



Farklı yaş sınıfı dağılımlarına sahip kızılçam ormanlarında odun üretimi ve karbon birikimi fonksiyonlarının doğrusal programlama tekniği ile optimizasyonu

Yusuf Derelli¹, Sedat Keleş^{2*}

¹ Çankırı Karatekin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği ABD, 18200, Çankırı

² Çankırı Karatekin Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, 18200, Çankırı

MAKALE KÜNYESİ

Geliş Tarihi: 22/02/2023

Kabul Tarihi: 24/03/2023

<https://doi.org/10.53516/ajfr.1254973>

* Sorumlu yazar:

sedatkeles@karatekin.edu.tr

ÖZ

Araştırma Makalesi

Çalışmanın temel amacı, farklı yaş sınıfı dağılımlarına sahip kızılçam ormanlarının odun üretimi ve karbon birikimi fonksiyonlarını birlikte ele alan optimizasyon modellerinin geliştirilmesidir. Bu kapsamda öncelikle, farklı yaş sınıfı dağılımlarına sahip hipotetik kızılçam ormanları oluşturulmuştur. Daha sonra, odun üretimi ve karbon birikimi değerleri sayısallaştırılarak, uzun dönem için çok amaçlı orman amenajmanı

planlama modellemesi yapılmıştır. Planlama modellerine karbon birikimi fonksiyonun dahil edilmesinin, planlama süresi sonunda ilgili ormandan elde edilecek toplam net bugünkü değer üzerine olan katkıları ortaya konulmuştur. Çok amaçlı orman amenajmanı planlama problemi, doğrusal programlama tekniğine dayalı olarak modellenmiştir. Planlama süresi 100 yıl ve planlama periyodu 10 yıl olarak alınmıştır. Farklı özelliklere sahip planlama senaryolarının çözümü sonucunda, ormanların sunmuş olduğu iki önemli fonksiyon olan odun üretimi ve karbon birikimi üzerinde, aktüel orman kuruluşlarının önemli etkiye sahip olduğu görölmüştür.

Anahtar Kelimeler: İklim değişikliği, modelleme, net bugünkü değer, orman amenajmanı, sürdürülebilirlik

Optimization of wood production and carbon sequestration functions in Turkish red pine forests with different age-classes distribution with linear programming technique

ABSTRACT

The main purpose of the study is to develop optimization models that deal with the wood production and carbon sequestration functions of Turkish red pine forests with different age-classes distribution. In this context, first of all, hypothetical red pine forests with different forest structures created. Then, wood production and carbon sequestration values were quantified and multi-purpose forest management planning modeling for the long term was made. The contribution of the inclusion of the carbon sequestration value to the planning models on the total net present value to be obtained from the relevant forest at the end of the planning period has been revealed. The multi-purpose forest management planning problem is modeled based on the linear programming technique. The planning horizon is taken as 100 years and the planning period as 10 years. As a result of the solution of planning scenarios with different characteristics, it has been seen that the current forest ecosystem structures have a significant effect on wood production and carbon sequestration which are two important values provided by forests.

Key Words: Climate change, modeling, net present value, forest management, sustainability

Bu makaleye atf:

Derelli, Y., Keleş, S., 2023. Farklı yaş sınıfı dağılımlarına sahip kızılçam ormanlarında odun üretimi ve karbon birikimi fonksiyonlarının doğrusal programlama tekniği ile optimizasyonu. Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi, 9(1), 1-13.



This article is licensed under CC BY-NC-SA 4.0

1. Giriş

Orman ekosistemleri sürdürülebilir bir şekilde planlanıp işletildiği takdirde topluma ve çevreye, kaliteli ve sürekli su üretimi, toprak koruma, biyolojik çeşitlilik koruma, farklı kalite ve çaplarda odun üretimi, değişik odun dışı orman ürünleri sağlama, estetik ve rekreasyon gibi ekolojik, ekonomik ve sosyo-kültürel fonksiyonlar sunmaktadır. Diğer taraftan, orman ekosistemlerinin sunmuş olduğu tüm fonksiyonların miktar ve kalitesi üzerinde, orman ekosisteminin mevcut yapı ve kuruluşu önemli derecede etkiye sahiptir (Keleş ve Başkent, 2007; Başkent ve ark., 2008; Keleş ve ark., 2018).

Orman ekosistemleri, atmosferde yer alan CO₂'nin büyük bir bölümünü fotosentez yoluyla biyokütlelerinde absorbe etmekte ve böylece atmosferdeki sera gazlarının azaltılmasına büyük katkılar sağlamaktadır (Cacho et al., 2003). Orman ekosistemlerinin küresel iklim değişikliğini önleme veya azaltma yönündeki olumlu yönleri nedeniyle, karbon depolama fonksiyonunun orman amenajman planlarına sayısal olarak dahil edilmesi yönünde çalışmaların yoğunlaşmasına neden olmuştur (Asante and Armstrong, 2012). Hoen and Solberg (1994) alternatif silvikültürel müdahalelere göre şekillenen farklı planlama stratejileri geliştirmek suretiyle, karbon birikimi değerinin hem miktar hem de ekonomik olarak analizini yapmışlardır. Creedy and Wurzbacher (2001), odun üretimi, karbon birikimi ve su üretimi fonksiyonlarını içerecek şekilde ormanlık bir havzada optimal yönetim stratejisinin geliştirilmesi ve optimal idare süresinin belirlenmesine yönelik bir çalışma yapmışlardır. Meng et al. (2003), odun üretimi, karbon birikimi ve yaban hayatı amaçlarını içerecek çok amaçlı bir orman amenajmanı planlama modeli geliştirmişlerdir. Diaz-Balteiro and Romero (2003), odun üretimi amaçlı bir orman amenajmanı planlama problemine karbon birikimi değerini entegre etmiştir. Backeus et al. (2005), oldukça büyük bir orman alanında, odun üretimi ve karbon birikimi fonksiyonlarını hem miktar hem de ekonomik değer itibarıyla birlikte ele alan bir model geliştirmişlerdir. Diaz-Balteiro and Rodriguez (2006), okaliptüs plantasyonlarında, karbon birikimi ve odun üretimi fonksiyonlarını birlikte ele alan orman amenajmanı planlama problemlerinde, ekonomik ve aynı zamanda optimal idare sürelerini belirlemeye çalışmışlardır. Keleş and Başkent (2007), bir orman ekosisteminde, karbon birikimi ve odun üretimi değerlerini içeren doğrusal programlama tabanlı çok amaçlı orman amenajmanı planlama modeli geliştirmiştir. Başkent et al. (2008) ve Başkent ve Keleş (2009) ormanların sunmuş olduğu ve içerisinde karbon birikimi değerinin olduğu değişik orman fonksiyonlarını içeren doğrusal programlama tabanlı çok amaçlı orman planlama modeli geliştirmişlerdir. Raymer et al. (2009), net karbon birikimini içeren bir orman amenajmanı planlama modeli geliştirmişlerdir. Çalışmada doğrusal programlama tekniğine dayalı farklı planlama stratejileri geliştirmişlerdir. Geliştirilen planlama stratejilerinde, farklı karbon birikimi hedeflerinin, odun üretiminden elde edilen NBD üzerinde etkileri araştırılmıştır. Keleş (2010) sarıçam meşcerelerinden oluşan bir planlama biriminde, odun üretimi ve karbon birikimi değerlerini doğrusal programlama tekniği kullanarak birlikte optimize etmiştir. Keleş (2015) yaptığı bir çalışmada kavak plantasyonlarında, Keleş (2017) diğer bir çalışmada ise kızılçam plantasyonlarında, hem odun üretimi hem de karbon birikimi değerinin olması durumunda, optimum

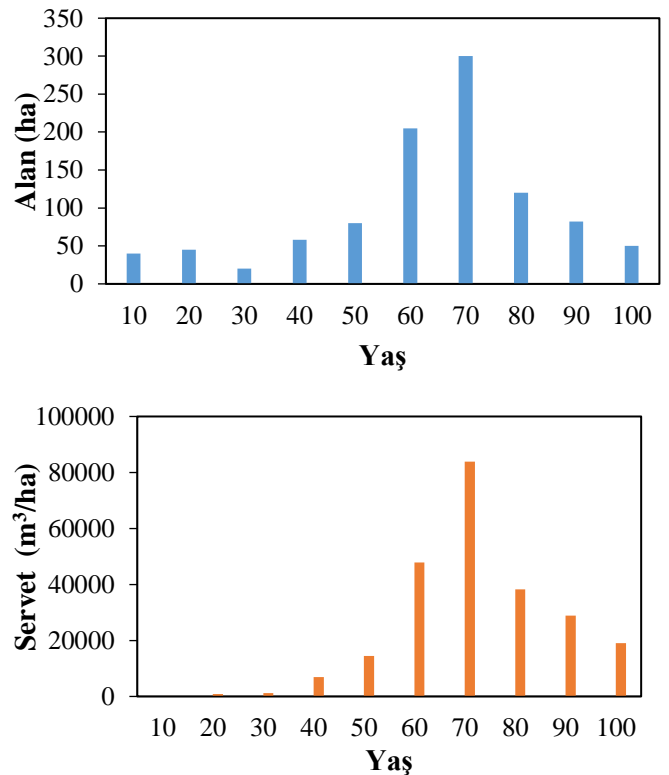
idare sürelerinin ne olması gerektiğinin çözümünü bulmaya çalışmıştır. Qin et al. (2017), odun üretimi ve karbon birikimini içeren konumsal orman amenajmanı planlama problemlerinde, farklı birim karbon fiyatlarının odun ve karbon arasındaki etkileşimleri üzerine olan etkilerini araştırmışlardır. Dong et al. (2018), farklı ekolojik ve ekonomik kısıtların, odun üretimi ve karbon birikimi değerlerini içeren planlama modeli üzerine etkilerini analiz etmişlerdir.

