüştür (Liski vd., 2001; Küçüker ve Başkent, 2015; Başkent ve Küçüker, 2010; Küçüker, 2019). İdare sürelerinin uzatılmasının, genel olarak, hem biyokütle ve hem de toprak karbon birikimi için uygun bir planlama stratejisi olduğu ifade edilmektedir (Liski vd., 2001). Toprak karbonuna pozitif etki eden ölü örtü birikimi, normal idare sürelerinin ötesinde idare sürelerinin kullanılmasıyla daha da fazla olabileceği tahmin edilmektedir. Ayrıca, uzun idare süreleri sonucunda daha kalın gövdelerin üretilme potansiyeli olduğundan, daha uzun yaşam süresine sahip ürünlerde karbonun da daha uzun süreli depolanacağı akılda tutulmalıdır. Ancak, idare sürelerinin çok uzatılması ekosistemlerdeki net birincil üretim miktarının düşmesine, iç çürümesi ve ölüm oranının artmasına sebebiyet vereceğinden bu potansiyel avantajları perdelemektedir. Daha kısa ya da odun üretimi açısından optimale yakın idare süreleri ise biyokütle artımını eniyileme ve ilgili karbon tutulumunu eniyilemede önemli bir strateji olarak kullanılabilir. Ancak, uzun idare süreleri gövde karbon miktarının yüksek olması ve daha uzun sürede karbonu tutulmasından dolayı tercih sebebi olabilir. Tüm bu sonuçlar genelde modelleme ürünü olduğu ve esasen alanda uzun vadeli gerçekleşme durumunun henüz test edilmediği için şimdilik daha ihtiyatlı davranmak gerekmektedir.

Yaş sınıfları dağılımının da karbon tutulumu ile ilişkili olduğu bilinmektedir (Sathre ve O'Connor 2010A). İdare sürelerinin uzatılması ya da üretim miktarının azaltılması ile potansiyel olarak artımdan daha az miktarda faydalanma sağlanacak ve ileri/daha yaşlı bir yaş sınıfı dağılımı meydana gelecektir. Bu stratejinin devam etmesi durumunda uzun vadede birim alandaki yıllık artım azalacak ve daha az biyokütle artımıyla birlikte karbon tutulum potansiyeli azalacaktır. Bunun aksine, idare sürelerinin kısaltılması veya üretim miktarının artırılması daha genç yaş sınıfları dağılımını oluşturacaktır. Bu durumda da, birim alandaki yıllık ortalama artım artacak olup karbon ikame potansiyeli de artacaktır. Ancak, kısa idare sürelerinin, biyokütle karbon stoğunu ve toprağa ölü-diri örtünün girdisini azalttığı için karbon tutmada uzun idare sürelerine göre daha az etkili olduğu gösterilmiştir (Akujärvi vd., 2019). Benzer şekilde, uzun idare sürelerinin gerek kalın bireylerin ve gerekse biokütlenin uzun süre alanda tutulmasıyla birlikte karbon tutulumuna olumlu etki ettiği de bilinmektedir (Liski vd., 2001). Sonuç olarak, idare sürelerinin bulunduğu ekosistem özelinde ele alınması ve uzun vadeli projeksiyonlar yapılarak çok amaçlı planlama felsefesine uygun olarak değerlendirilmesi gerekmektedir (Başkent ve Kaşpar, 2022).

Ayrıca, karbon birikiminin artırılmasının yanı sıra korunması ve kaybının azaltılması da karbon yönetiminin önemli bir bileşenidir. Özellikle orman yangınları gibi doğal olaylar neticesinde önemli miktarda enerji açığa çıkmakta ve karbon kaybı oluşmaktadır. Orman yangınlarının etkin yönetimi ve amenajman planlarına entegrasyonu ile olası karbon kaybının önlenmesi sağlanacaktır. Bunun için; (i) klasik anlamda optimal orman kuruluşu olarak bilinen tekdüze alanın yaş sınıflarına eşit dağılımı yerine, yangınların olumsuz etkilerini minimize etmek üzere ekolojik süreç ve yapıyı dikkate alacak şekilde alanda tarihi süreçte oluşmuş doğal dağılım dikkate alınmalı, (ii) tek düze/büyükölçekte gençleştirme alanları yerine, çok sayıda küçük meşcereler ile az sayıda da olsa büyük toplu alanlar gençleştirmeye alınmalı, (iii) üretim alanlarının tüm alana dağıtılması, yaşlı-geç alanların komşuluk oluşturulmalı, (iv) idare sürelerinin ekolojik süreçlere uyumlu yangın sıklığı ve yangın döngüsü dikkate alınarak belirlenmeli, (v) yanıcı madde (özellikle ince) miktarının düzenli ve planlı bir şekilde aralama/bakım çalışmalarıyla (özellikle genç meşcere bakımları, budama, aralama ile) azaltılarak yangın riski minimize edilmelidir (Baysal vd., 2016; Baskent, 2022).

Kesim, sürütme, taşıma ve yetiştirme ortamı hazırlıkları gibi üretim faaliyetleri de karbon tutulumunu etkilemektedir. Genel olarak ele alındığında, kapalılığın tam ya da belirli oranda kırılmasıyla birlikte azalan biyokütle ve ölü örtü miktarı (toprak sıcaklığının artması, nemin düşmesi, ayrışmanın hızlanması) karbon tutulumunu azaltmaktadır. Örneğin, Nave vd. (2010) üretim faaliyetlerinin genel olarak toprak karbon stokunda yaklaşık %8 gibi cüzi miktarda bir azalışa neden olduğunu göstermiştir. Bu oran farklı ekosistemlerde farklılaşmakla beraber, karbon ve bitki besin döngüsü dinamiğinin araştırılarak daha etkili sürdürülebilir planlama politikası ve stratejilerin geliştirilmesini gerektirmektedir.

