

Son Hâsılat Kesim Planlarının Amaç Programlama Kullanılarak Hazırlanması

Preparation of Final Yield Harvest Plans by Using Goal Programming

 Mehmet DEMİRCİ¹

Özet

Bu çalışmada, aynıyaşlı koru ormanlarının son hâsılat kesim planlarının hazırlanmasında amaç programlamanın kullanımı incelenmiştir. Çalışmada kullanılan doğrusal amaç programlama modelinin amaç fonksiyonu, yıllık gençleştirme sahası (82,84 ha) ve yıllık son hâsılat etası (15.692 m³) hedeflerinden sapmaları en aza indirmektedir. Çalışmanın kısıtlarını ise toplamları 25 ha veya daha fazla olan komşu bölmecik çiftlerinin erteleme süresi (3 yıl) boyunca birlikte gençleştirilmemesi ile toplamları 6 ha veya daha az olan komşu bölmecik çiftlerinin aynı yıl gençleştirilmesi oluşturmaktadır. Model, Lingo 18 kullanılarak 11 farklı senaryo için çözülmüştür. Alan ve hacim sapmaları birlikte değerlendirildiğinde en iyi sonucu veren Senaryo 3'te, yıllık gençleştirme alanı hedefinden toplam sapma 1,64 ha, diğer bir deyişle periyodik gençleştirme alanının sadece %0,20'si kadardır. Yıllık son hâsılat etası hedefinden toplam sapma ise 303 m³tür (periyodik son hâsılat etasının %0,19'u kadar). Çalışmada uygulanan yöntem kızılçam ormanlarının son hâsılat kesim planlarının ve detay silvikültür planlarının hazırlanmasında rahatlıkla kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Amaç programlama, Erteleme süresi, Komşuluk, Son hâsılat kesim planı

Abstract

In this study, the use of goal programming in preparing the final yield harvest plans of the even-aged high forests was examined. The objective function of the linear goal programming model used in the study minimized deviations from the annual regeneration area (82.84 ha) and the annual final yield harvest volume (15.692 m³) targets. The constraints of the study were that adjacent stand pairs with a total of 25 ha or more could not be regenerated together during the green-up period (3 years), and the adjacent stand pairs totaling 6 ha or less had to be regenerated in the same year. The model was solved for 11 different scenarios using Lingo 18. In Scenario 3, which provided the best results, when the area and volume deviations are evaluated together, the total deviation from the annual regeneration area target was 1.64 ha, in other words, only 0.20% of the periodic regeneration area. The total deviation from the annual final yield harvest volume target was only 303 m³ (0.19% of the periodic final yield harvest volume). The method applied in the study can be used in the preparation of the final yield harvest plans and detailed silviculture plans of red pine forests.

Keywords: Adjacency, Final yield, Goal programming, Green-up period, Harvest plan

1. Giriş

Ormanlar, gıda güvenliğinin sağlanmasından, yaşam koşullarının iyileştirilmesine; kırsal fakirliğin azaltılmasından, barınmaya; toprağın korunmasından, oksijen üretimine; biyolojik çeşitliliğin korunmasından karbon tutulumuna kadar birçok çevresel, ekonomik ve sosyokültürel ürün ve hizmeti birlikte sunan doğal kaynaklardır. Ormanların bu ürün ve hizmetleri uzun dönemde sunmasının anahtarı ise sürdürülebilir orman yönetimidir (SOY). Ormanların sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesinin en önemli aracı da orman amenajman planlarıdır. Dünya genelinde yaklaşık 4 milyar ha olan ormanların sadece %54'ünde orman amenajman planı varken (FAO, 2020), Türkiye'deki ormanların tamamı amenajman planları ile işletilmektedir. Türkiye ormanlarının %98'i aynıyaşlı, %2'si ise değişikyaşlı orman formundadır (OGM, 2015).

Ülkemizde aynıyaşlı ormanların planlanmasında yaş sınıfları metodu kullanılır. Bu ormanların oluşturduğu bir işletme sınıfı hem alan ve hem de ağaç serveti bakımından optimal yapıda olması durumunda optimal olarak değerlendirilir. Yaş sınıfları metodunun özü alan ve hacim kontrolüne dayanır. Bu yüzden öncelikle alanları optimal kuruluşa ulaştırmak gerekir. Çünkü ormanlardan süreklilik prensipleri çerçevesinde faydalanabilmek için her yıl eşit miktarda ürünü verecek büyüklükte bir orman alanının gençleştirilmesi gerekmektedir. Bu ideal durum, ancak yaş sınıfları itibariyle optimal kuruluşa bulunan ormanlarda mümkündür. Alan bakımından optimal kuruluşa orman elde etmenin yolu ise her yıl eşit büyüklükte ormanı gençleştirerek yeni genç meşcereler kurmak ve bu meşcereleri idare müddetinin sonuna kadar götürmektir (Eraslan, 1982; OGM, 2017).

Gençleştirmeye ayrılan alanlarda yapılacak çalışmalar, silvikültür konusunda uzmanlaşmış teknik personel ile işletme şefi tarafından hazırlanan detay silvikültür planlarına göre yürütülür. Bu planlar, gençleştirme sahalarında yürütülecek olan silvikültürel işlemlerin ne zaman ve nerede yapılacağını gösteren raporlardır (OGM, 2008, 2014, 2017). Ülkemizde maktalı planlanan üretim ormanlarında yapılacak gençleştirme faaliyetlerinde tıraşlama kesim alanı, 25 ha'dan daha büyük olamaz. Birbirini izleyen yıllarda gençleştirilen meşcereler bitişik olmamalı ve kesilen meşcereler arasında yeterli mesafeler bırakılarak tıraşlama alanlarının blok oluşturması engellenmelidir (OGM, 2014).

Özetlemek gerekirse; yaş sınıfları itibariyle optimal kuruluşa orman kurmak ve pazarın odun hammaddesi ihtiyaçlarını düzenli olarak karşılamak gayesiyle her yıl eşit büyüklükte ormanın gençleştirilmesi gerekir. Ancak pazara her yıl düzenli olarak odun emvali sunulabilmesi için eşit büyüklükte ormanın gençleştirilmesi tek başına yeterli

değildir. Eşit orman alanı gençleştirirken son hasılat etasının da eşit olması gerekir. Gençleştirme için planlanan meşcerelerin kapalılık ve gelişim çağları farklıdır, dolayısıyla hektardaki servet ve artım değerleri de farklıdır. Eşit alan gençleştirilirken aynı zamanda eşit etanın da alınabilmesi, büyük komşu meşcere çiftlerinin erteleme süresi boyunca aynı yıl gençleştirilmemesi ve küçük komşu meşcere çiftlerinin ise aynı yıl gençleştirilmesi gibi karmaşık bir konumsal planlama probleminin optimizasyon yardımı olmadan çözülmesi çok zordur. Orman düzeyinde konumsal optimizasyon problemi olarak değerlendirilebilecek bu problemin çözümü için amaç programlamanın kullanılması uygundur (Demirci, 2018).

Amaç programlama (AP), saptanan kısıtlar çerçevesinde, amaç fonksiyonunun değerini doğrudan en üst düzeye çıkarmaktan veya en alt düzeye indirmekten ziyade; tespit edilen hedef değerlerden sapmaları en aza indirmeyi konu alan bir yöntemdir (Özkan, 2014). AP, doğrusal programlamaya alternatif olarak geliştirilmiş olup “*amaç programlama*” terimini ilk kullanan Charnes ve Cooper (1961) olmuştur. AP’nin en önemli avantajı iki ya da daha çok amaca sahip karar problemlerinin çözümünde kullanılabilmesidir. Ayrıca, gevşek kısıtların (mutlaka sağlanması zorunlu olmayan kısıtlar) kullanımına müsaade eden AP, doğrusal programlamada “*uygun çözüm mevcut olmayan*” problemlerin çözümünde de yardımcı bir teknik olarak kullanılabilir (Alp, 2008).