Diğer taraftan, bu çalışmaların sınırlı sayıda olduğu ve değişik orman ekosistemlerinde odun üretimi ve karbon depolama fonksiyonunun birlikte üretimini dikkate alacak ve bilimsel karar verme tekniklerini verimli bir şekilde kullanacak bu konu ile ilgili ayrıntılı analiz/araştırmaların yapılması gerekliliği, önemini halen korumaktadır. Buradan hareketle yapılan bu çalışmada, önemli bir ağaç türü olan ve farklı yaş sınıfları dağılımlarına sahip kızılçam ormanlarında, odun üretimi ve karbon depolama fonksiyonlarının birlikte üretimi, doğrusal programlama tekniği ile modellenmiş ve sonuçlar ortaya konularak tartışılmıştır.

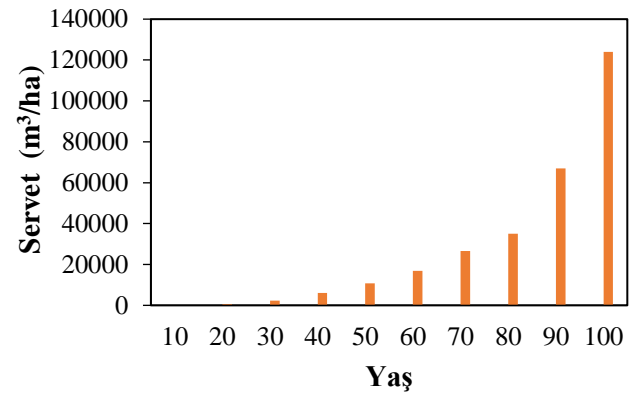
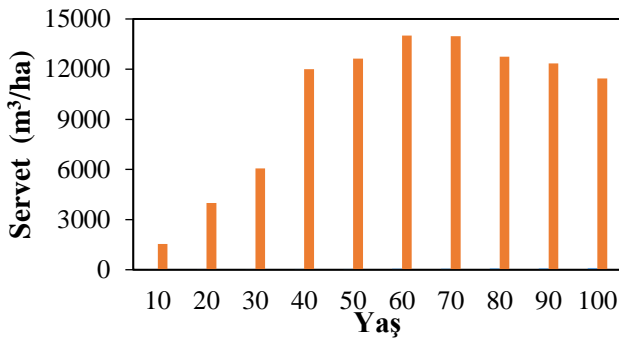
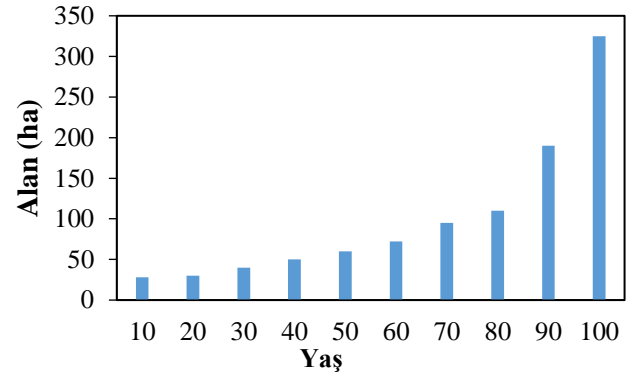
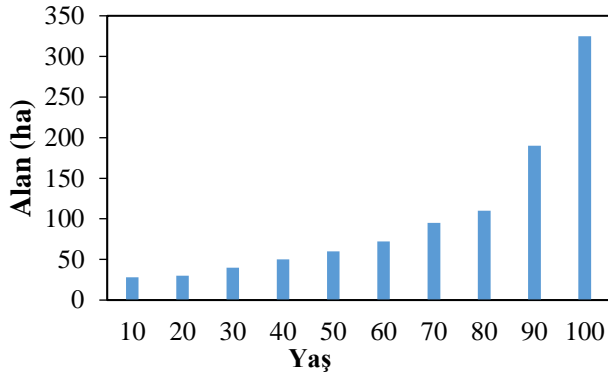
2. Materyal ve Yöntem

2.1 Aktüel orman kuruluşlarının belirlenmesi

Bu çalışmada öncelikle ülkemizde doğal olarak yetişen kızılçam ormanlarının sergileyebileceği farklı aktüel kuruluşlara sahip (örneğin genç-yaşlı meşcere ağırlıklı, orta-yaşlı meşcere ağırlıklı, yaşlı-meşcere ağırlıklı, düzensiz yaş sınıfları dağılımı gibi) hipotetik ormanlar oluşturulmuştur (Şekil 1-5). Her bir orman kuruluşunun toplam alanı 1000 ha olarak kabul edilmiştir.



Şekil 1. Orta yaşlı orman alanının aktüel kuruluşunda yaş sınıflarındaki alan ve ağaç serveti dağılımı



Şekil 2. Genç orman alanının aktüel kuruluşunda yaş sınıflarındaki alan ve ağaç serveti dağılımı

Şekil 3. Yaşlı orman alanının aktüel kuruluşunda yaş sınıflarındaki alan ve ağaç serveti dağılımı

2.2 Odun üretimi ve NBD'lerin hesaplanması

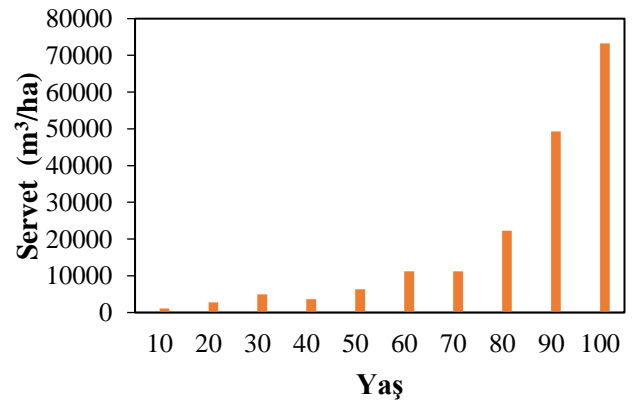
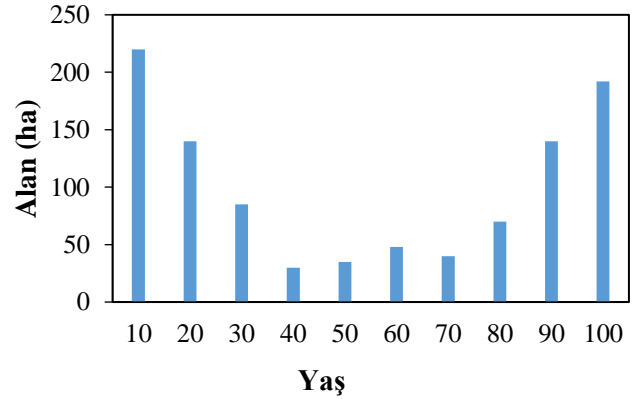
Meşcere parametrelerinin tahmin edilmesinde, kızılçam ağaç türü için Yeşil (1992) tarafından geliştirilmiş sıklığa bağlı hasılat tablosu kullanılmıştır. Odun ürün çeşitlerinin tahmin edilmesinde yine Yeşil (1992) tarafından kızılçam ağaç türü için geliştirilmiş odun ürün çeşitleri oranlarını/miktarlarını gösteren tablolardan yararlanılmıştır.

Odun üretimine yönelik gelir ve gider verilerinin elde edilmesinde Orman Genel Müdürlüğü'nün web sayfasından her yıl düzenli olarak yayınlanan istatistiki verilerden faydalanılmıştır. Net bugünkü değerin (NBD) hesaplanmasında aşağıdaki denklem kullanılmıştır.

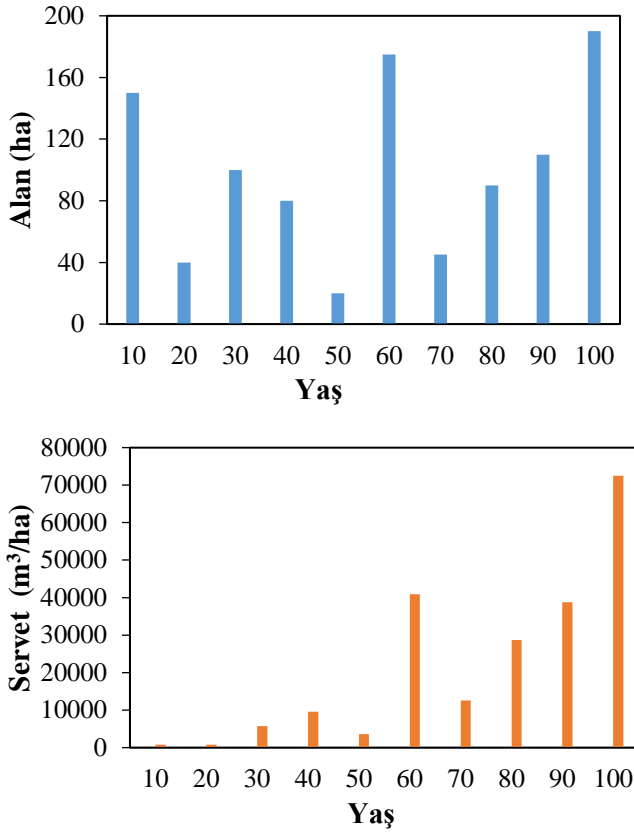
$$NBD = \sum_{t=0}^T \frac{B - C}{(1 + r)^t} \quad (1)$$

Burada, NBD: meşcerenin planlama dönemi sonundaki dikili haldeki değerini de içeren net bugünkü değeri, B: gelirler, C: giderler, r: faiz veya iskonto oranı, t: planlama dönemi/yılı, T: idare süresini göstermektedir.

Bu kapsamda odun üretimine ilişkin net bugünkü değerin hesaplanmasında öncelikle gelirler tahmin edilmiştir. Bunun için, belirli bir dönemde elde edilecek toplam üretim hacminin ürün çeşitlerine dağılımı, odun ürün çeşitleri tablosundan bulunmuştur. Bu ürünlere ilişkin satış fiyatlarının ortalaması alınmak suretiyle ortalama fiyatlar belirlenmiştir. Birim satış fiyatlarının ve üretilen miktarların çarpılmasıyla da gelirler elde edilmiştir. Giderlerin belirlenmesinde ise üretim giderleri, tarife bedeli, satış gideri, tevzi gideri gibi gider kalemleri kullanılmıştır.