Üretimle birlikte orman yangınlarının da karbon tutulum sürecini önemli ölçüde etkilemektedir. Orman yangınlarının karbon stokuna etkisi her ne kadar toprak üstü biyokütlenin tam ya da kısmi kaldırılması ile meydana gelse de, asıl olan ölü örtü ve topraktaki karbonun uzun vadede aşırı derecede etkilenmesiyle daha da belirginleşmektedir. Bu etki yangının yoğunluğu, şiddeti ve toprak özelliklerine göre değişmektedir (González-Olabarria vd., 2008). Nave vd., (2010) ılıman orman kuşağındaki orman yangınlarının topraktaki karbonun %35 oranında azalmasına ve ormanın eski kapasitesine kavuşması için de 100-130 yıl gibi uzun bir zamana ihtiyaç olduğunu ifade etmektedir. Karbon stokunun geri kazanımı ya da aynı düzeyde korunması için öncelikle yangın riskini azaltmaya ve daha sonra da, yangın olması durumunda da, orman formunun/kapalılığın yeniden tesisine yönelik planlama stratejilerinin belirlenmesi gerekmektedir. Burada, yüzeyde biriken yanıcı madde miktarını azaltmakla birlikte (kontrollü yangın ya da mekanik araçlarla) idare süreleri ve silvikültürel uygulamalarının zamanlama ve yoğunluğunu değiştirerek yangın-etkili planlama stratejileri benimsenebilir (González-Olabarria vd., 2008; García-Gonzalo vd., 2014).

Karbon dinamiğinde orman ekosistemleri açısından en net ve belirgin araç ise ağaçlandırma (ormanlaşma) faaliyetleridir. Ağaçlandırma sonucunda toprak üstü biyokütlenin artışı gözlemlense de, kısa sürede topraktaki karbon miktarına olan etkisi ise yavaş olduğundan ölçüm bir hayli zorlaşmaktadır. Ancak burada, konunun biraz dışında olmasına rağmen, yetiştirme ortamı hazırlık sürecinin bir parçası olarak toprağa müdahale yoğunluğunun artmasıyla birlikte daha fazla karbon kaybının kaçınılmaz olduğu da bilinmelidir (Wang vd., 2016). Ayrıca, yoğun yetiştirme ortamı hazırlıklarının da topraktaki karbonu artırmadığı gözlemlenmiştir (Garcia-Franco vd., 2014). Burada ayrıca ağaçlandırmada /plantasyonda kullanılan ağaç türlerinin de önemli faktör olduğu bilinmelidir. Örneğin, yapraklılarla yapılan ağaçlandırma alanında toprak karbon miktarında %25, ibrelilere yapılan ağaçlandırma alanlarında ise yaklaşık %12 oranında bir artış olduğu gözlemlenmiştir (Laganière vd., 2010). Ayrıca, Karaçam ile yapılan ağaçlandırmalarda tutulan karbon miktarının Meşe ile olan ağaçlandırmalara göre daha etkin olduğu gözlemlenmiştir (Küçüker (2019)).

Tüm planlama araçları birlikte değerlendirildiğinde planlama yoğunluğu ile karbon dengeleme potansiyelinin ilişkili olduğu görülecektir. Daha yalın olarak düşünüldüğünde, ormanların planlı işletilmemesinin karbon dengeleme açısından üç farklı etkisi olduğu görülecektir. Bunlardan ilki, ormandaki biyokütle meşcereler yaşanıncaya kadar artmaya devam edecektir. Bu aşamada, ormanda artımın doğal ölüme denk olduğu bir dinamik dengeye (equilibrium/climax) ulaşılacaktır ve bu durumda uzun vadeli karbon stoku neredeyse sabit hale gelecektir. İkincisi ise, topraktaki karbon miktarındaki değişim de yavaş artış seyri izleyerek benzer bir dinamik yapı oluşacaktır. Üçüncüsü ise, herhangi bir orman ürünü üretilmeyeceğinden daha karbon yoğun materyal ve diğer yakıtlar kullanılacak ve bu da sonunda karbon salınım miktarının net artışına neden olacaktır. Dolayısıyla, biyokütle ve topraktaki karbon stoku orman amenajman planlama rejimince (idare süreleri, üretim, aralama, gübreleme vb.) doğrudan etkilenmektedir. Planlamanın yoğunlaştırılması artımın ve ikame

potansiyelinin artmasına neden olacaktır. Planlama parametrelerinin düzenlenmesiyle birlikte planlama yoğunluğu da değişeceğinden karbon stok dengesi değişecektir. Burada önemli unsurun ormanların sürdürülebilir planlama ve işletilmesinin karbon stok yönetimi açısından da elzem olduğudur. Topraktaki bitki besin maddelerinin sürekliliğinin sağlanması, su potansiyelinin etkin kullanılması, erozyon tehlikesinin önlenmesi, ormandaki doğal yapının ve biyoçeşitliliğin korunması sürdürülebilir kullanımın önemli unsurlarıdır.

4. KARBON TUTULUMUNA YÖNELİK PLANLAMA STRATEJİLERİ

Uluslararası ormancılık süreçleriyle birlikte ele alınan ve geliştirilen ülkemizdeki ekosistem tabanlı çok amaçlı planlama anlayışının öncelikle sağlam bir zemine oturduğunu görmek mümkündür. Bu ülkemiz ormancılık sektöründe karbon yönetimi için önemli bir başlangıçtır. Karbon dengesinin düzenlenmesindeki üç temel yaklaşımdan hareketle, orman ekosistemlerindeki karbon yönetimine yönelik potansiyel planlama stratejileri araştırılmıştır. Dünyadaki gelişmeler ve iyi örnek uygulamaları ile ülkemizin de iklim değişikliği ve karbon yönetiminin ormancılık sektörü ile ilgili hazırlanan kimi çalışmalar da dikkate alınarak (ÇOB, 2008; ÇŞB, 2011; Asan, 2012), karbon odaklı orman amenajman planlarının düzenlenmesine yönelik planlama stratejileri öneriler şeklinde aşağıda sunulmuştur.