Field (1973) ve Rustagi’nin (1973) çalışmaları ormancılıkta AP kullanımının ilk örnekleridir. Field (1973) AP’nin bir orman yönetim problemine uygulanmasını göstermiştir. Rustagi (1973) odun üretimini düzenleyen bir orman amenajman planının hazırlamasında AP kullanımını çalışmıştır. AP’nin ormancılıkta kullanımına öncülük eden diğer çalışmalara ağaç ıslahı programlarının verimliliğinin analizi (Porterfield, 1973), rekreasyon alanların ve kırların planlanması (Romesburg, 1974), ABD’de ulusal orman planlaması (Schuler ve Meadows, 1975) ve arazi kullanım planlaması kararlarının analizi (Bell, 1975) örnek olarak verilebilir.

AP, son otuz yılda orman planlama problemlerinin çözümünde sıkça kullanılmıştır. İspirli (1995), orman kaynaklarının birbirleriyle çelişen uzun dönem yönetim amaçlarını en uygun şekilde karşılayan yönetim alternatiflerinin seçiminde ve bu alternatiflere orman kaynaklarının tahsisinde AP’den faydalanmıştır. Mısır (2001) odun üretimini en üst düzeye çıkarmak, toprak erozyonu miktarını en alt düzeye indirmek, mümkün olan en yüksek oranda su üretmek, yaş sınıfları alanlarını optimale getirmek, düzenleme süresinde bütün meşcereleri gençleştirmek gibi amaçları gerçekleştirmek için AP’yi kullanmıştır. Biyolojik çeşitliliğin orman yönetimi optimizasyon modeline entegrasyonunda (Bertomeu ve Romero, 2001; 2002) ve planlama ufku boyunca tutulan net karbonun hesaplanmasında (Diaz-

Balteiro ve Romero, 2003) AP kullanılmıştır. Gül (2005), kavak fidanı üretimine ilişkin örnek bir problem için doğrusal programlama ve AP modelleri geliştirmiş ve çözmüştür. Yılmaz (2005) ise AP'ye ait uygulama örneklerini incelemiş ve AP'nin gelişim süreci ile doğal kaynaklar ve orman kaynakları yönetimi alanındaki bazı uygulama örneklerini ele almıştır. Mısır ve Mısır (2007) üniversite araştırma ormanının planlanmasında AP'yi kullanmıştır. AP sadece meşcere veya orman düzeyinde karşılaşılan problemlerin çözümünde kullanılmamıştır. Örneğin Hossain ve Robak (2010) doğal yaşlı orman, estetik güzellik ve odun üretimi gibi çeşitli hedeflerden sapmaları en aza indiren peyzaj düzeyinde bir problemin çözümü için AP'yi önermiştir. SOY kararlarının analiz edilmesi (Marinescu ve Maness, 2010), peyzaj, toprak ve su kaynakları gibi çeşitli çevresel bileşenleri korumayı hedefleyen orta vadeli bir orman probleminin çözümü (Silva ark., 2010), ekonomik ve çevresel hedefleri gözeterak plantasyon ormanının yönetiminin planlanması (Gómez ve ark., 2011), rekreasyon, odun üretimi, avcılık ve yaban hayatı hedeflerine ulaşılması (Chen ve ark., 2011), iklim değişikliği azaltım faaliyetleri, biyolojik çeşitlilik ve erozyon kontrolü önlemleri için tespit edilmiş hedeflere ulaşılması (Maroto ve ark., 2013), tutulan karbon ve üretilen odun miktarı ile mantar üretimi hedeflerine ulaşılması (Aldea ve ark., 2014) ve daha fazla karbon tutmaya ve ormanın kuruluşunu iyileştirmeye yarayan bir bakım kesimi planının hazırlanması (Chen ve Chang, 2014) gibi bir çok orman planlama probleminin çözümünde AP kullanılmıştır.

Odun ve su üretimini en üst düzeye çıkarırken, en uygun gençleştirme periyodunun belirlenmesi ve her bir periyotta kesilecek ara ve son hâsılat miktarlarının hesaplanması (Zengin ve ark., 2015), meşcere bakım kesimleri için bakım bloklarının oluşturulması (Demirci ve Bettinger, 2015), bir plantasyon sahasında kesilecek alanları bir araya getirerek kesim blokları oluşturulması (Augustynczyk ve ark., 2016), ekosistem hizmetlerinin en iyi şekilde yerine getirilebilmesi amacıyla en uygun yönetim düzeninin belirlenmesi (Bagdon ve ark., 2016), ara hâsılat ve son hâsılat kesim planlarının düzenlenmesi (Demirci, 2018), çevresel, ekonomik ve sosyal konuları dikkate alarak farklı ağaç türlerinin optimal servet seviyelerinin tahmin edilmesi (Etemad ve ark., 2019) ve son hâsılat kesim planı ve gençleştirme planının hazırlanması (Demirci ve ark., 2020) gibi çalışmalar ise son beş yılda orman planlamada AP kullanılarak yapılan çalışmalar olarak öne çıkmaktadır.

Bu çalışma ile kızılçam ağırlıklı ve tıraşlama yöntemi ile gençleştirilen bir işletme sınıfının son hâsılat kesim planının hazırlanmasında, erteleme süresi ve kesim alanı büyüklüğü kısıtlarına uyararak, her yıl normal periyodik saha büyüklüğünde bir ormanın gençleştirilmesi ile optimal yıllık son hâsılat etasının elde edilmesini sağlayan bir AP

modelinin nasıl kullanılabilceği ortaya konulmuştur. Çalışmada daha önce Demirci (2018) tarafından geliştirilen ve Demirci ve ark. (2020) tarafından yayınlanan gençleştirme modeli (doğrusal amaç programlama) odun üretimi işletme amaçlı bir kızılçam işletme sınıfının son hâsılat kesim planının hazırlanmasında kullanılmıştır. Gençleştirme alanı büyüklüğü olarak Türkiye’de gençleştirme çalışmalarında (endüstriyel ağaçlandırmalar hariç) müsaade edilen en büyük tıraşlama kesim alanı büyüklüğü olan 25 ha (OGM, 2014) alınmıştır. Erteleme süresi olarak da 3 yıl kullanılmıştır.

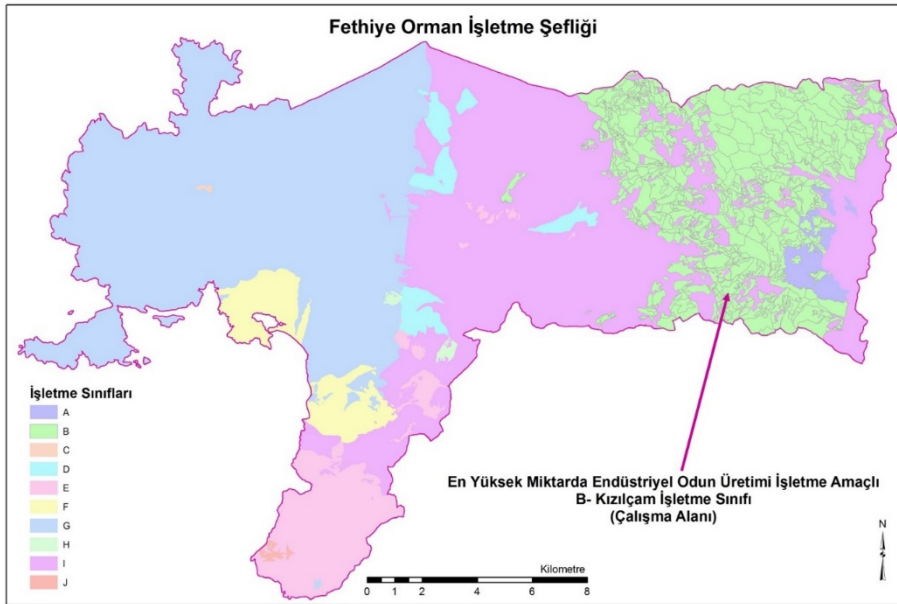
Bu çalışmanın amacı dünyada ekokent kriterlerine sahip kentlerin niteliklerini ortaya koyarak kıyaslanabilir veri sağlamak ve elde edilen verilerle ekokent olma yolunda başka kentlere temel olacak verilerle rehber olmaktır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal

2.1.1. Çalışma Alanı ve Özellikleri

Çalışma alanı olarak Fethiye Orman İşletme Şefliği (OIŞ)’nin “*En Yüksek Miktarda Endüstriyel Odun Üretimi İşletme Amaçlı B- Kızılçam İşletme Sınıfı*” seçilmiştir (Şekil 1). Çalışmada bu alanın seçilmesinde B- Kızılçam İşletme Sınıfında normal periyodik sahanın 828,4 ha ve optimal yıllık son hâsılat etasının ise 15.692 m³ olması etkili olmuştur. Yani, çözülecek planlama probleminin zorluk derecesini arttırmak için bu yoğunlukta gençleştirme çalışması yapılan bir plan ünitesi seçilmiştir.



Şekil 1. Fethiye Orman İşletme Şefliği işletme sınıfları haritası ve çalışma alanı (yeşil)

Fethiye OİŞ, coğrafi olarak Akdeniz Bölgesi'nde yer almakta olup mülkî yönden Muğla iline ve idari yönden ise Muğla Orman Bölge Müdürlüğü, Fethiye Orman İşletme Müdürlüğüne bağlıdır. Fethiye OİŞ, 36°27'36"-36°38'46" kuzey enlemleri ile 29°00'30"-29°22'10" doğu boylamları arasında kalır. Arazi, deniz seviyesinden 1.958 m rakıma kadar yükselir. Düşük rakımdan yüksek rakıma doğru kızılçam (*Pinus brutia* Ten.), meşe türleri (*Quercus* spp.), kermes meşesi (*Quercus coccifera* L.) ve ardıç türleri (*Juniperus* spp.); yüksek rakımlarda ise sedir (*Cedrus libani* A. Rich.) karışımı meşcereler bulunur. Dere içlerinde ise kızılğaç (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) ve çınar türleri (*Platanus* sp.) görülür. Plan ünitesinin orman alanı 18.241,7 ha normal kapalı ve 4.961,0 ha boşluklu kapalı olmak üzere toplam 23.202,7 ha'dır (OGM, 2013).

2.1.2. Çalışma Alanına Ait Veriler

Çalışma alanını teşkil eden işletme sınıfında 4.970,3 ha normal kapalı ve 178,5 ha boşluklu kapalı olmak üzere toplam 5.148,8 ha orman alanı mevcuttur. Bu işletme sınıfında, idare süresi 60 yıl ve periyot uzunluğu 10 yıl olarak tespit edilmiştir. Yani 6 adet yaş sınıfı oluşturulmuştur. Bu çalışmada VI. yaş sınıfındaki meşcereler gençleştirme planlamasına konu edilmiş olup, bu yaş sınıfında yer alan 1.156,3 ha ormanın tamamı modele dahil edilmiştir (bu alanların ekolojik şartları ihmal edilmiştir). VI. yaş sınıfındaki ormanların hacmi 170.022 m³ ve artımı da 4.025 m³tür (Çizelge 1).

Çizelge 1. Çalışma alanında saha, servet ve artımın yaş sınıflarına dağılımı

Yaş Sınıfları		Alanı (Ha)	Ağaç Servetinin	
No	Sınırları		Hacmi (m ³)	Artımı (m ³)
I	1-10	1.520,9	0	0
II	11-20	1.009,6	11.230	822
III	21-30	489,3	25.135	1.920
IV	31-40	488,9	43.220	2.361
V	41-50	305,3	31.271	1.233
VI	>50	1.156,3	170.022	4.025
Toplam		4.970,3	280.878	10.361

Gençleştirmeye konu meşcerelerin 285,2 ha'ı I. bonitet, 683,3 ha'ı II. bonitet ve 187,8 ha'ı da III. bonitette yer almakta olup Lorey formülüne göre hesaplanmış ortalama boniteti II'dir (bonitet sınıflarının ortalama endeksi sırasıyla 23,5 m, 19,0 m ve 14,5 m'dir). Modele kapalılıkları 1, 2 ve 3 olan cd ve d çağlarındaki meşcereler dâhil edilmiştir. Hektardaki en büyük servet Çzd3 meşceresine (198,699 m³) ve en büyük artım da Çzcd3 (5,082 m³) meşceresine aittir. Bu yaş sınıfında en geniş alana 499,7 ha ile Çzcd2 meşceresi sahiptir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Çalışma alanında VI. Yaş sınıfında bulunan meşcerelerinin saha, servet ve artımı

Meşcere Tipi	Hektardaki		VI. Yaş Sınıfı		
	Servet (m ³)	Artım (m ³)	Saha (ha)	Servet (m ³)	Artım (m ³)
Çzcd1	67,414	1,729	16,7	1.126	29
Çzcd2	133,890	3,300	499,7	66.905	1.649
Çzcd3	185,709	5,082	261,2	48.507	1.327
Çzd1	94,046	1,873	146,8	13.806	275
Çzd2	144,226	3,027	117,5	16.947	356
Çzd3	198,699	3,398	114,4	22.731	389
Toplam			1.156,3	170.022	4.025

Aynı yaşlı işletme sınıflarında uygulanan yaş sınıfları metodu, *eşit hâsılatlı yaş sınıfları yöntemi*dir. Bu yöntemde normal (optimal) periyodik saha (NPS) aşağıdaki şekilde hesaplanır (çalışmada redüksiyon saha (*Fr*) yerine gerçek saha (*Gs*) kullanılmıştır):

$$NPS = \frac{Gs}{(U/n)} = \frac{Gs}{a} \quad (1)$$

$$NPS = \frac{4970,3}{60/10} = \frac{4970,3}{6} = 828,4$$

Bu formülde:

- NPS* : normal periyodik saha (ha),
Gs : işletme sınıfının gerçek sahası (ha),
U : işletme sınıfının idare süresi (yıl),
n : periyot uzunluğu (yıl) ve
a : periyot sayısıdır.

Formülde görüldüğü üzere çalışma alanının periyodik (10 yıllık) gençleştirme alanı 828,4 ha'dır. Yani her yıl yaklaşık 82,84 ha büyüklüğünde bir orman alanı gençleştirme için planlanacak ve bu alanların zaman-mekân düzenlemesi yapılacaktır. Belirlenen erteleme süresi ve komşuluk kısıtları çerçevesinde en uygun bölmecikleri model seçeceği için son hâsılat etasının hesabında progresif azalan artım kullanılmamıştır. Bunun yerine gençleştirilecek meşcerelerin (828,4 ha) her birinin tek tek periyot başındaki ağaç serveti hacmine bu meşcerelerin kesim sıraları gelene kadar meydana getirecekleri artım ilave edilmiştir. Çalışmada NPS hesaplanırken gerçek saha kullanılmıştır. Bu yüzden arazinin verim gücü farklılıklarından kaynaklanan farklılıkların giderilmesi için çalışma alanının ortalama boniteti olan "II. bonitet" haricindeki sahaların hacmi ve artımı redüksiyon faktörleri ile çarpılmıştır. I. bonitetteki sahalar için bonitet faktörü 1,237 (23,5/19,0) alınırken, III. bonitetteki sahalar için 0,763 (14,5/19,0) alınmıştır. Böylece her bir bölmecik için, bonitet farklılıkları giderilmiş 10 farklı son hâsılat etası belirlenmiş ve modelden en uygun olanını seçmesi istenmiştir. Bu şekilde işlem yapılan gençleştirmeye konu bölmecik sayısı 196'dır.