Şekil 4. Genç-Yaşlı orman alanının aktüel kuruluşunda yaş sınıflarındaki alan ve ağaç serveti dağılımı



Şekil 5. Düzensiz orman alanının aktüel kuruluşunda yaş sınıflarındaki alan ve ağaç serveti dağılımı

2.3 Biyokütle ve karbon depolama miktarlarının hesaplanması

Biyokütle hesabı için öncelikle topraküstü biyokütle miktarları hesaplanmıştır. Bunun için topraküstü biyokütle tahmininde Ünsal (2007) tarafından kızılçam ağaç türü için ağaç ve/veya birim alan düzeyinde geliştirilen biyokütle denklemleri kullanılmıştır. Toprakaltı biyokütle tahmini için Tolunay (2011, 2013) tarafından ülkemiz için belirtilen biyokütle dönüşüm faktörleri kullanılmıştır. Biyokütlede depolanan karbon miktarı ise yine aynı yazar tarafından belirtilen sabit katsayıyla çarpılarak hesaplanmıştır.

Karbon depolama fonksiyonuna ilişkin net bugünkü değer hesaplanması için ise öncelikle orman ekosisteminin belirli periyotlardaki karbon birikimi sayısal olarak tahmin edilmiştir. Bu ise, ekosistemdeki girdi (büyüme) ve çıktı (odun üretimi, ayrışma) arasındaki farka göre tahmin edilmiştir. Bunun için aşağıdaki eşitlikten faydalanılmıştır (Diaz-Balterio and Romero, 2003).

$$Kb_t = [\gamma(V^t - V^{t-1} + H_t) - KE_t] \quad (2)$$

Burada Kb_t : t periyodundaki karbon birikimi, odun biyokütlesindeki karbon içeriği, H_t : t periyodunda üretilen hacim, V_t : t periyodunun sonundaki son envanter hacmini, KE_t ise t periyodundaki karbon emisyon miktarını ifade etmektedir.

Hem odun üretimi hem de karbon birikimi değerlerini içerecek şekilde bir optimizasyon modeli kurulduğu zaman, net

bugünkü değer eniyilenmesi aşağıdaki eşitliğe göre yapılmıştır (Pohjola and Valsta, 2007).

$$Max = \sum_{t=0}^T (h_t - l_t)(1+r)^{-t} + \sum_{t=0}^T cp * Kb_t(1+r)^{-t} \quad (3)$$

Burada h_t belirli bir zamanda/periyotta aralama veya son hasılat kesimlerinden elde edilecek gelirleri, l_t odun üretiminden kaynaklanacak giderleri, Kb_t karbon birikimi sonucu alınacak teşvik miktarını göstermektedir. Ancak burada belirli bir zamanda odun üretimi sonucu oluşacak karbon emisyonu (KE_t) bir maliyet/vergi olarak modele dahil edilmektedir. T idare süresine ve r ise iskonto oranına karşılık gelmektedir.

2.4 Modelin oluşturulması

Bu aşamada, öncelikle planlama problemi için doğrusal programlama tekniğine yönelik matrisler oluşturulmuştur. Bunun için ağaç serveti matrisleri, η matrisleri, alan matrisleri, yaş sınıfı matrisleri, karbon birikimi matrisleri, net bugünkü değer matrisleri kurulmuştur. Matrislerin oluşturulmasında MS Excel programı ile makrolardan yararlanılmıştır. Modelin temel bileşenleri (karar değişkenleri, amaç fonksiyonu, kısıtlayıcı denklemler) de matrislere bağlı olarak oluşturulmuş ve neticede doğrusal programlama tekniğine dayalı planlama modeli kurulmuştur.

Planlama modelinin geliştirilmesinde birtakım varsayımlar dikkate alınmıştır. Çalışma kapsamında oluşturulacak farklı kuruluştaki hipotetik kızılçam ormanlarının ortalama bonitet endeksine sahip olduğu varsayılmıştır. Değişik sıklıkta ve miktarda yapılacak aralama müdahalelerinin orman yapı ve kuruluşu ile odun üretimi ve karbon birikimi fonksiyonları üzerine olan etkilerini analiz etmek için, bu ormanların normal sıklıkta olduğu kabul edilmiştir. Daha önceki dönemlerde yapılan üretim, gençleştirme, ağaçlandırma, katlanılan giderler veya elde edilen gelirler, karbon depolama miktarları vs modellere dahil edilmemiştir. Yani modeller şu anki yapı ve kuruluş üzerinden geliştirilip, ileriye dönük kestirimler yapılmıştır. Geliştirilen model deterministik yapıdadır. Yani yangın, böcek, fırtına gibi riskler modellere dahil edilmemiştir. Yine odun üretimi veya karbon birikimleri için kullanılacak ekonomik değerler mutlak/kesin değerler olarak alınmıştır. Zamana bağlı olarak meydana gelebilecek fiyat dalgalanmaları (farklı karbon/odun fiyatlarının kullanılması hariç) dikkate alınmamıştır. Modelin kurulup koşuturulacağı ormanlar için herhangi bir arazi kira bedelinin olmadığı varsayılmıştır. Son hasılat kesimine alınacak meşcerelerin başarılı bir şekilde gençleştirileceği ve gelişimini hasılat tablosuna göre gerçekleştirileceği kabul edilmiştir. Kesime bağlı olarak oluşabilecek karbon emisyonunun kesimi takiben hemen meydana geleceği kabul edilmiştir.

2.5 Alternatif planlama senaryolarının geliştirilmesi

Orman amenajmanında planlama senaryoları denildiğinde, bir planlama birimi veya ünitesinden, belirli bir zaman diliminde, beklenen farklı amaçlar, hedefler, kısıtlayıcı koşullar, meşcerelere uygulanacak doğal veya yapay müdahaleler ile en uygun planlama tekniğinin seçilmesi gibi "kararlar dizisi" anlaşılmaktadır (Keleş, 2008). Bu çalışma kapsamında alternatif

planlama senaryolarının oluşturulmasında yukarıdaki tanıma uygun yol izlenmiştir. Örneğin amaç; bir stratejide odun üretiminden elde edilen gelirin eniyilenmesi olabileceği gibi, başka bir stratejide odun üretimi ve karbon depolama fonksiyonundan elde edilecek toplam net bugünkü değer eniyilenmesi olabilecektir. Bununla birlikte modele farklı kısıtlayıcıların (alan kontrolü, eta kontrolü, son envanter kısıtı, belirli periyotlar için veya planlama süresi sonunda odun üretimi veya karbon birikimi hedefi vs.) eklenmesi ile çok sayıda senaryolar üretilmiş ve bunlardan bazıları bu çalışma kapsamında analiz edilmiştir.

Bu çalışma kapsamında geliştirilen temel planlama senaryolarının (Çizelge 1) geliştirilmesinde dikkate alınan temel varsayımlar şu şekildedir.

* İdare süresini dolduran meşcerelerin gençleştirilebileceği ve herhangi bir periyotta herhangi bir bakım müdahalesinin uygulanmayacağı

* Karbon birim fiyatının 100 TL olduğu

* Odun ürün çeşitleri itibarıyla net gelirlerin 1. Sınıf tomruk için 320 TL, 2. Sınıf tomruk için 260 TL, 3. Sınıf Tomruk için 175 TL, Maden Direği için 135 TL, Sanayi Odunu için 120 TL ve Yakacak Odun için 35 TL olduğu

* Aktüel orman formlarının başlangıçta 1 sıklığında olduğu ve gençleştirmeden sonra yine 1 sıklığında gelişimini sürdüreceği

* Aktüel orman formlarının başlangıçta aynı bonitette olduğu ve müdahaleden sonra yine aynı bonitette gelişimini sürdüreceği

* Odun üretimi ve karbon birikimi değerlerinin hesaplanmasında iskonto oranının %3 olarak alındığı

* Meşcerelerin kesimden sonra, tutmuş olduğu karbonu hemen atmosfere geri verdiği

* Planlama yörüngesinin 100 ve planlama periyodunun 10 yıl olduğu

* İdare süresinin 70 yaş olduğu kabul edilmiştir.

Çizelge 1. Çalışma kapsamında geliştirilen temel planlama senaryoları (* Optimal periyodik faydalanma alanı)

Senaryolar	Amaç	Kısıtlayıcılar
T1	Maksimum Odun NBD	* Kısıt Yok
T2	Maksimum Odun NBD	* Son Envanter Kısıtı
T3	Maksimum Odun NBD	* Periyotlar Arası Eşit Eta Kısıtı
T4	Maksimum Odun NBD	* Eşit OPA* kısıtı
T5	Maksimum Odun NBD	* Periyotlar Arası %20 Eta Kısıtı * Eşit OPA kısıtı
TC1	Maksimum Odun+Karbon NBD	* Kısıt Yok
TC2	Maksimum Odun+Karbon NBD	* Son Envanter Kısıtı
TC3	Maksimum Odun+Karbon NBD	* Periyotlar Arası Eşit Eta Kısıtı
TC4	Maksimum Odun+Karbon NBD	* Eşit OPA kısıtı
TC5	Maksimum Odun+Karbon NBD	* Periyotlar Arası %20 Eta Kısıtı * Eşit OPA kısıtı

2.6 Modellerin çözülmesi ve sunumu

Geliştirilen doğrusal programlama tabanlı planlama modellerinin çözümü LINGO yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Bu yazılım gerek ormancılıkta gerekse optimizasyon tekniklerinin kullanıldığı pek çok alanda yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Daha önce bu yazılıma aşina olmamız nedeniyle, model çözümlerinde bu yazılım tercih sebebi olmuştur. Geliştirilen modele bağlı olarak üretilen alternatif planlama senaryolarının çözüm sonuçlarına ilişkin çıktılar (zamana bağlı servet değişimi, eta miktarları, net bugünkü değerler, yaş sınıfı dağılımı, karbon birikimi miktarları vs) çizelge, grafik ve metin formatında sunulmuştur. Bunun için MS Office programlarından yararlanılmıştır.