- Boşluklu kapalı orman alanlarının ve orman içi açıklıkların ağaçlandırılmasına hız verilmelidir. Bu strateji başlıca karbon miktarının net artışı anlamına geldiği için tüm stratejilerin başında gelmektedir. Bütçe imkânları, ilgili ekosistemin yapı, kompozisyon ve ekolojik fonksiyonu dikkate alınarak eşit alan ya da giderek artan yahut azalan bir alan seyir politikasına göre bu alanlar öncelik sırasına göre (erozyona maruz havzalar, yarı kurak bölgeler öncelikli) ağaçlandırılmalıdır. Burada, odun üretimine konu olmayan ya da ikinci amacı odun üretimi olabilecek alanlarda da yetiştirme ortamına uygun karbon tutulum amaçlı ağaçlandırma çalışmaları öngörülmelidir. Ancak, yapılacak tüm ağaçlandırma çalışmalarında, başta orman yangınları olmak üzere diğer doğal olaylara karşı gerekli önlemler alınmalıdır. Örneğin, yoğun ağaçlandırma çalışmalarıyla alanda oluşacak yanıcı madde birikimi ve coğrafi dağılımı kontrol edilmeli ve entegre yangın yönetim sistemi kurulmalıdır (Başkent ve Bilensoy, 2022).
- Yine mevcut karbon havuzların titizlikle muhafazasına ve olası artım kayıplarının azaltılmasına yönelik, özellikle üst orman zonu ve sarp arazilerdeki ormanların muhafazaya ayrılması ve buralarda gerekli tedbirlerin alınması sürecine devam edilmelidir. Bu şekli ile uzun yıllardır zor doğal şartlara karşı bir mücadele ile yavaş gelişim/büyüme seyri ile oluşan orman ekosistemlerinin olası kaybı önlenerek tutulan karbonun istikrarlı hale gelmesi sağlanacaktır.
- Orman ekosistemlerinden ot alma, otlatma, yerleşim yeri açılımı, yasa dışı kullanım ya da düzensiz kullanım sonucu meydana gelebilecek baskı neticesinde orman ekosistemlerinde net karbon kaybı yaşanabilmektedir. Öncelikle, orman içi otlatmalar planlara göre yapılarak, meraların verimli hale getirilmesi ve hatta ahır hayvancılığının desteklenmesine ağırlık verilmelidir. Daha sonra, olası baskı ya da çatışma alanları katılımçılıkla belirlenmeli ve kararlaştırılan koruma hedeflerine göre ormanların fonksiyonel ayırımı yapılmalıdır. Ayrıca, destekleyici strateji olarak da, çatışma yönetimi geliştirilmeli ve katılımcı yaklaşımla planlar yapılmalıdır. Olası çatışmalar yapısal katılımçılık süreci ile ortaya konmalı ve önleyici tedbirler zamanında alınmalıdır.
- Sürdürülebilir ormancılığın bir ölçümü ve bir bakıma garantörü olan sertifikalı orman işletmeciliği de karbon yönetiminde kaçınılmaz bir stratejidir. Bunun için,

uygulamadaki sertifikalandırma sistemleri dikkate alınarak, öncelikle tüm ülke ormanlarına uygulanabilecek Sürdürülebilir Orman Yönetimi (SOY) ölçüt ve gösterge setinin oluşturulması ve akabinde de amenajman planlarında kullanılması gerekmektedir.

- Orman ekosistemlerinde tutulabilecek karbonun doğru hesaplanması için, kimi ağaç türleri için geliştirilen biyokütle denklemlerine benzer şekilde (örneğin, Saraçoğlu 1998, Durkaya 1998, Çakıl 2008, Aydın 2010, Tolunay 2012) farklı vejetasyonlara ve diğer ağaç türlerine göre biyokütle denklemleri de geliştirilmeli ve karbon miktarı daha doğru tahmin edilmelidir.
- Ormandan çıkarılan ürüne karşılık gelen karbonun ayrışma süreleri kullanım alanlarına göre değişmektedir. Karbon dengesinde önemli olan karbon salınım sürelerinin uzatılması ile ilgili olarak kullanım alanlarının ve tüketici davranışlarının değiştirilmesi de uzun vadede salınımı azaltıcı bir strateji olarak görülmektedir.
- Yine oduna dayalı ürün atıklarının katı atık depolarında akıllı yönetimi ile de, örneğin biyogaz olarak kullanılması, ilave bir karbon avantajı sağlanmaktadır (Sathre ve O'Connor 2010A).
- Odun üretimiyle karbon tutulumu birbiriyle çelişmediği, zira birim alandaki yıllık biyokütle artışının en yüksek olduğu zamanın hem kitle olarak odun üretimi ve hem de karbon tutulumu için en uygun olduğu dönemdir. Buradan hareketle, biyokütle artımının en yüksek olduğu yaşa yakın bir dönemin idare süresi olarak alınması genel strateji olarak kullanılabilir (Liski, 2001; Nunery vd., 2010; Başkent ve Kaşpar, 2022). Ayrıca birim alandaki artımın artırılmasına yönelik yoğun işletmecilik faaliyetlerinin öngörülmesi de karbon birikiminin düzenlenmesinde önemli bir mekanizmadır. Ancak, büyük boyutlu ürün üretiminin daha uzun vadede alan dışı karbon tutulumuna ve aynı zamanda toprak karbonuna da daha fazla katkı sağlamasından hareketle, idare sürelerinin daha uzun tutulmasını gerektirmektedir. Dolayısıyla, alandaki tüm ekosistem hizmetlerine göre kararlaştırılan işletme amaçları ve koruma hedefleri birlikte düşünülerek, uygun bir idare süresinin orman ekosistemleri bazında modelleme ile belirlenmesi stratejisine ağırlık verilmelidir. Örneğin, Pukkala (2014) yüz yılı aşan uzun vadeli kestirimlerde üretim faaliyetlerinin daha etkin karbon dengesi sağladığı, yüksek aralama ve devamlı orman yaklaşımının toplam karbon dengesine önemli pozitif katkı sağladığı, ormandaki yıllık artımın en önemli faktör olduğunu göstermiştir.
- Orman formları da karbon tutulumunda etkilidir. Her ne kadar az sayıda karşılaştırmalı araştırmalar varsa da, genelde seçme ormanlarının, özellikle Akdeniz bölgesinde, daha stabil ve düzenli karbon birikimi sağladığı; ancak aynı yaşlı ormanların da değişimin hızlı olması nedeniyle artım gücünden faydalanılarak birim alandaki karbon tutulumuna daha fazla katkı sağladığı görülmüştür. Biyoenerji üretimine odaklı stratejilerin ağırlıkta olmasıyla birlikte baltalık ormanlarının da sürdürülebilir planlaması karbon tutulumu sürecinde etkili olduğu görülmüştür. Her bir orman formunun, karbon tutulumuna uzun vadeli etkisi incelenerek mevcut ekosistemler ve planlama politikaları da dikkate alınarak, incelendikten sonra uygun orman formu stratejisi tercih edilmelidir.
- Orman fonksiyonları belirlenirken birinci önceliği ya da ana amacı odun üretimine ayrılmış alanlarda ara hasılat etası kararlaştırılırken kullanılacak temel ölçüt meşcerenin artımı olmalıdır. Burada, ara hasılat etası meşcere tipi bazında belirlenirken o meşcere tipinin dönüş süresindeki toplam artımı geçmeyecek şekilde en yüksek düzeyde kararlaştırılmasına ağırlık verilmelidir. Bu şekli ile artımdan

azami faydalanma sağlanarak aynı zamanda karbon miktarının artırımına da katkı sağlanacaktır.