Çizelge 1’de de görüldüğü üzere VI. yaş sınıfını oluşturan meşcerelerin toplam serveti 170.022 m³tür. Hâsılat tablosundan (Alemdağ, 1962) bu yaş sınıfındaki 1 ha ormanın periyot ortası asli (kalan) meşcere serveti olan 189,43 m³ ile periyodik gençleştirme alanı olan 828,4 ha çarpılarak 156.924 m³ optimal son hâsılat etası elde edilmiştir. Diğer bir ifadeyle yıllık olarak gençleştirilecek 82,84 ha büyüklüğünde bir alandan 15.692 m³ son hâsılat etasının alınması amaçlanmıştır. Model, VI. yaş sınıfındaki toplam 170.022 m³ servete sahip 1.156,3 ha büyüklüğündeki ormandan, 15692 m³e en yakın etayı verecek, 82,84 ha büyüklüğüne en yakın alana sahip uygun meşcerelerin planlamasını yapacaktır.

Mevzuat (OGM, 2014), tıraşlama kesim alan büyüklüğünü 25 ha ile sınırlandırmıştır. Bu sebeple toplamları 25 ha ve üzeri olan komşu bölmecik çiftleri erteleme süresi olarak belirlenen 3 yıl boyunca birlikte gençleştirilmeyecek şekilde planlanacaktır. Aynı şekilde çok küçük alanlarda farklı yıllarda çalışılmasını engellemek için toplamları 6 ha ve aşağı olan komşu bölmecik çiftlerinin de aynı yıl gençleştirilmesi arzu edilmiştir. Ayrıca alanı 25 ha’dan büyük olan meşcereler de ArcGIS ortamında kesilmiş ve yeniden kodlanmıştır.

2.2. Yöntem

2.2.1. Doğrusal Gençleştirme Modelinin Formülasyonu

Son hâsılat kesim planının hazırlanmasında kullanılan karışık tamsayılı doğrusal AP modelinin matematiksel formülasyonu şöyledir (Demirci, 2018; Demirci ark., 2020):

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^{10} \sum_{j=1}^2 (w_{ij}^- d_{ij}^- + w_{ij}^+ d_{ij}^+) \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^{10} (X_{ki}) \leq 1 \quad \forall k \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^K (A_{ki} X_{ki}) - AC_i = 0 \quad \forall i \quad (4)$$

$$\sum_{k=1}^K (V_{ki} X_{ki}) - VC_i = 0 \quad \forall i \quad (5)$$

$$X_{ki} + X_{mi} - 2 \times Pr_{pi} = 0 \quad \forall p \quad (6)$$

$$X_{ki} + \left(\sum_{i=2}^i X_{mi} + \sum_i^{i+2} X_{mi} \right) \leq 1 \quad \forall Pr_{pi} = 0 \text{ olan tüm } km \text{ çiftleri, } i - 2 > 0 \quad (7)$$

$$AC_i + d_{i1}^- - d_{i1}^+ = AT_i \quad \forall i \quad (8)$$

$$VC_i + d_{i2}^- - d_{i2}^+ = VT_i \quad \forall i \quad (9)$$

$$X_{ki} \in \{0,1\} \quad (10)$$

$$Pr_{pi} \in \{0,1\} \quad (11)$$

Burada,

i yıllar (1, 10),

j amaçlar (1, 2) 1= gençleştirilecek alan, 2= odun hacmi,

w_{ij}^- yıl i , amaç j (0 - 1) için ağırlık,

w_{ij}^+ yıl i , amaç j (0 - 1) için ağırlık,

d_{ij}^- yıl i , amaç j için negatif sapma değişkeni,

d_{ij}^+ yıl i , amaç j için pozitif sapma değişkeni,

K gençleştirilecek bölmecik sayısı,

k gençleştirilecek bölmecikler,

X_{ki} bölme k 'nin yıl i 'de kesilmesini temsil eden bir ikili (0, 1) karar değişkeni,

X_{mi} bölme m 'nin yıl i 'de kesilmesini temsil eden bir ikili (0, 1) karar değişkeni,

A_{ki} yıl i 'de gençleştirilecek k 'nin alanı,

V_{ki} bölme k 'nin yıl i 'de gençleştirilmesi ile elde edilecek odun hacmi,

Pr_{pi} komşu bölmecik çiftleri,

AC_i yıl i 'de gençleştirilecek alan toplamı,

VC_i yıl i 'de kesilecek toplam odun hacmi,

AT_i yıl i için gençleştirilecek alan hedefi,

VT_i yıl i 'de kesilecek odun hacmi hedefidir.

Denklem (2), belirlenen gençleştirilecek alan hedefinden ve eta hedefinden sapmaları en aza indiren amaç fonksiyonudur. Denklem (3), denklem (10) ile birlikte uygun bölmeciklerin gençleştirilmesini sağlar. Denklem (4), gençleştirilecek alanları toplayan hesaplama satırıdır. Denklem (5), planlanan etaları toplayan hesaplama satırıdır. Denklem (6), denklem (11) ile birlikte birbirine bitişik olan 6 ha'dan küçük k ve m bölmeciklerinin aynı yıl içerisinde gençleştirilmesini sağlar. Denklem (7), birbirine bitişik olan k ve m bölmeciklerden biri gençleştirildiğinde diğerinin 3 yıl boyunca gençleştirilmemesini sağlar. Denklem (8) ile ifade edilen 10 eşitlik, gençleştirilecek alan hedefinden sapmaları belirler. Denklem (9) ile ifade edilen 10 eşitlik, kesilecek odun hacmi hedefinden sapmaları belirler.

Bu model, çalışma alanında VI. yaş sınıfında bulunan 206 meşcereden en uygun olanları seçmektedir. Plan yapıcı bu modeli kullanmayı tercih ederse, denklem (3) ile ifade

edilen formülde “ $\leq I$ ” yerine “ $= I$ ” kullanarak kararlaştırılan gençleştirme bölmeciklerinin zaman-mekân planlamasını yapabilir. Hatta modelin Lingo’da koşturulan açık yazılımında bir bölmeciğin istenilen bir yılda gençleştirilebilmesi için o bölmeciğin o yıla ait karar değişkenine “ I ” atayabilir. Bu şekilde modele müdahale etme şansı olmaktadır.

2.2.2. Modelin Koşturulması

Çalışmada yıllık gençleştirme alanı büyüklüğü ve son hâsılat etası hedef değerlerinden sapmalar en aza indirgenmeye çalışılmıştır. Amaç satırında; her iki hedeften sapmalar 0-1 arasında çeşitli katsayılar ile çarpılarak 11 farklı senaryo oluşturulmuştur (Çizelge 3). Bu ağırlıklar, amaç fonksiyonunda yer alan öğelerin önem katsayısı değiştirildiğinde gençleştirme alanı ve son hâsılat etası çıktılarındaki sapmaları gözlemlemek için seçilmiştir.