3. Sonuçlar

T1 planlama senaryosunun amacı maksimum Odun NBD' sidir ve herhangi bir kısıt bulunmamaktadır. Orman kuruluşları arasında en yüksek odun üretimini YO (yaşlı orman) (611251 m³) vermiştir. Bunu 77623 m³'lük fark ile OYO (orta yaşlı orman) orman kuruluşu takip etmektedir. En düşük odun üretimine ise GO (genç orman) orman kuruluşu sahiptir. Odun NBD açısından en yüksek değeri 44126115 TL ile YO, en düşük değeri ise 18037166 TL ile GO vermektedir. Net karbon birikiminde en yüksek değeri GO ve en düşük YO vermektedir. Karbon NBD'de en yüksek değer -771548 TL ile GO'da ve en düşük değer -10307292 TL ile YO'da gerçekleşmiştir. Odun üretimi ve karbon birikiminden elde edilen toplam NBD'de ise en yüksek değer YO ve en düşük değer GO'da çıkmıştır (Çizelge 2).

Çizelge 2. Orman kuruluşlarına göre T1 planlama senaryosunun model sonuçları

Orman Kuruluşu	Model Sonuçları				
	Odun Üretimi (m ³)	Odun NBD (TL)	Net Karbon Birikimi (Ton)	Karbon NBD (TL)	Odun ve Karbon NBD (TL)
OYO	533628	36667418	-118536	-7734975	28932444
GO	396536	18037166	-26360	-771548	17265617
YO	611251	44126115	-137854	-10307292	33818823
GYO	498592	30423989	-70993	-5343777	25080212
DO	490197	33276339	-84129	-6350758	26925581

T2 plan senaryosunun amacı maksimum Odun NBD' sidir ve son envanter kısıtı bulunmaktadır. Orman kuruluşları arasında en yüksek odun üretimini 462138 m³ ile GYO, en düşük odun üretimini ise 423721 m³ GO vermiştir. Odun NBD açısından en yüksek değeri 34866752 TL ile OYO'da, en düşük değeri ise 17206164 TL ile GO'da gerçekleşmiştir. Net karbon

birikiminde en yüksek değeri GO ve en düşük değeri YO vermektedir. Karbon NBD açısından en yüksek değer -371756 TL ile GO'da ve -10102736 TL ile YO'da gerçekleşmiştir. Odun üretimi ve karbon birikiminden elde edilen toplam NBD'de ise en yüksek değeri YO verirken, en düşük değeri ise GO vermektedir (Çizelge 3).

Çizelge 3. Orman kuruluşlarına göre T2 planlama senaryosunun model sonuçları

Orman Kuruluşu	Model Sonuçları				
	Odun Üretimi (m ³)	Odun NBD (TL)	Net Karbon Birikimi (Ton)	Karbon NBD (TL)	Odun ve Karbon NBD (TL)
OYO	453389	34866752	-48793	-6986953	27879798
GO	423721	17206164	-37792	-371756	16834408
YO	443105	41417753	-55183	-10102736	31315017
GYO	462138	29767031	-44904	-5089085	24677946
DO	459132	32207683	-47997	-5927164	26280520

T3 plan senaryosunun amacı maksimum Odun NBD' sidir ve periyotlar arası eşit eta kısıtı bulunmaktadır. Orman kuruluşları arasında en yüksek odun üretimini 585421 m³ ile YO verirken, en düşük odun üretimini ise 330226 m³ ile GO vermiştir. Odun NBD açısından en yüksek değeri 28156237 TL ile YO, en düşük değeri ise 15469488 TL ile GO vermiştir. Planlama yörüngesi sonunda net karbon birikimi açısından, en

yüksek değeri -1614 ton ile GO ve en düşük değeri ise -145980 ton YO vermiştir. Karbon NBD bağlamında, en yüksek değeri GO ve en düşük değeri YO orman kuruluşları vermiştir. Odun üretimi ve karbon birikiminden elde edilen toplam NBD'de ise, en yüksek değer 22861185 TL ile YO'da elde edilirken, en düşük değer ise 15986752 TL ile GO'da elde edilmiştir (Çizelge 4).

Çizelge 4. Orman kuruluşlarına göre T3 planlama senaryosunun model sonuçları

Orman Kuruluşu	Model Sonuçları				
	Odun Üretimi (m ³)	Odun NBD (TL)	Net Karbon Birikimi (Ton)	Karbon NBD (TL)	Odun ve Karbon NBD (TL)
OYO	548446	25776413	-117465	-4058112	21718301
GO	330226	15469488	-1614	517264	15986752
YO	585421	28156237	-145980	-5295052	22861185
GYO	497403	23650001	-91637	-3167227	20482774
DO	530755	25149444	-105517	-3660498	21488946

Amacı maksimum odun NBD'si olan ve eşit OPA kısıtı bulunan T4 planlama senaryosunda, orman kuruluşları arasında en yüksek odun üretimi 526057 m³ ile YO'da ve en düşük odun üretimi ise 414671 m³ ile GO'da gerçekleşmiştir. Odun NBD'de en yüksek değer sırasıyla YO, DO (düzensiz orman), OYO, GYO (genç-yaşlı orman) ve GO orman kuruluşlarında elde edilmiştir. Planlama yörüngesi sonundaki net karbon

birikimi açısından, en yüksek değer YO ve en düşük değer GO'da gerçekleşmiştir. Karbon NBD'de en yüksek değer -327027 TL ile GO'da elde edilirken, en düşük değer ise -6792131 TL ile YO'da elde edilmiştir. Odun üretimi ve karbon birikiminden elde edilen toplam NBD'de ise, en yüksek değer YO ve en düşük değer GO'da gerçekleşmiştir (Çizelge 5).

Çizelge 5. Orman kuruluşlarına göre T4 planlama senaryosunun model sonuçları

Orman Kuruluşu	Model Sonuçları				
	Odun Üretimi (m ³)	Odun NBD (TL)	Net Karbon Birikimi (Ton)	Karbon NBD (TL)	Odun ve Karbon NBD (TL)
OYO	526057	28856466	-110119	-5043271	23813196
GO	414671	16762187	-38872	-327027	16435160
YO	559707	33068706	-137439	-6792131	26276575
GYO	488116	26878480	-90386	-4138277	22740203
DO	514187	29778957	-103580	-5080903	24698054

T5 plan senaryosunun amacı maksimum Odun NBD' sidir. Bu planlama senaryosunda, periyotlar arası %20 eta kısıtı ve eşit OPA kısıtları bulunmaktadır. Orman kuruluşları arasında en yüksek odun üretimini YO, model çözümü olmayan GO hariç tutulursa, en düşük odun üretimini 489594 m³ ile GYO

vermiştir. Odun NBD açısından en yüksek değeri YO, en düşük değeri ise GO vermiştir. Planlama yörüngesi sonunda net karbon birikimi açısından, en yüksek değeri GO ve en düşük YO vermiştir. Planlama yörüngesi sonundaki karbon NBD değeri, en yüksek GO ve en düşük YO vermiştir

Odun üretimi ve karbon birikiminden elde edilen toplam NBD'de ise, en yüksek değer 23702742 TL ile YO'da ve en düşük değer ise 20 609811 TL ile GYO'da gerçekleşmiştir. (Çizelge 6).

Çizelge 6. Orman kuruluşlarına göre T5 planlama senaryosunun model sonuçları

Orman Kuruluşu	Model Sonuçları				
	Odun Üretimi (m ³)	Odun NBD (TL)	Net Karbon Birikimi (Ton)	Karbon NBD (TL)	Odun ve Karbon NBD (TL)
OYO	529098	26302614	-109957	-4133018	22169596
GO	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok
YO	556168	29334377	-136041	-5631635	23702742
GYO	489594	23762335	-88428	-3152523	20609811
DO	519687	26693639	-101770	-4083890	22609749

TC1 planlama senaryosunun amacı odun üretimi ve karbon birikiminden elde edilen toplam NBD'nin eniyilenmesidir ve herhangi bir kısıt bulunmamaktadır. Orman kuruluşları arasında en yüksek odun üretimini 611251 m³ ile YO verirken, en düşük odun üretimini 396536 m³ ile GO orman kuruluşu vermiştir. Odun NBD açısından en yüksek değeri YO, en düşük değeri ise GO vermiştir. Planlama yörüngesi sonundaki net karbon

birikimi açısından, en yüksek değer -26360 ton ile GO'da, en düşük değer ise -137854 ton ile YO'da gerçekleşmiştir. Planlama yörüngesi sonundaki karbon NBD toplamı, en yüksek GO ve en düşük YO orman kuruluşunda gerçekleşmiştir. Odun üretimi ve karbon birikiminden elde edilen toplam NBD'de ise, en yüksek değer 28932444 TL ile OYO'da ve en düşük değer 17265619 TL ile GO'da gerçekleşmiştir (Çizelge 7).

Çizelge 7. Orman kuruluşlarına göre TC1 planlama senaryosunun model sonuçları

Orman Kuruluşu	Model Sonuçları				
	Odun Üretimi (m ³)	Odun NBD (TL)	Net Karbon Birikimi (Ton)	Karbon NBD (TL)	Odun ve Karbon NBD (TL)
OYO	533628	36667418	-118536	-7734975	28932444
GO	396536	18037166	-26360	-771548	17265619
YO	611251	44126115	-137854	-10307292	33818823
GYO	498592	30423989	-70993	-5343777	25080212
DO	490197	33276339	-84129	-6350758	26925581

TC2 planlama senaryosunun amacı odun üretimi ve karbon birikiminden elde edilen toplam NBD'nin eniyilenmesidir ve bu senaryoda son envanter kısıtı bulunmamaktadır. TC2 planlama senaryosunda orman kuruluşları arasında en yüksek odun üretimi OYO'da ve en düşük odun üretimi ise GO'da çıkmıştır. Odun NBD'de en yüksek değerler sırasıyla YO, OYO, DO, GYO ve GO orman kuruluşlarında çıkmıştır. Net karbon

birikimi açısından ise en yüksek değer GO ve en düşük değer YO'da çıkmıştır. Planlama yörüngesi sonundaki toplam karbon NBD değeri, en yüksek -371756 TL ile GO'da ve en düşük ise -9259471 TL ile YO'da gerçekleşmiştir. Planlama yörüngesi sonunda odun üretimi ve karbon birikiminden elde edilen toplam NBD'de ise, en yüksek değeri YO ve en düşük değeri GO vermiştir (Çizelge 8).