- Boşluklu alanların ayrılan fonksiyonlarına göre ağaçlandırılma veya iyileştirmek çalışmaları için önceliklendirme ölçütleri belirlenmeli, zaman-mekân düzeni kurulmalı ve açıklayıcı ve yönlendirici bilgilere yer verilmelidir. Burada rehabilitasyon çalışmalarının teknik ayrıntılarına göre hareket edilmelidir.
- Odun üretimini ve karbon tutma kapasitesini artırmak için hızlı büyüyen ağaç türlerinin yayılış alanlarında endüstriyel ormancılık uygulamalarına ağırlık verilmelidir (Stephenson et al., 2014; Küçüker, 2019). Marjinal tarım alanı ve hazine arazilerinde özel sektörün endüstriyel ağaçlandırmalar yapmasının ve işletmesinin önü açılmalıdır.
- Genç meşcereler yüksek büyüme oranına sahip olduklarından net karbon yutağı işlevi görürler (Jandl vd., 2018). Karbon birikim hızını artırmak ve yetiştirme ortamı faktörlerinden tam yararlanmak üzere genç meşcere bakımları zamanında yapılmalı, kapasite yetersizliği durumunda özel sektörden yararlanılmalıdır. Örneğin yapılan bir araştırmada; diri örtü ile mücadele ve gübreleme gibi yoğun silvikültürel uygulamalar karbon birikimini %400 artırdığı ve yangın odaklı ağaç ölümlerini %50 azalttığı, sıklık ve vejetasyon kontrolünün karbon birikimini %30 artırdığı ve yangın odaklı ağaç ölümlerini %50 azalttığı ve sadece sıklık kontrolünün ise karbon birikimini %9 artırdığı ve yangın odaklı ağaç ölümlerini de %40 azaltmış olduğu gözlemlenmiştir (Zhang et al., 2010).
- Seyrek kapalı meşcerelere eta verilmemesi ve yaşlı meşcerelerin bir an evvel gençleştirilmesi ve artım performanslarının artırılması yoluna gidilmelidir. Burada, aktüel yaş sınıfları dağılımına bağlı olarak idare sürelerini çoktan aşmış meşcerelerden özellikle artımdan düşmüş ve artım kaybı en fazla olanları öne almak kaydı ile bu meşcereler öncelikle gençleştirilmelidir.
- Gençleştirmeye verilecek alanlarda koruma önlemleri mutlaka alınmalı, kırsal kesimin sosyo-ekonomik yapısı iyileştirilmeli, orman kadastro tamamlanmalı ve gençleştirme ve bakım programlarının gerçekleştirilemediği köylerde kırsal kalkınma projeleri geliştirilerek uygulamaya konulmalıdır.
- Amenajman planlarında böcek ve orman yangını gibi stokastik süreçlerin risk ve belirsizlik analizleri yapılmalı, dinamik süreçlerine ve etkilerine yer verilmelidir. Özellikle Kızılcım ormanlarında planlamaların yangın risk faktörüne göre düzenlenmesi gerekmektedir. Bu alanlarda yangın rejimini de (yangın sıklığı, yangın şiddeti, yangının çevresel etkisi ve yangın büyüklüğü) içeren alternatif plan stratejileri geliştirilmeli ve risk faktörüne bağlı daha gerçekçi planlar yapılmalıdır.
- Silvikültürel müdahaleler zamanında yapılmalı ve doğaya uygun metotlara ağırlık verilmelidir. Özellikle kötü yetiştirme ortamlarında sekonder zararlıların epidemi yapmaması için uygulanacak silvikültürel yöntemlerde yöreye uygun türlere ve orijinlerine dikkat edilmelidir. Aynı türlerin hakim olduğu genellikle saf meşcerelerde epidemi riski fazla olduğundan bu meşcerelerde verilecek ara hasılat etaları karışıma katılan diğer türler lehine olmalıdır.
- Ormana yapılan açma, kaçak kesimler ve otlatma zararları gibi antropojenik müdahalelerin oluşturduğu fizyolojik olarak zayıf meşcerelerde kabuk böceği ocaklarının ortaya çıkması riski fazla olduğundan bu gibi alanlar sosyal baskılı alanlar olarak ayrılmalıdır. Bu baskının azaltılması için kırsal kalkınma hedefli programlarla birlikte katılımcı yaklaşımla planlar yapılmalı ve bozuk alanlara rehabilitasyon önceliği verilerek bu alanlar kısa sürede optimal yapıya kavuşturulmalıdır.

- Yangın risk haritalarına göre yüksek riskli alanlarda; yaş sınıfları oluşturulurken, yangın alanların dağılımında olduğu gibi “ters J” dağılımlı alan büyüklüğünün oluşturulması denenmeli ve alanda blok alan yerine mozaik heterojen yapı oluşturulmalıdır (Baysal vd., 2016; Baskent, 2022). Hatta uygun alanlarda belirli bir rakıma (örneğin 400 m) kadar olan ormanlarda bir periyot daha kısa idare süreleri kullanımı düşünülmelidir. Yangın riski yüksek ekosistemlerde, yanıcı madde kontrolüne (azaltımına) yönelik özellikle genç meşcerelerin bakımına ağırlık verilmelidir.
- Korunan alanlar iklim değişikliği kapsamında özellikle karbon depolanması ve diğer fonksiyonlar açısından önem kazandığından, bu alanlar tek elden ülke orman envanterine alınmalı ve bozulan yaşam alanları yerel halkın talepleri ve katkılarıyla hızla iyileştirilmelidir.
- Ekolojik ve sosyo-kültürel fonksiyonların bulunduğu üretim ormanlarında, biyolojik ve ekolojik amaca hizmet edecek miktarda ağaç/ağaççık bırakılmalı (Örneğin, Kızılcıdam meşcerelerinde servetin yaklaşık %2.5’i kadar (Karahalil vd., 2017) ve ormanın geçmişini temsil edecek nitelikte ve büyüklükte doğal yaşlı orman alanları ile av-yaban hayatına hizmet edecek ekolojik koridorlar oluşturulmalıdır.

5. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Ormanlıkta karbon hesaplamaları, dinamikleri, tutulumu, ticareti ve yönetimi konuları artık bilimsel araştırmalarda öncelikli konular arasına girmiştir. Hatta karbon tahminleri ve ormanlık faaliyetlerinin karbon tutulumuna olan etkilerini araştıran çok sayıda da araştırma ve inceleme çalışmaları mevcuttur (literatür taraması için bkz., Ruiz-Peinado vd., 2017; Jandl vs., 2018; Taylor vd., 2018; Kucuker, 2019; Lundholm vd., 2020; Mozgeris vd., 2021; Başkent ve Kaşpar, 2022). Topraktaki, köklerdeki ve toprak altı karbon miktarının tahminine yönelik özellikle karışık meşcerelerde biyokütle denklemlerinin oluşturulması noktasında önemli açıklıklar söz konusudur. Özellikle Akdeniz gibi iklim değişimi sürecinden daha fazla etkilenen, yangın riskinin yüksek olduğu ve insan etkilerinin yoğun olmasıyla oluşan bozuk ekosistemlerde karbon-ormanlık çalışmaları arasındaki etkileşimin incelenmesi daha da önem arz etmektedir. Bununla birlikte, idare sürelerinin uzatılması, farklı yaş sınıflarının oluşturulması, aralama çalışmaları gibi planlama stratejilerinin orman ekosistemleri bazında diğer işletme amaçları, politikaları ve kısıtlarını da dikkate alarak uzun vadeli kestirimleri modellenmelidir. Yeterli düzeyde ampirik verilerin olmayışı modelleme çalışmalarını engellemektedir. Ancak, yine de iklim değişikliklerinin etkilerini azaltmaya yönelik geliştirilecek planlama stratejileri ile düşük karbon ekonomisi oluşturmanın süresi daha da uzatılabilir. Ormanlar ne kadar iklim değişikliğine uyumlu hale getirilirse iklim değişikliğinin etkileri de o kadar az olacaktır. Dolayısıyla, küresel iklim değişikliği nedeniyle ormanların kuraklığa uyumu, toprak bozulmalarının etkileri ve verimlilik kaybı konularının kavranmasıyla birlikte uyum ve azaltımı da içeren sürdürülebilir orman amenajman planlama stratejilerinin geliştirilmesi gereklidir. Bunun için de tüm karbon bileşenlerini dikkate alan ve ormanlık uygulamalarının karbon tutulumuna etkilerini inceleyecek disiplinler arası araştırmalara ağırlık verilmesi önem arz etmektedir.

Yapılan araştırma ve incelemelere göre, karbon yönetiminde birincil unsurun ormansızlaşmanın yavaşlatılması ve önüne geçilmesi ile birlikte açık alanların ağaçlandırılması olduğu görülmektedir. İstatistiklere göre dünyada yaklaşık yılda 3 milyar m³ odun üretimi söz konusu iken ve bu üretimin önemli kısmı sürdürülebilir ormanlık esaslarına göre sağlanırken

ne yazık ki son 30 yıllık verilere göre yaklaşık yıllık 6 milyon ha orman alanı da yok olmaktadır (FAO, 2020). Bu dünyadaki karbon dengesi için önemli bir tehdit unsurudur. Karbon yönetimine katkı sağlayan diğer unsurlar ise; özellikle genç meşcere bakımlarının artırılması, aralama ve gençleştirme çalışmalarında konumsal planlama ilkelerine (parça şekli, büyüklüğü ve coğrafi dağılım ile oluşacak mozaik) uyulması, ilgili bölge (planlama birimi) ekosistemin yapı, kompozisyon ve fonksiyonu dikkate alınarak karar destek sistemlerine (modelleme) dayalı uzun vadeli stratejik ekosistem tabanlı ve çok amaçlı planlamaya gidilmesi. Örneğin, Ying-Ta vd., (2011) KDS ile yaptığı bir çalışmada, orta ve yüksek yoğunluktaki aralama yapılmış meşcerelerin aralama görmemiş meşcerelere göre iki planlama yörüngesi sonunda %34.75 daha fazla karbon tutabildiğini ifade etmiştir. Benzer şekilde ekolojik koşullara göre yapraklı-ibrelili karışık meşcerelerin kurulması ve heterojen yapıda konumsal orman deseninin kurulması da kritik öneme sahiptir. Fosil yakıtlar yerine yenilenebilir enerji kullanımına ağırlık verilmesiyle birlikte ormanlardan elde edilen ürünlerin önce inşaat malzemesi gibi birincil alanlarda kullanılması, daha sonra geri dönüşüme konu edilerek biyoyakıt olarak kullanılması karbon yönetimi için önem arz etmektedir. Öte yandan genç ormanların yüksek büyüme performansı karbon birikimi için çok önemli ise de, bunun yetişme ortamlarına göre değiştiği ve farklı yetişme ortamlarında müdahale görmemiş yaşlı korunan orman alanlarının uzun süre karbon birikimini koruyabildiği de ifade edilmektedir (Luyssaert vd., 2008).

Sağlam ve güçlü bireylerin hâkim olduğu meşcerelerden meydana gelen sağlıklı orman oluşturma stratejileri karbon birikiminin diğer temel unsurlarından biridir. Burada sağlıklı-güçlü bireyler mantar, böcek ve diğer olumsuzluklara karşı daha dayanıklı olduğundan ve büyüme performansı da daha iyi olduğundan karbon dengesi ve dolayısıyla karbon birikimine olumlu katkı sağlamaktadırlar. Yetişme ortamı hazırlıkları topraktaki karbonun atmosfere verilmesini tetiklese de, verimliliğin artırılmasıyla bunun dengelendiği hatta karbon kaybının önüne geçtiği de görülmüştür. Biyoyakıt dahil yenilenebilir enerjinin fosil enerjiye göre teşvikle birlikte daha çok kullanılması, temel ülke ormancılık politikaları şekline dönüşmesi karbon yönetiminde önem arz etmektedir. Ayrıca tüketici davranışları da değişerek kullanılacak tüm ahşap ürünlerin sertifikalandırma sürecinden geçmiş sürdürülebilir ormanlardan elde edildiği ülke politikalarıyla güvence altına alınmalıdır.