Model, Lingo 18 isimli bir optimizasyon yazılımı kullanılarak koşturulmuştur. Önce model, Senaryo 6 için 10 milyon ve daha sonra 100 milyon yineleme (*iteration*) kullanılarak koşturulmuştur. 10 milyon ile 100 milyon yineleme arasında bir fark oluşmadığı görüldüğü için bütün senaryolar için modelin koşturulmasında 10 milyon yineleme kullanılmıştır.

Çizelge 1. Kullanılan senaryolar ve katsayıları

Senaryo	Alan	Hacim
1	1	0
2	0.9	0.1
3	0.8	0.2
4	0.7	0.3
5	0.6	0.4
6	0.5	0.5
7	0.4	0.6
8	0.3	0.7
9	0.2	0.8
10	0.1	0.9
11	0	1

3. Bulgular

3.1. Modelin Performansına İlişkin Bulgular

Model, oluşturduğumuz 11 adet senaryonun tamamı için kısa bir süre içerisinde makul sonuçlar üretmiştir. Senaryo 1 ve Senaryo 11, sırasıyla alan ve hacim için en büyük katsayıların uygulandığı senaryolar olduğu için referans senaryolardır. Alan referans senaryosunda (Senaryo 1) toplam sapma 10 yıl için sadece 0,4 ha (modele veri girişi ar olarak yapılmıştır) ve hacim referans senaryosunda (Senaryo 11) toplam sapma 15 m³ olmuştur. Toplam sapmaların periyodik gençleştirme alanı ve periyodik son hâsılat etası rakamlarına oranları toplanarak en iyi sonucu veren senaryo belirlenmiştir. Çizelge 4’te de görüleceği üzere Senaryo 3’te alan hedefinden sapma oranı 0,20 ve hacim hedefinden sapma oranı 0,19

olmak üzere toplam sapma oranı 0,39 olmuştur. Diğer en küçük toplam sapma oranları sırasıyla 0,47 (Senaryo 4) ve 0,48 (Senaryo 5)'dir. Diğer bir ifade ile model, alan ve hacim için en iyi sonucu Senaryo 3 ile vermiştir. Alan ve hacim sapmaları ayrı ayrı değerlendirildiğinde; alan için en iyi sonucu sırasıyla 1, 2, 3, 5 ve 4. senaryolar verirken hacim için 11, 10, 6, 3 ve 4. senaryolar vermiştir (Çizelge 4). En iyi sonucu veren Senaryo 3'ün alan hedefinden sapma katsayısı 0,8 ve hacim hedefinden sapma katsayısı ise 0,2'dir.

Çizelge 2. Senaryolar itibariyle alan ve hedef değerlerinden sapmalar ve sapma oranları

Senaryo	Alan Hedefi (ha)	Hacim Hedefi (m ³)	Amaç Değeri	Alanda Toplam Sapma (ha)	Sapmanın Periyodik Alan Hedefine (828,4 ha) Oranı	Hacimde Toplam Sapma (m ³)	Sapmanın Periyodik Eta Hedefine (156.920 m ³) Oranı	Toplam Sapma Oranı
1	82,84	15.692	40	0,4	0,05	26.805	17,08	17,13
2	82,84	15.692	210	1,24	0,15	984	0,63	0,78
3	82,84	15.692	191,8	1,64	0,20	303	0,19	0,39
4	82,84	15.692	246,7	2,14	0,26	323	0,21	0,47
5	82,84	15.692	264,4	2,04	0,25	355	0,23	0,48
6	82,84	15.692	282	2,66	0,32	298	0,19	0,51
7	82,84	15.692	398,6	2,66	0,32	487	0,31	0,63
8	82,84	15.692	314,1	2,28	0,28	351	0,22	0,50
9	82,84	15.692	524	5,52	0,67	517	0,33	1,00
10	82,84	15.692	244,2	14,34	1,73	112	0,07	1,80
11	82,84	15.692	15	95,34	11,51	15	0,01	11,52

3.2. Gençleştirme Alanına İlişkin Bulgular

Yıllık olarak gençleştirilecek orman alanı 82,84 ha'dır (828,4 ha/10 yıl). Amaç satırında hacim için katsayı olarak "0 (sıfır)" belirlenen alan referans senaryosunda (Senaryo 1) plan süresi boyunca oluşan sapmanın toplamı sadece -0,4 ha'dır (Çizelge 5). Burada her yıl için 0,04 ha'lık bir sapma oluşmuştur. Bu senaryoda gençleştirme için planlanmış alan 828,0 ha'dır (Çizelge 6). Alan referans senaryosundan sonra en iyi sonucu sırasıyla Senaryo 2, 3, 5 ve 4 vermiştir. Senaryo 2'nin sapması 1,24 ha, 3'ün sapması 1,64 ha, 5'in sapması 2,04 ha ve 4'ün sapması da 2,14 ha'dır. Senaryo 2'deki sapmalar -0,4 ha ile 0,46 ha (10. yıl) arasında oluşurken, modelin en iyi sonucu ürettiği Senaryo 3'te ise -0,54 ha (4. yıl) ile 0,16 ha (6.yıl) arasında oluşmuştur.

Çizelge 3. Alan için belirlenen hedef değerden sapmaların yıllara dağılımı (ha)

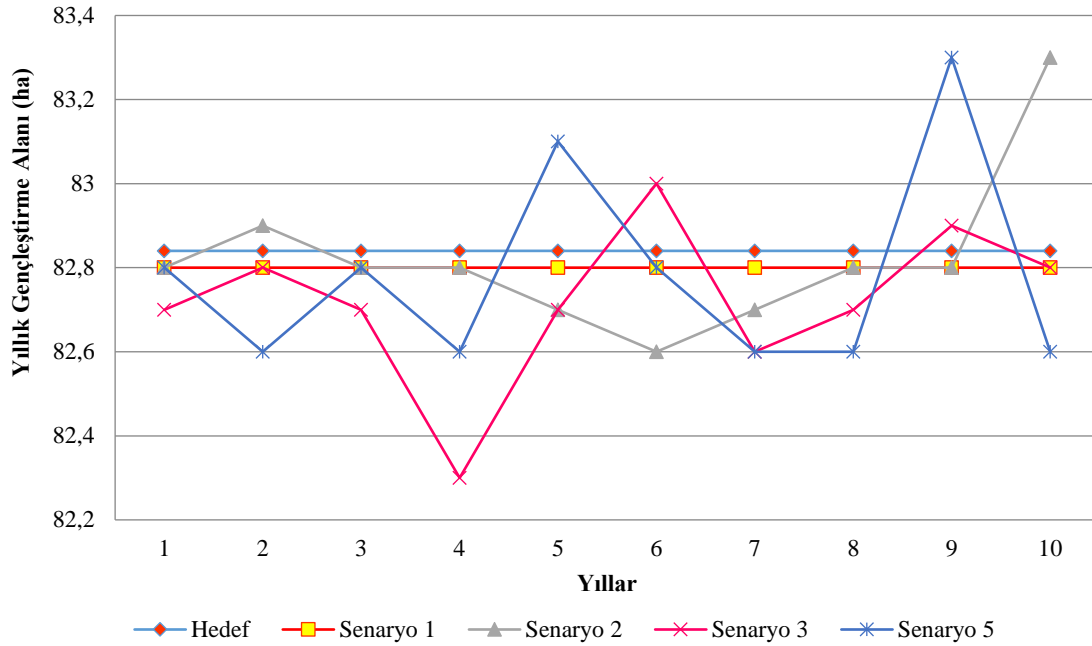
Yıllar	Senaryolar										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-0,04	-0,04	-0,14	-0,14	-0,04	-0,34	-0,64	-0,14	1,06	0,46	28,16
2	-0,04	0,06	-0,04	-0,14	-0,24	-0,14	-0,04	-0,04	0,86	2,36	2,76
3	-0,04	-0,04	-0,14	-0,04	-0,04	-0,04	0,16	0,16	0,76	-3,64	22,56
4	-0,04	-0,04	-0,54	-0,04	-0,24	-0,04	-0,14	-0,34	0,66	0,06	6,86
5	-0,04	-0,14	-0,14	-0,04	0,26	0,36	-0,04	-0,54	0,06	0,96	-2,44
6	-0,04	-0,24	0,16	0,66	-0,04	0,36	0,66	0,06	-0,84	-0,84	15,06
7	-0,04	-0,14	-0,24	-0,64	-0,24	-0,34	-0,44	-0,14	-0,44	1,86	-1,94
8	-0,04	-0,04	-0,14	0,06	-0,24	-0,34	-0,04	0,56	0,46	0,26	0,96
9	-0,04	-0,04	0,06	-0,04	0,46	0,66	-0,24	-0,14	-0,34	2,26	-10,24
10	-0,04	0,46	-0,04	-0,34	-0,24	-0,04	0,26	0,16	-0,04	-1,64	4,36
Toplam¹	0,40	1,24	1,64	2,14	2,04	2,66	2,66	2,28	5,52	14,34	95,34