Çizelge 8. Orman kuruluşlarına göre TC2 planlama senaryosunun model sonuçları

Orman Kuruluşu	Model Sonuçları				
	Odun Üretimi (m ³)	Odun NBD (TL)	Net Karbon Birikimi (Ton)	Karbon NBD (TL)	Odun ve Karbon NBD (TL)
OYO	451723	34774025	-48176	-6847886	27926139
GO	423721	17206164	-37792	-371756	16834408
YO	441939	41352844	-54751	-9259471	32093373
GYO	438962	29330682	-41983	-4527165	24803517
DO	436023	31776144	-45108	-5399636	26376507

TC3 planlama senaryosunun amacı odun üretimi ve karbon birikiminden elde edilen toplam NBD'nin eniyilenmesidir ve bu senaryoda periyotlar arası eşit eta kısıtı bulunmamaktadır. Orman kuruluşları arasında en yüksek odun üretimini 584464 m³ ile YO, en düşük odun üretimi miktarını ise 33024 m³ ile GO orman kuruluşu vermiştir. Odun NBD açısından en yüksek değeri YO, en düşük değeri ise GO vermiştir. Net karbon birikimi açısından, en yüksek değer -4203 ton ile GO'da, ve en düşük değer -

145475 ton ile OYO'da çıkmıştır. Planlama yörüngesi sonundaki karbon NBD açısından, en yüksek değer GO ve en düşük değer YO orman kuruluşunda gerçekleşmiştir. Planlama yörüngesi sonunda odun üretimi ve karbon birikiminden elde edilen toplam NBD'de ise, en yüksek değer 22950555 TL ile YO'da ve en düşük değer 16260866 TL ile GO'da çıkmıştır (Çizelge 9).

Çizelge 9. Orman kuruluşlarına göre TC3 planlama senaryosunun model sonuçları

Orman Kuruluşu	Model Sonuçları				
	Odun Üretimi (m ³)	Odun NBD (TL)	Net Karbon Birikimi (Ton)	Karbon NBD (TL)	Odun ve Karbon NBD (TL)
OYO	544248	25667885	-116151	-3834542	21833343
GO	330824	15319663	-4203	941202	16260866
YO	584464	28088066	-145475	-5137510	22950555
GYO	497403	23648441	-91413	-3165281	20483159
DO	530673	25147088	-105367	-3657442	21489646

TC4 planlama senaryosunun amacı odun üretimi ve karbon birikiminden elde edilen toplam NBD'nin eniyilenmesidir ve bu senaryoda eşit OPA kısıtı bulunmaktadır. Orman kuruluşları arasında en yüksek odun üretimi 559380 m³ ile YO'da, en düşük odun üretimi ise 414671 m³ ile GO orman kuruluşunda gerçekleşmiştir. Odun NBD açısından en yüksek değeri YO, en düşük değeri ise GO vermiştir. Planlama yörüngesi sonundaki net karbon birikimi açısından, en yüksek değer -38872 ton ile

GO'da ve en düşük değer ise -136530 ton OYO'da çıkmıştır. Planlama yörüngesi sonundaki karbon NBD değerini, en yüksek GO ve en düşük değeri ise YO orman kuruluşu vermiştir. Planlama yörüngesi sonunda odun üretimi ve karbon birikiminden elde edilen toplam NBD'de ise, en yüksek değer 26358690 TL ile YO'da, en düşük değer ise 16435160 TL ile GO'da çıkmıştır (Çizelge 10).

Çizelge 10. Orman kuruluşlarına göre TC4 planlama senaryosunun model sonuçları

Orman Kuruluşu	Model Sonuçları				
	Odun Üretimi (m ³)	Odun NBD (TL)	Net Karbon Birikimi (Ton)	Karbon NBD (TL)	Odun ve Karbon NBD (TL)
OYO	525420	28714651	-109973	-4848888	23865764
GO	414671	16762187	-38872	-327027	16435160
YO	559380	32987886	-136530	-6629197	26358690
GYO	488116	26878480	-89228	-4134740	22743740
DO	514187	29778957	-102012	-5076485	24702473

TC5 planlama senaryosunun amacı odun üretimi ve karbon birikiminden elde edilen toplam NBD'nin eniyilenmesidir ve periyotlar arası %20 eta kısıtı ile eşit OPA kısıtları modelde yer almaktadır. TC5 planlama senaryosunda orman kuruluşları arasında en yüksek odun üretimi YO ve en düşük odun üretimi ise, model çözümü olmayan GO hariç tutulursa, GYO'da gerçekleşmiştir. Planlama yörüngesi sonundaki odun NBD'de en yüksek değerler sırasıyla YO, DO, OYO, GYO ve GO orman kuruluşlarında çıkmıştır. Planlama yörüngesi sonundaki net

karbon birikimi açısından, en yüksek değer GYO, model çözümü olmayan GO hariç tutulursa, en düşük değer YO orman kuruluşunda çıkmıştır. Karbon NBD toplamı, en yüksek -3152523 TL ile GYO'da, en düşük değeri ise -5455545 TL ile YO'da gerçekleşmiştir. Planlama yörüngesi sonunda odun üretimi ve karbon birikiminden elde edilen toplam NBD'de ise, en yüksek değer YO ve en düşük değer GYO'da gerçekleşmiştir. (Çizelge 11).

Çizelge 11. Orman kuruluşlarına göre TC5 planlama senaryosunun model sonuçları

Orman Kuruluşu	Model Sonuçları				
	Odun Üretimi (m ³)	Odun NBD (TL)	Net Karbon Birikimi (Ton)	Karbon NBD (TL)	Odun ve Karbon NBD (TL)
OYO	528772	26229681	-109789	-3986026	22243655
GO	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok
YO	555589	29270444	-135855	-5455545	23814899
GYO	489594	23762335	-88428	-3152523	20609811
DO	519687	26693639	-101770	-4083890	22609749

Ana amacı odun üretiminden elde edilen NBD'nin eniyilendiği tüm T planlama senaryoları ile odun üretimi ve karbon birikiminden elde edilen toplam NBD'nin eniyilendiği tüm TC planlama senaryolarında, en yüksek toplam NBD değeri YO orman kuruluşunda elde edilmiştir. YO orman kuruluşunun TC planlama senaryolarında periyotlara bağlı odun üretimi

miktarları Çizelge 12'de, planlama yörüngesi sonundaki yaş sınıfı dağılımı Şekil 6'da verilmiştir. Ayrıca YO orman kuruluşunda TC5 planlama senaryosuna göre periyotlara bağlı odun ürün çeşitleri Çizelge 13'de ve net karbon birikimi değerleri Şekil 7'de verilmiştir.

Çizelge 12. YO orman kuruluşunun TC planlama senaryolarında periyotlara göre odun üretimi miktarları (m3)

Periyotlar	Model Sonuçları				
	TC1	TC2	TC3	TC4	TC5
1	273461	273461	58446	171458	73594
2	22944	22944	58446	0	58876
3	19120	19120	58446	0	47100
4	15934	15934	58446	62958	56521
5	12747	12747	58446	56994	62902
6	9560	9560	58446	64650	64650
7	8923	0	58446	52964	52964
8	229442	88173	58446	45524	45524
9	0	0	58446	50337	46818
10	19120	0	58446	54494	46640
TOPLAM	441939	584464	559380	555589	611251

Çizelge 13. YO orman kuruluşunun TC5 planlama senaryolarında periyotlara göre odun ürün çeşitleri miktarları (m3)

Periyotlar	Odun Ürün Çeşitleri					
	1 Sınıf Tomruk	2 Sınıf Tomruk	3 Sınıf Tomruk	Maden Direği	Sanayi Odunu	Yakacak Odun
1	4393	6596	30871	11121	9159	1108
2	3471	5419	25903	8440	6951	841
3	2775	4341	20771	6733	5545	671
4	3232	4912	23528	8759	7223	840
5	3661	5876	28388	8766	7221	867
6	3769	6133	29744	8765	7219	872
7	2947	4365	21010	8715	7193	813
8	2131	3130	16462	8550	7080	706
9	2273	3339	17218	8596	7114	726
10	2254	3310	17114	8590	7109	723
TOPLAM	30907	47421	231009	87034	71815	8168

4. Tartışma

Çalışma kapsamında farklı aktüel yaş sınıflarına sahip kızılçam ormanlarında, odun üretimi ve karbon birikimi fonksiyonlarının birlikte optimal üretimi konusu ele alınmıştır. Bu amaçla doğrusal programlama tekniğine dayalı çok amaçlı bir orman amenajman planlama modeli geliştirilmiştir. Amaç fonksiyonun odun üretiminden elde edilen NBD ile hem odun hem de karbon birikiminden elde edilen toplam NBD değerlerinin eniyilendiği ve ayrıca farklı üretimi düzenleyici politikaların modele dahil edildiği farklı planlama senaryoları geliştirilmiştir.