Tüm bunlar özetlendiğinde; karbonun orman amenajman planlarına yansıtılmasında temel felsefenin birim alan verimliliğinin artırılmasıyla birlikte biokütlenin artırılması, bozuk ve açık orman toprağı alanların en hızlı bir şekilde iyileştirilmesi/ağaçlandırılması, ormansızlaşmanın önüne geçilmesi, doğal olaylar ve antropojenik müdahalelerin etkilerinin azaltılması, yetişme ortamı faktörlerinden azami derecede faydalanılması ve toprağın aşırı derecede yoğun müdahale görmemesidir. Üstelik net karbon birikiminin tüm bileşenleri ile uzun vadeli düşünülmesi ve planlanması gerekmektedir. Geliştirilecek bir karar destek sistemi ile uzun vadeli etkileri farklı senaryolar geliştirilerek denenmesi ve sonuçlarının yorumlanması gerekmektedir. Örneğin, Pukkala (2014) uzun vadeli kestirimle verilecek kararların daha isabetli olduğu, yüksek aralama ve devamlı orman yaklaşımının toplam karbon dengesine önemli pozitif katkı sağladığı, ormandaki yıllık artımın en önemli faktör olduğu ve ayrıca orman atıklarının biyoyakıt olarak kullanılmasıyla ilave karbon faydası sağladığını göstermiştir. Ayrıca, iklim değişikliklerinin ormanların büyüme eğilimine olan etkileri her bölge ve her bir tür için tam olarak bilinmediği/çalışılmadığı ve risk ve belirsizliklerin planlamaya henüz yansıtılmadığı sürece, uyarlanmış planlama sisteminin (adaptive management) kısa vadelerle (örneğin her 10 yılda bir) gözden geçirilerek yenilenmesi daha yerinde olacaktır. Bu şekilde uzun vadeli sebep-sonuç ilişkilerinin değerlendirilip farklı orman formu, aktüel kuruluşu, planlama öğeleri, işletme şekilleri, silvikültürel müdahaleler ve diğer planlama unsurlarının karbon değişimine nasıl etki ettikleri ortaya konulmalıdır. İklim değişikliğine bağlı olarak

orman yangınları gibi ekosistem bütünlüğünü (yapı, kompozisyon ve fonksiyonlar) etkileyen idare süresi, planlama metodu, ormanın yapısı, bakım çalışmaları ve yangın rejimi gibi unsurların da planlamalara bütünlük yaklaşımıyla entegre edilmelidir (Başkent, 2022). Öte yandan, oduna dayalı ürünlerin kullanım yerlerine dayalı ilave olarak tutulan karbon ile yine odunun diğer odun-dışı ürünlerin (fosil yakıtlar, çimento, çelik vb) yerine alternatif ikame olacak şekilde etkili kullanımıyla kazanılan ilave karbon salınımının azaltımı da karbon yönetiminde etkili olduğu bilinmektedir (Sathre ve O'Connor, 2010B). Bu şekilde geniş açılı bir değerlendirme sonucunda karbon odaklı ve aynı zamanda orman ekosistemlerinin sunduğu diğer değerleri de bütünlük sağlayan sürdürülebilir tabanlı bir planlama sürecinin benimsenmesi ve odun ürünlerinin akıllı kullanımının gerçekleşmesiyle birlikte ancak iklim değişikliği ile mücadele daha etkili olabilecektir.

KAYNAKLAR

- Akujärvi, A., Shvidenko, A., Pietsch, S.A., 2019. Yoğunlaştırılmış orman yönetiminin Avrupa'da uzun bir enlem gradyanı boyunca karbon bütçesi üzerindeki etkilerinin modellenmesi. Çevresel Araştırma Mektupları, 14(3):034012, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaf766>
- Anonim, 2004. Türkiye Ulusal Ormancılık Programı (2004-2023). Çevre ve Orman Bakanlığı, 95s, Ankara.
- Asan, Ü. 2012. Türkiye Ormanlarındaki Yıllık Karbon Stok Değişimi Trendinin İrdelenmesi ve 2023Yılındaki Durumun Kestirilmesi, KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi, Özel Sayı, 2012, Sayfa 109-121.
- Asan, Ü., Destan, S., Özkan, U.Y. 2002. İstanbul korularının karbon depolama, oksijen üretimi ve toz tutma kapasitesinin kestirilmesi. Orman Amenajmanında Kavramsal Açılımlar ve Yeni Hedefler Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, İstanbul, 194-202
- Aydın, Ç., 2010. Artvin Orman Bölge Müdürlüğü Borçka Orman İşletme Müdürlüğü Sarıçam Biyokütle Tabloları, Yüksek Lisans Tezi, KT Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Backéus, S., Wikström, P., Lämås, T. 2005. A model for regional analysis of carbon sequestration and timber production. Forest Ecology and Management, 216, 28-40.
- Başkent ve Kaşpar, 2022. Strategies to explore the effects of various rotation lengths on ecosystem services within a multiple-use management framework. Under review.
- Başkent ve Bilensoy, 2022. Orman Amenajman Planlarının Düzenlenmesinde Ağaçlandırma Çalışmalarının Planlanması: Bir Öneri. Değerlendirmede.
- Başkent, 2022a. Orman yangınlarının ekosistem ekseninde amenajman planlarına entegrasyonu. Yeşil Dünya, Yıl 59, Sayı 1, Ocak-Şubat-Mart 2022,
- Başkent, E.Z and Kucuker, D.M. 2010. Incorporating water production and carbon sequestration into forest management planning: a case study in Yalnızçam planning unit, Forest Systems, 19 (1):98-111
- 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
- Baysal, İ., Bilgili, E. ve Başkent, E.Z. 2016. Orman Yangınları ve Orman Amenajman Planları, Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 2016, 16 (1): 169-180
- Birdsey, R.A. 1992. Carbon storage and accumulation in United States forest ecosystems. United States Department of Agriculture Forest Service GTR WO-59
- Bragg, DC. and Guldin JM. 2010. Estimating Long-Term Carbon Sequestration Patterns in Even- and Uneven-Aged Southern Pine Stands. In Jain, Theresa B.; Graham, Russell