¹ mutlak değerlerin toplamı

Çizelge 4. Senaryolar itibariyle gençleştirme alanlarının yıllara dağılımı (ha)

Yıllar	Senaryolar										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	82,80	82,80	82,70	82,70	82,80	82,50	82,20	82,70	83,90	83,30	111,00
2	82,80	82,90	82,80	82,70	82,60	82,70	82,80	82,80	83,70	85,20	85,60
3	82,80	82,80	82,70	82,80	82,80	82,80	83,00	83,00	83,60	79,20	105,40
4	82,80	82,80	82,30	82,80	82,60	82,80	82,70	82,50	83,50	82,90	89,70
5	82,80	82,70	82,70	82,80	83,10	83,20	82,80	82,30	82,90	83,80	80,40
6	82,80	82,60	83,00	83,50	82,80	83,20	83,50	82,90	82,00	82,00	97,90
7	82,80	82,70	82,60	82,20	82,60	82,50	82,40	82,70	82,40	84,70	80,90
8	82,80	82,80	82,70	82,90	82,60	82,50	82,80	83,40	83,30	83,10	83,80
9	82,80	82,80	82,90	82,80	83,30	83,50	82,60	82,70	82,50	85,10	72,60
10	82,80	83,30	82,80	82,50	82,60	82,80	83,10	83,00	82,80	81,20	87,20
Toplam	828,0	828,2	827,2	827,7	827,8	828,5	827,9	828,0	830,6	830,5	894,5

Son hâsılat kesim planında ya da detay silvikültür planında bu modelin kullanılması durumunda, alan olarak değerlendirildiğinde, Senaryo 2 ya da 3'ün kullanılması arasında kayda değer bir fark olmayacaktır. Senaryo 2 kullanılması durumunda plan süresi boyunca gençleştirilecek alan 828,2 ha iken Senaryo 3'ün kullanılması durumunda 827,2 ha olacaktır. Diğer bir ifadeyle yıllık olarak gençleştirilecek alan büyüklüğü Senaryo 3'te 82,30 ha (4.yıl) ile 83,0 ha (6.yıl) arasında değişecektir (Çizelge 6 ve Şekil 2).



Şekil 2. Gençleştirme alanlarının karşılaştırılması

Hem doğal hem de yapay gençleştirme çalışmaları oldukça emek gerektiren pahalı ormancılık uygulamalarıdır. Özellikle gençleştirme kesimlerinde ve saha hazırlığında çalışacak kalifiye işçilerin bulunması hayli güçtür. Alan sapmasının artması, orman işletmesinin her yıl farklı büyüklüklerde ormanlar kurması anlamına gelmektedir. Bu durum, işletmenin yıllık bütçesini, gençleştirme faaliyetlerindeki başarı yüzdesini, yerel pazarın odun hammaddesine olan ihtiyaçlarını ve deneyimli işçiler için istihdam fırsatlarını etkileyecektir. Yıllık gençleştirme alanları arasındaki farkın az olması işletmeye büyük avantajlar sağlayacaktır. Gençleştirme çalışmaları tamamlandıktan sonra, fidan sayımı, gençlik ve kültür bakımı, tamamlama ekim ve dikimi, silvikültür ödenekli sıklık bakım ve sıklık bakımı gibi birçok ormancılık faaliyeti birbirini izlemektedir. Yıllar itibarıyla gençleştirme alanı büyüklüklerindeki sapmaların en az olması bütün bu ormancılık faaliyetlerinin başarısına olumlu yönde etki edecektir (Demirci ve ark., 2020).

3.3. Son Hâsılat Etasına İlişkin Bulgular

Çalışma alanı için hesaplanan optimal son hâsılat etası 15692 m^3 'tür. Amaç satırında alan için "0 (sıfır)" belirlenen hacim referans senaryosunda (Senaryo 11) plan süresi boyunca sadece 15 m^3 sapma olmuştur. Burada 6, 7 ve 9. yıllarda son hâsılat etası hedefinden sapma olmamıştır (0 m^3). 2-5 yıllarında sapma sadece -1 m^3 olurken, 1. yılda -4 m^3 , 8. yılda -5 m^3 ve 9. yılda -2 m^3 lük sapmalar olmuştur. Hacim referans senaryosundan sonra en iyi sonucu sırasıyla Senaryo 10, 6 ve 3 vermiştir. Senaryo 10'da da oluşan sapma çok küçüktür. Burada 10 yıl için oluşan toplam sapma sadece 112 m^3 'tür. Sapmalar -24 m^3 (10. yıl) ile 19

m^3 (8. yıl) arasında değişmiştir. Alan ile birlikte değerlendirildiğinde en iyi sonucu veren Senaryo 3'teki toplam sapma ise $303 m^3$ 'tür. Burada en küçük sapma 3. yılda ($-8 m^3$) ve en büyük sapma da 7. yılda ($-54 m^3$) olmuştur (Çizelge 7).

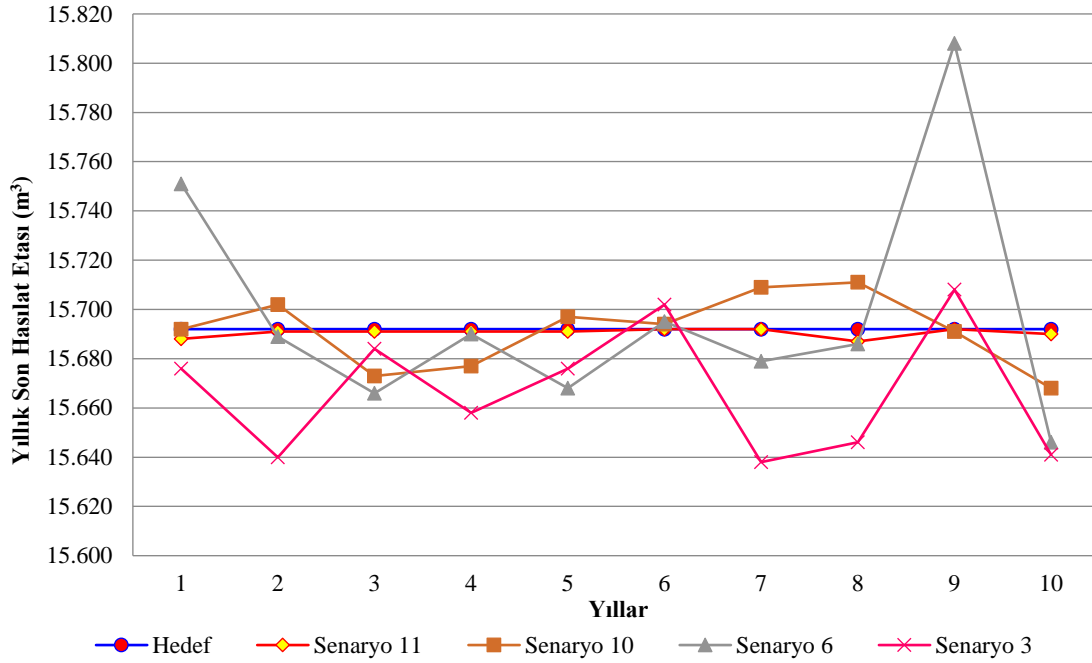
Çizelge 5. Yıllık son hasılat etası hedefinden sapmanın dağılımı (m^3)