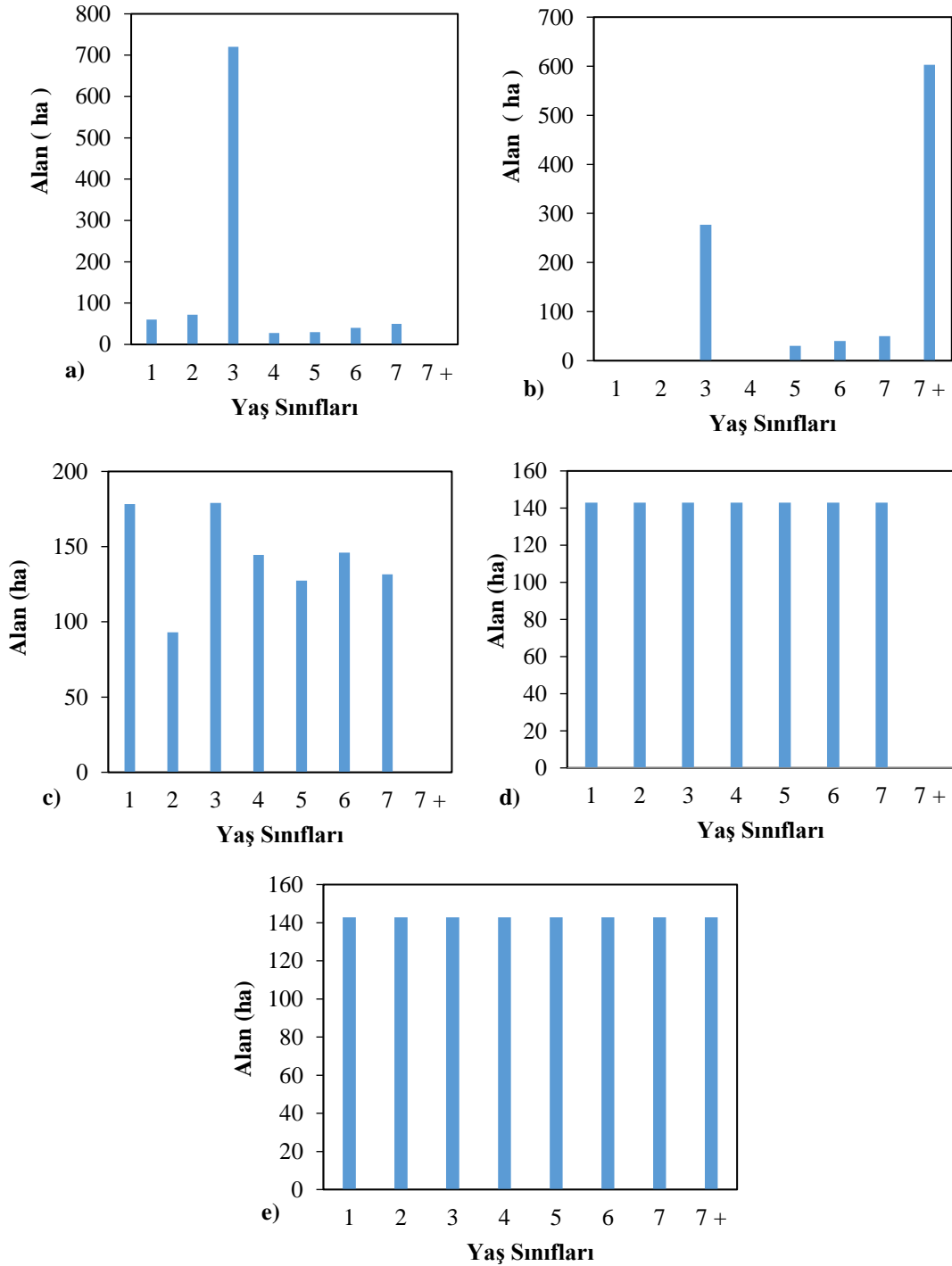
Buradan hareketle yapılan çalışma sonucunda, odun üretiminden elde edilen NBD'nin eniyilendiği T1-T5 planlama senaryoları birlikte değerlendirildiğinde, en yüksek odun üretimi T1 planlama senaryosunda ve YO'da gerçekleşmiştir. En düşük odun üretimi miktarı T3 planlama senaryosunda ve GO'da gerçekleşmiştir. Herhangi bir kısıtın yer almadığı T1 senaryosuna son envanter kısıtının eklendiği T2 senaryosunda, sadece GO'da odun üretimi miktarında bir artış gözlenirken, diğer tüm ormanlarda bir azalma meydana gelmiştir. Periyotlar arası eşit eta kısıtının modele dahil edildiği T3 planlama senaryosu T1 planlama senaryosu ile kıyaslandığı zaman, sadece OYO ve DO' da odun üretimi miktarlarının arttığı, diğer üç orman kuruluşunda ise azalma meydana geldiği görülmüştür. Eşit OPA kısıtının modele dahil edildiği T4 planlama senaryosu T1 planlama senaryosu ile kıyaslandığı zaman, sadece GO ve DO'da odun üretimi miktarlarının arttığı, diğer üç ormanda ise

azalma meydana geldiği görülmüştür. Hem eşit OPA hem de periyotlar arası %20 eta kısıtının modele dahil edildiği T5 planlama senaryosu T1 planlama senaryosu ile kıyaslandığı zaman, sadece DO'da odun üretimi miktarlarının arttığı, diğer üç ormanda ise azalma meydana geldiği görülmüştür.

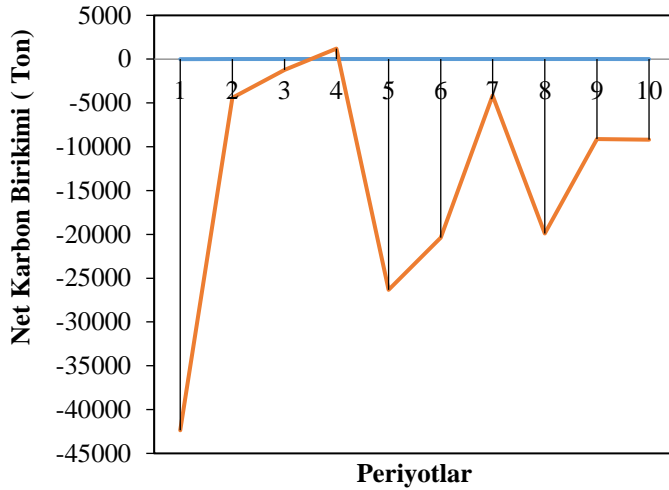
Odun üretiminden elde edilen NBD'nin eniyilendiği T1-T5 planlama senaryoları, planlama yörüngesi sonunda odun üretiminden elde edilen NBD açısından birlikte değerlendirildiğinde, en yüksek odun NBD T1 planlama senaryosunda ve YO'da gerçekleşmiştir. T5 planlama senaryosunun GO'da verdiği çözümsüz sonuç hariç tutulduğunda, en düşük odun NBD miktarı T3 planlama senaryosunda ve GO'da gerçekleşmiştir. Herhangi bir kısıtın yer almadığı T1 senaryosu ile farklı kısıtlayıcıların modele dahil edildiği T2-T5 planlama senaryoları kıyaslandığı zaman, tüm planlama senaryolarında ve tüm orman kuruluşlarında odun üretimi NBD değerlerinde azalmalar meydana gelmiştir. Düzenleyici kısıtların orman amenajman planlama modellerine dahil edilmesi çoğunlukla ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Örneğin Haight et al. (1992) yaptıkları bir çalışmada, hacim düzenleme kısıtının planlama modeline dahil edilmesi durumunda, kısıtsız modele göre NBD'de %5 oranında bir azalma olduğunu hesaplamışlardır. Başkent ve Keleş (2009) geliştirdikleri çok amaçlı bir orman amenajmanı planlama modelinde, üretimi düzenleyici kısıtların modele dahil edilmesi durumunda, odun üretiminden elde edilen NBD'nin %24 oranında azaldığını göstermişlerdir.

Odun üretiminden elde edilen NBD'nin eniyilendiği T1-T5 planlama senaryoları, planlama yörüngesi sonunda odun üretiminden elde edilen NBD açısından birlikte değerlendirildiğinde, en yüksek odun NBD T1 planlama senaryosunda ve YO'da gerçekleşmiştir. T5 planlama senaryosunun GO'da verdiği çözümsüz sonuç hariç tutulduğunda, en düşük odun NBD miktarı T3 planlama senaryosunda ve GO'da gerçekleşmiştir. Herhangi bir kısıtın yer almadığı T1 senaryosu ile farklı kısıtlayıcıların modele dahil edildiği T2-T5 planlama senaryoları kıyaslandığı zaman, tüm planlama senaryolarında ve tüm orman kuruluşlarında odun

üretimi NBD değerlerinde azalmalar meydana gelmiştir. Düzenleyici kısıtların orman amenajman planlama modellerine dahil edilmesi çoğunlukla ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Örneğin Haight et al. (1992) yaptıkları bir çalışmada, hacim düzenleme kısıtının planlama modeline dahil edilmesi durumunda, kısıtsız modele göre NBD'de %5 oranında bir azalma olduğunu hesaplamışlardır. Başkent ve Keleş (2009) geliştirdikleri çok amaçlı bir orman amenajmanı planlama modelinde, üretimi düzenleyici kısıtların modele dahil edilmesi durumunda, odun üretiminden elde edilen NBD'nin %24 oranında azaldığını göstermişlerdir.