- T.; and Sandquist, Jonathan, tech. eds.2010. Integrated management of carbon sequestration and biyokütles utilization opportunities in a changing climate: Proceedings of the 2009 National Silviculture Workshop; 2009 June 15-18; Bois., RMRS-P-61. Fort Collins, CO: USDA Forest Service.
- Bravo, F., Bravo-Oviedo, A., Díaz-Balteiro, L. 2008. Carbon sequestration in Spanish Mediterranean forest under two management alternatives: a modeling approach. *Eur. J. For. Res.*, 127: 225-234. <https://doi.org/10.1007/s10342-0070198-y>
- Bravo-Oviedo, A., Ruiz-Peinado, R., Modrego, P., Alonso, R., Montero, G. 2015. Forest thinning impact on carbon stock and soil condition in Southern European populations of *P. sylvestris* L. *For. Ecol. Manag.*, 357: 259-267.
- Brown, S. 2002. Measuring carbon in forests: current status and future challenges. *Environmental Pollution*, 116, 363-372
- Brown, S., Sathaye, J., Cannell, M., Kauppi, P.E. 1996 Management of forests for mitigation of greenhouse gas emissions. In: *Climate Change 1995 - Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses*. Watson R.T., Zinyowera M.C., Moss R.H., Dokken D.J. (eds.), Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK, p. 773-797.
- Buringh, P. 1984. Organic carbon in soils of the world. In: Woodwell, C. M., ed. *The role of terrestrial vegetation in the global carbon cycle*, SCOPE 23. New York: John Wiley & Sons: 91-109 pp.
- Çakıl, E., 2008. Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğü Karaçam Biyokütle Tablolarının Düzenlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi. FBE, 167.
- Canadell, J.G., Raupach, M.R. 2008. Managing forests for climate change mitigation. *Science*, 320: 1456-1457. <https://doi.org/10.1126/science.1155458>
- ÇOB, 2008. İklim Değişikliği ve Yapılan Çalışmalar, Çevre ve Orman Bakanlığı, 2008.
- ÇŞB, 2011. İklim Değişikliği Eylem Planı, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2011.
- Durkaya, B., 1998. Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğü Meşe Meşcerelerinin Biyokütle Tablolarının Düzenlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, 110.
- FAO, 2015. Global forest resources assessment 2015. FAO Forestry Series 49. Roma, 44 pp
- FAO, 2016. FAO yearbook of forest products, Roma, 243 pp.
- FAO, 2018. FAO yearbook of forest products, Roma, 430 pp., <https://doi.org/10.4060/cb0513m>
- FAO, 2020. Global Forest Resources Assessment 2020: Main report. Rome. <https://doi.org/10.4060/ca9825en>
- Garcia-Franco, N., Wiesmeier, M., Goberna, M., MartínezMena, M., Albaladejo, J. 2014. Carbon dynamics after afforestation of semiarid shrublands: Implications of site preparation techniques. *For. Ecol. Manag.*, 319: 107-115
- Garcia-Gonzalo, J., Pukkala, T., Borges, J.G. 2014. Integrating fire risk in stand management scheduling. An application to maritime pine stands in Portugal. *Ann. Oper. Res.*, 219: 379-395. <https://doi.org/10.1007/s10479-011-0908-1>
- Gonzalez-Olabarría, J.R., Palahí, M., Pukkala, T., Trasobares, A. 2008. Optimising the management of *Pinus nigra* Arn. stands under endogenous risk of fire in Catalonia. *Invest Agrar: Sist. Recur. For.*, 17: 10-17. <https://doi.org/10.5424/srf/2008171-01019>
- Grassi, G., House, J., Dentener, F., Federici, S., Elzen, M.D., Penman, J. 2017. The key role of forests in meeting climate targets requires science for credible mitigation. *Nat. Clim. Chang.* 2017, 7, 220–226.
- HariPriya, G.S. 2002. Biyokütles carbon of truncated diameter classes in Indian forests. *For Ecol Manage.*, 168: 1–13

- Hashimoto, T., Kojima, K., Tange, T., Sasaki, S. 2000. Changes in carbon storage in fallow forests in the tropical lowlands of Borneo. *For. Ecol. Manage.*, 126: 331–337
- Howlett, DS., Mosquera-Losada, MR., Nair, PKR., Nair, VD., Rigueiro-Rodríguez, A. 2011b. Soil carbon storage in silvopastoral systems and a treeless pasture in Northwestern Spain. *J Environ Qual* 40: 825-832. <https://doi.org/10.2134/jeq2010.0145>
- IPCC, 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme [Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Tokyo, Japan, 2006]
- Jandl, R. et al., 2007. How strongly can forest management influence soil carbon sequestration? *Geoderma*, 137, 253–268.
- Jandl, R., Ledermann, L., Kindermann, G., Freudenschuss, A., Gschwantner, T. and Weiss, P. 2018. Strategies for Climate-Smart Forest Management in Austria. *Forests*, 9, 592.
- Jiménez, MN., Navarro, FB. 2016. Thinning effects on litterfall remaining after 8 years and improved stand resilience in Aleppo pine afforestation (SE Spain). *J. Environ. Manage.*, 169: 174-183.
- Jonard M, Nicolas M, Coomes DA, Caignet I, Saenger A, Ponette Q, 2017. Forest soils in France are sequestering substantial amounts of carbon. *Sci Total Environ* 574: 616-628. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.028>
- Karahalil, U., Başkent, E.Z., Sivrikaya, F., Kılıç, B. 2017. Analyzing deadwood volume of Calabrian pine (*Pinus brutia* Ten.) in relation to stand and site parameters: a case study in Köprülü Canyon National Park, *Environmental monitoring and assessment*, 189 (3), 1-16
- Keleş, S., Başkent, E.Z. 2006. Orman Ekosistemlerindeki Karbon Değişiminin Orman Amenajman Planlarına Yansıtılması: Kavramsal Çerçeve ve Bir Örnek Uygulama (1. Bölüm), *Orman ve Av Dergisi*, 83, 2, 36-41.
- Krankina, O.N., Harmon, M.E., Winjum, J.K. 1996. Carbon storage and sequestration in the Russian forest sector. *Ambio*, 25, 284–288
- Kucuker, D.M. and Baskent, E.Z. 2015. Evaluation of forest dynamics focusing on various minimum harvesting ages in multi-purpose forest management planning, *Forest Systems*, 24(1)
- 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
- Kurz, W.A. and Apps, M.J. 1993. Contribution of northern forests to the global carbon cycle: Canada as a case study. *Water, Air and Soil Pollution*, 70, 163–176
- Laganière, J., Angers, DA., Paré, D. 2010. Carbon accumulation in agricultural soils after afforestation: A meta-analysis. *Glob. Chang. Biol.*, 16: 439-453. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.01930.x>
- Liski, J., Pussinen, A., Pingoud, K., Mäkipää, R. and Karjalainen, T. 2001: Which rotation length is favorable to carbon sequestration? — *Canadian Journal of Forest Research*, 31(11): 2004–2013.
- Liski, J., Pussinen, A., Pingoud, K., Mäkipää, R. ve Karjalainen, T. 2001: Karbon tutma için hangi dönüş uzunluğu uygundur? — *Kanada Orman Araştırmaları Dergisi*, 31(11): 2004–2013.
- Lundholm, A., Black, K., Corrigan, E. and Nieuwenhuis, M. 2020. Evaluating the Impact of Future Global Climate Change and Bioeconomy Scenarios on Ecosystem Services Using a Strategic Forest Management Decision Support System. *Front. Ecol. Evol.*; 8:200. [10.3389/fevo.2020.00200](https://doi.org/10.3389/fevo.2020.00200).
- Luyssaert, S., Schulze, E., Börner, A., Knohl, A., Hessenmoller, D., Law, B., Grace, J. 2008. Old-growth forests as global carbon sinks. *Nature*, 455, 213-215