Yıllar	Senaryolar										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-4.174	-285	-16	-5	-57	59	-57	-37	-104	0	-4
2	-3.880	25	-52	-4	-18	-3	-26	-8	23	10	-1
3	-2.266	143	-8	-24	-10	-26	-42	29	47	-19	-1
4	-3.344	-3	-34	-31	-50	-2	-66	-107	130	-15	-1
5	-3.971	-25	-16	-80	44	-24	-5	-31	-35	5	-1
6	-2.373	-90	10	-46	-12	3	92	33	-7	2	0
7	367	-87	-54	-12	-21	-13	-48	-29	-30	17	0
8	-2.988	-132	-46	-33	30	-6	-43	47	4	19	-5
9	2.523	-150	16	-38	67	116	-105	-26	-65	-1	0
10	919	44	-51	-50	-46	-46	3	4	-72	-24	-2
Toplam	26.805	984	303	323	355	298	487	351	517	112	15

Plan yapıcı, alan konusunda daha hassas davranmak isterse alan sapması az olan ve makul hacim sapmasına sahip olan bir senaryonun sonucunu kullanabilir. Senaryo 2, plan süresince $156.914 m^3$ lük bir üretim planlarken, Senaryo 6, $156.978 m^3$ ve Senaryo 3 de $156.669 m^3$ lük üretim planlamıştır. Optimal periyodik son hasılat etası $156.920 m^3$ olduğu değerlendirildiğinde makul sonuçlar üreten bu senaryolardan herhangi birisinin sonuçları kullanılabilir. Hem alan ve hem de hacim konusunda hassas davranmak istenildiğinde Senaryo 3 tarafından üretilen sonuçların kullanılması uygundur. Burada en küçük hacim 7. yılda ($15.638 m^3$) ve en büyük hacim 9. yılda ($15.708 m^3$) olmuştur (Çizelge 8 ve Şekil 3).

Çizelge 6. Senaryolar itibariyle yıllık son hasılat etasının yıllara dağılımı (m^3)

Yıllar	Senaryolar										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	11.518	15.407	15.676	15.687	15.635	15.751	15.635	15.655	15.588	15.692	15.688
2	11.812	15.717	15.640	15.688	15.674	15.689	15.666	15.684	15.715	15.702	15.691
3	13.426	15.835	15.684	15.668	15.682	15.666	15.650	15.721	15.739	15.673	15.691
4	12.348	15.689	15.658	15.661	15.642	15.690	15.626	15.585	15.822	15.677	15.691
5	11.721	15.667	15.676	15.612	15.736	15.668	15.687	15.661	15.657	15.697	15.691
6	13.319	15.602	15.702	15.646	15.680	15.695	15.784	15.725	15.685	15.694	15.692
7	16.059	15.605	15.638	15.680	15.671	15.679	15.644	15.663	15.662	15.709	15.692
8	12.704	15.560	15.646	15.659	15.722	15.686	15.649	15.739	15.696	15.711	15.687
9	18.215	15.542	15.708	15.654	15.759	15.808	15.587	15.666	15.627	15.691	15.692
10	16.611	15.736	15.641	15.642	15.646	15.646	15.695	15.696	15.620	15.668	15.690
Toplam	137.733	156.360	156.669	156.597	156.847	156.978	156.623	156.795	156.811	156.914	156.905



Şekil 3. Gençleştirme modeli ile elde edilen yıllık son hasılat etalarının karşılaştırılması

3.4. Erteleme Süresi, Komşuluk ve Son Hâsılat Kesim Planına İlişkin Bulgular

Çalışmada alan ve hacim için en makul düzeyde sapmalar elde edilen, alan katsayısı 0,80 ve hacim katsayısı 0,20 olan, Senaryo 3'ün sonuçları kullanılarak örnek bir son hâsılat kesim planı hazırlanmıştır (Ek 1). Bu plan, sadece alan ve hacim hedeflerine uyan değil aynı zamanda erteleme süresi ve komşuluk kısıtlarına da riayet eden bir plandır. Mevzuat (OGM, 2014), 25 ha'dan daha büyük alanlarda tıraşlama kesim yapılmasına ve birbirini takip eden yıllarda da komşu bölmeciklerin gençleştirilmesine müsaade etmediği için toplamaları 25 ha ve üzeri olan komşu bölmecik çiftleri erteleme süresi (3 yıl) boyunca birlikte gençleştirilmemiştir (Çizelge 9). Örneğin, 12,4 ha büyüklüğündeki 369 no.lu bölmenin Çzcd3 meşçeresi 5. yılda gençleştirilirken, ona bitişik 23,8 ha büyüklüğündeki 368 no.lu bölmenin Çzcd3 meşçeresi 8. yılda planlanmıştır. Yani toplamaları 36,2 ha olan meşçerelerden birisi gençleştirildikten 3 yıl sonra diğeri gençleştirilmiştir. Bu sonuç, ormanda büyük alanlarda tıraşlama kesim yapılmasını engellemek amacıyla modele konulmuş komşuluk ve erteleme süresi kısıtlarının bir ürünüdür.

Çizelge 7. Toplamı 25,0 ha'dan büyük olan meşcere çiftlerinin kesim yılları

Bölmecik Çifti No	Bölme No	1. Meşcere Tipi	Alan (ha)	Kesim Yılı	Bölme No	2. Meşcere Tipi	Alan (ha)	Kesim Yılı	Toplam Alan (ha)
1	370	Çzd3	23,6	2	370	Çzcd3-2	1,8	7	25,4
2	310	Çzcd2-1	13,9	8	257	Çzcd2-2	11,6	3	25,5
3	370	Çzd3	23,6	2	367	Çzd3-1	2	7	25,6
4	370	Çzcd3-3	2,1	7	370	Çzd3	23,6	2	25,7
5	259	Çzcd2	23,5	9	213	Çzcd3-2	2,4	4	25,9
6	347	Çzd3	17,7	4	346	Çzd3-3	8,2	1	25,9
7	209	Çzcd3	11,2	1	210	Çzcd2-1	15,1	6	26,3
8	134	Çzd2	18,2	6	209	Çzd2	8,6	9	26,8
9	347	Çzd3	17,7	4	346	Çzd3-2	9,6	7	27,3
10	122	Çzd3-3	16,5	1	122	Çzd3-2	11,6	7	28,1
11	134	Çzd2	18,2	6	209	Çzcd3	11,2	1	29,4
12	349	Çzcd2	20,5	8	310	Çzcd2-2	9,7	4	30,2
13	134	Çzd2	18,2	6	134	Çzcd3	12,7	1	30,9
14	213	Çzcd2	13,2	5	212	Çzcd2-2	18,4	2	31,6
15	369	Çzcd2	20,5	2	369	Çzcd3	12,4	5	32,9
16	259	Çzcd2	23,5	9	259	Çzcd3	11,3	5	34,8
17	370	Çzd3	23,6	2	369	Çzcd3	12,4	5	36
18	369	Çzcd3	12,4	5	368	Çzcd3	23,8	8	36,2
19	317	Çzcd3-2	20,2	6	317	Çzcd3-1	20	9	40,2