Şekil 6. YO orman kuruluşunun a) TC1 b) TC2 c) TC3 d) TC4 ve e) TC5 için planlama yörüngesi sonundaki yaş sınıfı dağılımı



Şekil 7. YO orman kuruluşunun TC5 planlama senaryosunda periyotlara bağlı net karbon birikimi miktarları

Odun üretiminden elde edilen NBD'nin eniyilendiği T1-T5 planlama senaryoları, planlama yörüngesi sonunda odun üretiminden elde edilen NBD açısından birlikte değerlendirildiğinde, en yüksek odun NBD T1 planlama senaryosunda ve YO'da gerçekleşmiştir. T5 planlama senaryosunun GO'da verdiği çözümsüz sonuç hariç tutulduğunda, en düşük odun NBD miktarı T3 planlama senaryosunda ve GO'da gerçekleşmiştir. Herhangi bir kısıtın yer almadığı T1 senaryosu ile farklı kısıtlayıcıların modele dahil edildiği T2-T5 planlama senaryoları kıyaslandığı zaman, tüm planlama senaryolarında ve tüm orman kuruluşlarında odun üretimi NBD değerlerinde azalmalar meydana gelmiştir. Düzenleyici kısıtların orman amenajman planlama modellerine dahil edilmesi çoğunlukla ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Örneğin Haight et al. (1992) yaptıkları bir çalışmada, hacim düzenleme kısıtının planlama modeline dahil edilmesi durumunda, kısıtsız modele göre NBD'de %5 oranında bir azalma olduğunu hesaplamışlardır. Başkent ve Keleş (2009) geliştirdikleri çok amaçlı bir orman amenajmanı planlama modelinde, üretimi düzenleyici kısıtların modele dahil edilmesi durumunda, odun üretiminden elde edilen NBD'nin %24 oranında azaldığını göstermişlerdir.

Odun üretiminden elde edilen NBD'nin eniyilendiği T1-T5 planlama senaryoları, planlama yörüngesi sonunda elde edilen net karbon birikimi açısından birlikte değerlendirildiğinde, tüm planlama senaryolarında ve orman kuruluşlarında, net karbon birikimi değerlerinin negatif sonuç verdiği görülmüştür. En yüksek net karbon birikimi, T5 planlama senaryosunun GO'da verdiği çözümsüz sonuç hariç tutulduğunda, T3 planlama senaryosunda ve GO'da gerçekleşmiştir. En düşük net karbon birikimi miktarı ise T3 planlama senaryosunda ve YO'da gerçekleşmiştir. Herhangi bir kısıtın yer almadığı T1 senaryosuna son envanter kısıtının eklendiği T2 senaryosunda, sadece GO'da net karbon birikimi miktarında bir azalış gözlenirken, diğer tüm ormanlarda bir artış meydana gelmiştir. Periyotlar arası eşit eta kısıtının modele dahil edildiği T3 planlama senaryosu T1 planlama senaryosu ile kıyaslandığı zaman, sadece OYO ve GO'da net karbon birikimi miktarlarının arttığı, diğer üç orman kuruluşunda ise azalma meydana geldiği görülmüştür. Eşit OPA kısıtının modele dahil

edildiği T4 planlama senaryosu T1 planlama senaryosu ile kıyaslandığı zaman, sadece OYO ve YO'da net karbon birikimi miktarlarının arttığı, diğer üç ormanda ise azalma meydana geldiği görülmüştür. Hem eşit OPA hem de periyotlar arası %20 eta kısıtının modele dahil edildiği T5 planlama senaryosu T1 planlama senaryosu ile kıyaslandığı zaman, yine OYO ve YO'da net karbon birikimi miktarlarının arttığı, diğer üç ormanda ise azalma meydana geldiği görülmüştür.

Odun üretiminden elde edilen NBD'nin eniyilendiği T1-T5 planlama senaryoları, planlama yörüngesi sonunda elde edilen karbon NBD değerleri açısından birlikte değerlendirildiğinde, sadece T3 planlama senaryosunda ve GO'da karbon NBD pozitif değer verirken, diğer tüm planlama senaryolarında ve orman kuruluşlarında negatif sonuç verdiği görülmüştür. En yüksek karbon NBD değeri, T5 planlama senaryosunun GO'da verdiği çözümsüz sonuç hariç tutulduğunda, T3 planlama senaryosunda ve GO'da gerçekleşmiştir. En düşük karbon NBD miktarı ise T1 planlama senaryosunda ve YO'da gerçekleşmiştir. Herhangi bir kısıtın yer almadığı T1 senaryosu ile farklı kısıtlayıcıların modele dahil edildiği T2-T5 planlama senaryoları kıyaslandığı zaman, tüm planlama senaryolarında ve tüm orman kuruluşlarında karbon NBD değerlerinde azalmalar meydana gelmiştir. Başkent ve Keleş (2009) geliştirdikleri çok amaçlı bir orman amenajmanı planlama modelinde, karbon birikimi hedeflerinin modele dahil edilmesiyle, odun üretiminin %2,8 ve odun üretiminden elde edilen NBD'nin %6,6 oranında azaldığını bulmuşlardır.

Odun üretiminden elde edilen NBD'nin eniyilendiği T1-T5 planlama senaryoları, planlama yörüngesi sonunda odun üretimi ve karbon birikiminden elde edilen toplam NBD açısından birlikte değerlendirildiğinde, en yüksek toplam NBD T1 planlama senaryosunda ve YO'da gerçekleşmiştir. T5 planlama senaryosunun GO'da verdiği çözümsüz sonuç hariç tutulduğunda, en düşük toplam NBD miktarı T3 planlama senaryosunda ve GO'da gerçekleşmiştir. Herhangi bir kısıtın yer almadığı T1 senaryosu ile farklı kısıtlayıcıların modele dahil edildiği T2-T5 planlama senaryoları kıyaslandığı zaman, tüm planlama senaryolarında ve tüm orman kuruluşlarında toplam NBD değerlerinde azalmalar meydana gelmiştir.

Odun üretimi ve karbon birikiminden elde edilen NBD'nin eniyilendiği TC1-TC5 planlama senaryoları birlikte değerlendirildiğinde, en yüksek odun üretimi (eta miktarı) TC1 planlama senaryosunda ve YO'da gerçekleşmiştir. TC5 planlama senaryosunun GO'da verdiği çözümsüz sonuç hariç tutulduğunda, en düşük odun üretimi miktarı TC3 planlama senaryosunda ve GO'da gerçekleşmiştir. Herhangi bir kısıtın yer almadığı TC1 senaryosuna son envanter kısıtının eklendiği TC2 senaryosunda, sadece GO'da odun üretimi miktarında bir artış gözlenirken, diğer tüm ormanlarda bir azalma meydana gelmiştir. Periyotlar arası eşit eta kısıtının modele dahil edildiği TC3 planlama senaryosu TC1 planlama senaryosu ile kıyaslandığı zaman, sadece OYO ve DO'da odun üretimi miktarlarının arttığı, diğer üç orman kuruluşunda ise azalma meydana geldiği görülmüştür. Eşit OPA kısıtının modele dahil edildiği TC4 planlama senaryosu TC1 planlama senaryosu ile kıyaslandığı zaman, sadece GO ve DO'da odun üretimi miktarlarının arttığı, diğer üç ormanda ise azalma meydana geldiği görülmüştür. Hem eşit OPA hem de periyotlar arası %20 eta kısıtının modele dahil edildiği TC5 planlama senaryosu TC1 planlama senaryosu ile kıyaslandığı zaman, sadece DO'da odun

üretimi miktarlarının arttığı, diğer üç ormanda ise azalma meydana geldiği görülmüştür. Keleş ve Başkent (2007), artan net karbon birikimine bağlı olarak, hem odun üretimi miktarında hem de odun üretiminden elde edilen NBD'de önemli ölçüde düşüşlerin olduğunu göstermişlerdir.

Odun üretimi ve karbon birikiminden elde edilen NBD'nin eniyilendiği TC1-TC5 planlama senaryoları, planlama yörüngesi sonunda odun üretiminden elde edilen NBD açısından birlikte değerlendirildiğinde, en yüksek odun NBD TC1 planlama senaryosunda ve YO'da gerçekleşmiştir. TC5 planlama senaryosunun GO'da verdiği çözümsüz sonuç hariç tutulduğunda, en düşük odun NBD miktarı TC3 planlama senaryosunda ve GO'da gerçekleşmiştir. Herhangi bir kısıtın yer almadığı TC1 senaryosu ile farklı kısıtlayıcıların modele dahil edildiği TC2-TC5 planlama senaryoları kıyaslandığı zaman, tüm planlama senaryolarında ve tüm orman kuruluşlarında odun üretimi NBD değerlerinde azalmalar meydana gelmiştir. Hoen and Solberg (1994) karbon ve odun üretimini birlikte ele aldıkları modelleme çalışmasında, karbon birikiminden elde edilecek parasal değer yerine karbon birikimini maksimize ettiklerinde, orman değerlerinden elde edilen NBD'nin %8,1-14,9 oranında azaldığını belirtmişlerdir. Diaz-Balteiro and Romero (2003), orman ekosistemleri tarafından biriktirilen karbon, orman amenajman planlamasına yönelik optimizasyon modellerine dahil edildiği zaman, NBD'de azalmalar gerçekleştirdiğini bulmuşlardır. Odun üretiminin eniyilendiği kısıtsız planlama problemi ile karbon birikiminin eniyilendiği kısıtsız planlama problemi arasında, odun üretiminden elde edilen NBD'deki azalma %28 iken, iki problem arasında net karbon birikimindeki azalma %51 oranında gerçekleşmiştir. Raymer et al. (2005) karbon ve odun üretimi değerlerini birlikte eniyilediği çalışmada, karbon değerinin bir kısıt olarak artırılmasına bağlı olarak, odun üretiminden elde edilen gelirin azaldığını belirtmişlerdir. Karbon birikimi değerinin maksimize edildiği model stratejilerinde, odun üretiminden elde edilen NBD'nin %39-94 arasında azaldığını göstermişlerdir. Backeus et al. (2005), karbon birikim miktarındaki bir artışın, odun üretiminden elde edilen NBD'yi azalttığını ve aynı zamanda daha düşük üretim düzeylerinin gerçekleştiğini belirtmişlerdir. Yine bu çalışmada, karbonun birim ton başına 1200 İsveç Kronu alınması durumunda, üretimin sonlandığını bulmuşlardır.