- Mozgeris, G., Kazanaviciute, V., Jukneliene, D. 2021. Does Aiming for Long-Term Non-Decreasing Flow of Timber Secure Carbon Accumulation: A Lithuanian Forestry Case. *Sustainability*, 13, 2778. <https://doi.org/10.3390/su13052778>
- Nave, LE., Vance, ED., Swanston, CW., Curtis, PS. 2010. Harvest impacts on soil carbon storage in temperate forests. *Forest Ecology and Management*, 259: 857-866
- Nunery, J.S. and Keeton, W.S., 2010. Forest carbon storage in the northeastern United States: Net effects of harvesting frequency, post-harvest retention, and wood products, *Forest Ecology and Management*, 259(8):1363-1375, <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.12.029>
- Pan, Y., Birdsey, RA., Fang, J., Houghton, R., Kauppi, PE., Kurz, WA., Phillips, OL., Shvidenko, A., Lewis, SL., Canadell, JG. vd., 2011. A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science*, 333: 988-993.
- Powers, MD., Kolka, R., Palik, B., McDonald, R., Jurgensen, M. 2011. Long-term management impacts on carbon storage in Lake States forests. *Forest Ecology and Management*, 262: 424-431.
- Puhlick, J.J., Weiskittel, AR., Fernandez, I.J., Fraver, S, Kenefic, LS., Seymour, RS., Kolka, RK., Rustad, LE., Brissette, JC. 2016. Long-term influence of alternative forest management treatments on total ecosystem and wood product carbon storage. *Can. J. For. Res.*, 46: 1404-1412. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2016-0193>
- Pukkala, T. 2014. Does biofuel harvesting and continuous cover management increase carbon sequestration?. *For. Policy Econ.*, 43, 41
- Pukkala, T. 2016. Which type of forest management provides most ecosystem services? *Forest Ecosystems*, 3: 9.
- Ruiz-Peinado, R., Bravo-Oviedo, A., Lopez-Senespleda, E., Bravo, F. and Río, M. 2017. Forest management and carbon sequestration in the Mediterranean region: A review. *Forest Systems*, 26(2):25, eR04S. 10.5424/fs/2017262-11205.
- Saraçoğlu, N., 1988. Kızılağaç (*Alnus glutinosa* Gaertn. subsp. *barbata* (CA Mey.) Yalt.) Gövde Hacım ve Biyokütle Tablolarının Düzenlenmesi. Basılmamış Doktora Tezi. KTÜ Orman Fakültesi, 105 s.
- Sathre, R., and O'Connor, J. 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 O'Connor, J. 2010B. Meta-analysis of greenhouse gas displacement factors of wood product substitution. *Environmental Science & Policy*, 13: 104–114.
- Spittlehouse, D. 2005. Integrating climate change adaptation into forest management, *The Forestry Chronicle*, 81(5): 691-695.
- Stephenson, N., Das, A., Condit, R. et al. 2014. Rate of tree carbon accumulation increases continuously with tree size. *Nature*, 507, 90–93. <https://doi.org/10.1038/nature12914>
- Taylor, A.R., Wang, J.R., Kurz, WA. 2018. Effects of harvesting intensity on carbon stocks in eastern Canadian red spruce (*Picea rubens*) forests: An exploratory analysis using the CBM-CFS3 simulation model, *Forest Ecology and Management*, 255(10):3632-3641, <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.02.052>.
- Tolunay, D., 2012. Bolu-Aladağ'daki Genç Sarıçam Meşcereleri için Oluşturulan Bitkisel Kütle Denklemi ve Katsayıları. *Journal of the Faculty of Forestry, Istanbul University (JFFIU)*, 62(2): 97-111.
- Valeria, G., Ville, H., Roni, K., Mitja, N., Vesa, N., Michael P. 2013. Impacts of forest management practices on forest carbon. In HENVI Workshop 2013: Interdisciplinary approach to forests and climate change Helsinki University Centre for Environment, HENVI University of Helsinki

- Wang, J, Wang, H, Fu, X, Xu, M., Wang, Y., 2016. Effects of site preparation treatments before afforestation on soil carbon release. *Forest Ecology and Management*, 361: 277-285.
- Ying-Ta, C., Zheng, C., Ching-Ter. 2011. Chang Efficiently mapping an appropriate thinning schedule for optimum carbon sequestration: An application of multi-segment goal programming. *Forest Ecology and Management*, 262:1168–1173.
- Zhang, J., Powers R. and Skinner, CN. 2010. To Manage or Not to Manage: The Role of Silviculture in Sequestering Carbon in the Specter of Climate Change. *USDA Forest Service Proceedings RMRS-P-61*.



Copyright: © 2022 by the author. Licensee ArtGRID, Türkiye. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).