Odun üretimi ve karbon birikiminden elde edilen NBD'nin eniyilendiği TC1-TC5 planlama senaryoları, planlama yörüngesi sonunda elde edilen net karbon birikimi açısından birlikte değerlendirildiğinde, tüm planlama senaryolarında ve orman kuruluşlarında, net karbon birikimi değerlerinin negatif sonuç verdiği görülmüştür. En yüksek net karbon birikimi, TC5 planlama senaryosunun GO'da verdiği çözümsüz sonuç hariç tutulduğunda, TC3 planlama senaryosunda ve GO'da gerçekleşmiştir. En düşük net karbon birikimi miktarı ise TC3 planlama senaryosunda ve YO'da gerçekleşmiştir. Herhangi bir kısıtın yer almadığı TC1 senaryosuna son envanter kısıtının eklendiği TC2 senaryosunda, sadece GO'da net karbon birikimi miktarında bir azalış gözlenirken, diğer tüm ormanlarda bir artış meydana gelmiştir. Periyotlar arası eşit eta kısıtının modele dahil edildiği TC3 planlama senaryosu TC1 planlama senaryosu ile kıyaslandığı zaman, sadece OYO ve GO'da net karbon birikimi miktarlarının arttığı, diğer üç orman kuruluşunda ise azalma meydana geldiği görülmüştür. Eşit OPA kısıtının modele dahil edildiği TC4 planlama senaryosu TC1 planlama senaryosu

ile kıyaslandığı zaman, sadece OYO ve YO'da net karbon birikimi miktarlarının arttığı, diğer üç ormanda ise azalma meydana geldiği görülmüştür. Hem eşit OPA hem de periyotlar arası %20 eta kısıtının modele dahil edildiği TC5 planlama senaryosu TC1 planlama senaryosu ile kıyaslandığı zaman, yine OYO ve YO'da net karbon birikimi miktarlarının arttığı, diğer üç ormanda ise azalma meydana geldiği görülmüştür.

Odun üretimi ve karbon birikiminden elde edilen NBD'nin eniyilendiği TC1-TC5 planlama senaryoları, planlama yörüngesi sonunda elde edilen karbon NBD değerleri açısından birlikte değerlendirildiğinde, sadece TC3 planlama senaryosunda ve GO'da karbon NBD pozitif değer verirken, diğer tüm planlama senaryolarında ve orman kuruluşlarında negatif sonuç verdiği görülmüştür. En yüksek karbon NBD değeri, TC5 planlama senaryosunun GO'da verdiği çözümsüz sonuç hariç tutulduğunda, TC3 planlama senaryosunda ve GO'da gerçekleşmiştir. En düşük karbon NBD miktarı ise TC1 planlama senaryosunda ve YO'da gerçekleşmiştir. Herhangi bir kısıtın yer almadığı TC1 senaryosu ile farklı kısıtlayıcıların modele dahil edildiği TC2-TC5 planlama senaryoları kıyaslandığı zaman, tüm planlama senaryolarında ve tüm orman kuruluşlarında karbon NBD değerlerinde azalmalar meydana gelmiştir.

Odun üretimi ve karbon birikiminden elde edilen NBD'nin eniyilendiği TC1-TC5 planlama senaryoları, planlama yörüngesi sonunda odun üretimi ve karbon birikiminden elde edilen toplam NBD açısından birlikte değerlendirildiğinde, en yüksek toplam NBD TC1 planlama senaryosunda ve YO'da gerçekleşmiştir. TC5 planlama senaryosunun GO'da verdiği çözümsüz sonuç hariç tutulduğunda, en düşük toplam NBD miktarı TC3 planlama senaryosunda ve GO'da gerçekleşmiştir. Herhangi bir kısıtın yer almadığı TC1 senaryosu ile farklı kısıtlayıcıların modele dahil edildiği TC2-TC5 planlama senaryoları kıyaslandığı zaman, tüm planlama senaryolarında ve tüm orman kuruluşlarında toplam NBD değerlerinde azalmalar meydana gelmiştir.

Sonuç olarak, orman ekosistemlerinin sunmuş olduğu ürün ve hizmetlerin miktar ve kalitesi doğrudan orman yapı ve kuruluşuna bağlı olarak değişmektedir. Orman ekosistemlerinin dinamik yapısının iyi anlaşılması, orman ekosistemlerinden çok amaçlı ve maksimum düzeyde faydalanabilmek için temel koşuldur. Bu kapsamda doğrusal programlama gibi farklı optimizasyon tekniklerine dayanan orman amenajman planlama modellerinin geliştirilmesi, sürdürülebilir ormancılıkta ve ormanların ekosistem tabanlı çok amaçlı planlanmasında son derece önemlidir. Bu tarz sayısal modellerin geliştirilmesi, hem orman yöneticilerine hem de karar vericilere, karmaşık orman amenajmanı problemlerinin çözümünde yardımcı olmaktadır.

Teşekkür

Bu makale, Prof. Dr. Sedat KELEŞ danışmanlığında yürütülen ve Yusuf DERELLİ tarafından 2019'da Çankırı Karatekin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsünde yapılan "Farklı Aktüel Kuruluşa Sahip Kızılçam Ormanlarında Odun Üretimi ve Karbon Birikimi Fonksiyonlarının Optimal Üretim Planlaması" adlı yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

Kaynaklar

- Asante, P., Armstrong, G.W., 2012. Optimal forest harvest age considering carbon sequestration in multiple carbon pools: a comparative statics analysis. *Journal of Forest Economics*, 18, 145-156.
- 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, E.Z., Keleş, S., Yolaşğmaz, H.A., 2008. Comparing multi-purpose forest management with timber management in incorporating timber, carbon and oxygen values: A case study. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 23 (2), 105-120.
- Baskent, E.Z., Keleş, S., 2009. "Developing alternative forest management planning strategies incorporating timber, water and carbon values: an examination of their interactions. *Environmental Modeling and Assessment*, 14, 467-480.
- Başkent, E.Z., Keleş, S., Kadioğulları, A.İ., Bingöl, Ö., 2011. Quantifying the effects of forest management strategies on the production of forest values: timber, carbon, oxygen, water and soil. *Environmental Modelling and Assessment*, 16, 145-152.
- Cacho, O.J., Hean, R.L., Wise, R.M., 2003. Carbon-accounting methods and reforestation incentives", *The Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 47 (2), 153-179.
- Creedy, J., Wurzbacher, A.D., 2001. The economic value of a forested catchment with timber, water and carbon sequestration benefits. *Ecological Economics*, 38, 71-83.
- Diaz-Balteiro, L., Romero, C., 2003. Forest management optimisation models when carbon captured is considered: a goal programming approach. *Forest Ecology and Management*, 174, 447-457.
- Diaz-Balteiro, L., Rodriguez, L.C.E., 2006. Optimal rotations on Eucalyptus plantations including carbon sequestration- A comparison of results in Brazil and Spain. *Forest Ecology and Management*, 229, 247-258.
- Dong, L., Lu, W., Liu, Z., 2018. Developing alternative forest Spatial management plans when carbon and timber values are considered: a real case from northeastern China. *Ecological Modelling*, 385, 45-57.
- Hoen, H.F., Solberg, B., 1994. Potential and economic efficiency of carbon sequestration in forest biomass through silvicultural management. *Forest Science*, 40, 429-451.
- Keleş, S., Başkent, E.Z., 2007. Modeling and analyzing timber production and carbon sequestration values of forest ecosystems: A case study. *Polish Journal of Environmental Studies*, 16 (3), 473-479.
- Keleş, S., 2008. Designing and developing a decision support system for forest management planning. *Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye*, 209 s.
- Keleş, S., 2010. Forest optimization models including timber production and carbon sequestration values of forest ecosystems: a case study. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, 17 (6), 468-474.
- Keleş, S., 2015. Optimum cutting ages in hybrid poplar plantations including carbon sequestration: a case study in Turkey. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 22 (3), 339-349.
- Keleş, S., 2017. Determining optimum cutting ages including timber production and carbon sequestration benefits in Turkish Pine Plantations. *Sains Malaysiana*, 46 (3), 381-386.
- Keleş, S., Derelli, Y., Erciyez, T.N., 2018. Farklı konumsal özelliklerin orman amenajman planlama modeline dahil edilmesi: Örnek bir uygulama. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 4(2), 114-121.
- Meng, F.R., BourQue, C.P.A., Oldford, S.P., Swift, D.E., Smith, H.C., 2003. Combining carbon sequestration objectives with timber management planning. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 8, 371-403.
- Pohjola, J., Valsta, L., 2007. Carbon credits and management of Scots pine and Norway spruce stands in Finland. *Forest Policy and Economics*, 9 (7), 789-798.
- Qin, H., Dong, L., Huang, Y., 2017. Evaluating the effects of carbon prices on trade-offs between carbon and timber management objectives in forest Spatial harvest scheduling problems: a case study from northeast China. *Forests*, 8, 43.
- Raymer, A.K.P., Gobakken, T., Hoen, H.F., Solberg, B. 2005. Optimal forest management and cost-effectiveness when increasing the carbon benefit from a forest area* A case study of Hedmark County in Norway. *Manuscript. In A. K. P. Raymer, Modeling and analyzing climate gas impacts of forest management, PhD thesis, Norwegian University of Life Sciences.*
- Raymer, A.K., Gobakken, T., Solberg, B., Hoen, H.F., Bergseng, E., 2009. A forest optimisation model including carbon flows: application to a forest in Norway. *Forest Ecology and Management*, 258, 579-589.
- Tolunay, D. 2011. Total carbon stock and carbon accumulation in living tree biomass in forest ecosystems of Turkey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 35 (3), 265-279.
- Tolunay, D. 2013. Coefficients that can be used to calculate biomass and carbon amounts from increment and growing stock in Turkey. *Proceedings of the International Symposium for the 50th Anniversary of the Forestry Sector Planning in Turkey, Antalya, Turkey*, pp.240-251.
- Ünsal, A., 2007. Construction of biomass tables of redpine in Karaisalı Forest Administration in Adana Forest Regional Directorate. *Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi Orman Fakültesi, BARTIN*, 62 s.
- Yeşil, A., 1992. Değişik sıklık ve bonitetteki kızılçam meşcerelerinin yaşa göre gelişimi. *Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul*, 179 s.