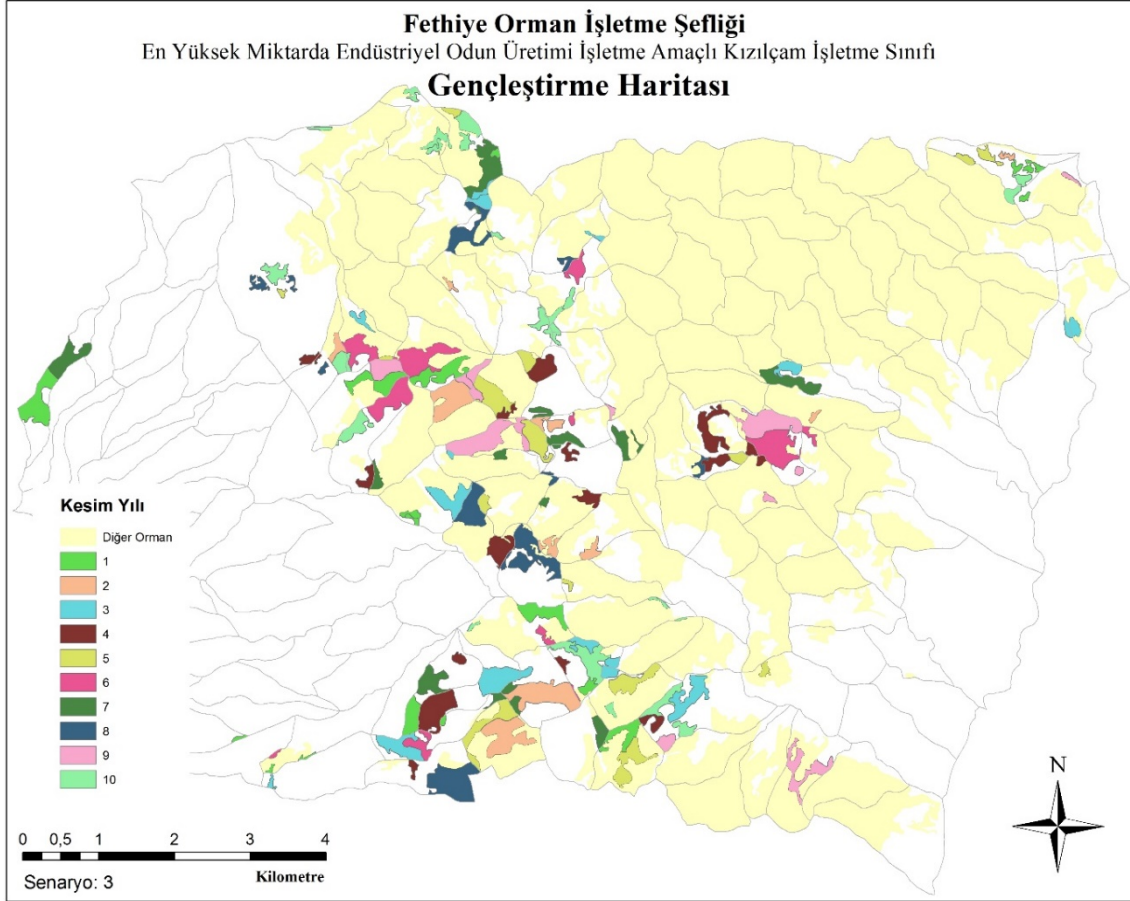
Orman işletmeleri, üretim, gençleştirme, gençlik bakımı ve koruma faaliyetlerinin daha ekonomik olması için birbirine bitişik küçük meşcerelerin aynı yıl gençleştirilmesini tercih etmektedirler. Bu sebeple çok küçük komşu bölmeciklerin aynı yıl planlanmasını sağlayacak kısıtlar modele dâhil edilmiştir. Toplamı 6 ha ve daha aşağı olan komşu bölmecik çiftlerinin aynı yıl içinde planlanmasını sağlanmıştır (Çizelge 10). Örneğin 0,7 ha büyüklüğündeki 139 no.lu bölmenin Çzcd2-1 meşceresi ile 0,5 ha büyüklüğündeki 140 no.lu bölmenin Çzcd2-2 meşceresi 3. yıl için planlanmıştır. Her iki bölmeciğin aynı yıl planlanması ile toplamda 1,2 ha bir alanda tıraşlama kesim yapmak gerekecektir. Birlikte gençleştirilmesi arzu edilen meşcerelerin toplam büyüklüğüne plan yapıcı ve uygulayıcı birlikte karar verebilir.

Çizelge 8. Toplamı 6,0 ha ve daha küçük olan meşcere çiftlerinin kesim yılları

Bölmecik Çifti No	Bölme No	Meşcere Tipi	Alan (ha)	Kesim Yılı	Bölme No	Meşcere Tipi	Alan (ha)	Kesim Yılı	Toplam Alan (ha)
1	139	Çzcd2-1	0,7	3	140	Çzcd2-2	0,5	3	1,2
2	311	Çzcd2-1	1	8	261	Çzcd2-2	0,6	8	1,6
3	215	Çzcd2-1	1,1	10	138	Çzcd2-2	1,1	10	2,2
4	64	Çzcd2-5	2,4	4	131	Çzcd2-2	0,4	4	2,8
5	257	Çzcd2-3	1	1	257	Çzcd3	1,9	1	2,9
6	138	Çzcd2-2	1,1	10	139	Çzcd1-2	2,2	10	3,3
7	316	Çzd2	1,4	4	264	Çzcd2-2	2,1	4	3,5
8	367	Çzd3-1	2	7	370	Çzcd3-2	1,8	7	3,8
9	69	Çzcd2	3,4	10	70	Çzcd2-1	0,5	10	3,9
10	212	Çzcd3	2,1	9	213	Çzcd3-1	2,2	9	4,3
11	139	Çzcd1-2	2,2	10	139	Çzcd3	2,2	10	4,4
12	154	Çzcd2	2,9	3	224	Çzcd2	1,6	3	4,5
13	131	Çzcd3	4,1	10	132	Çzcd3	1	10	5,1
14	69	Çzcd2	3,4	10	69	Çzcd3-2	1,8	10	5,2

15	374	Çzcd3	2,4	7	374	Çzd2	2,9	7	5,3
16	138	Çzcd2-2	1,1	10	137	Çzcd2	4,2	10	5,3
17	215	Çzcd2-1	1,1	10	137	Çzcd2	4,2	10	5,3
18	371	Çzcd3-1	2,2	3	373	Çzcd3	3,1	3	5,3
19	82	Çzd2-5	2,4	10	83	Çzd1-2	3,1	10	5,5
20	70	Çzd1-4	2	3	70	Çzcd2-2	3,7	3	5,7
21	212	Çzcd3	2,1	9	212	Çzcd2-1	3,7	9	5,8
22	260	Çzcd3-3	5,5	7	261	Çzcd3	0,5	7	6

Son hâsılat kesim planında belirtilen kesim yılları kullanılarak hazırlanan gençleştirme haritası Şekil 4'te sunulmuştur.



Şekil 4. Model tarafında üretilen sonuçlar ile elde edilen gençleştirme haritası (Senaryo 3)

4. Tartışma

Bu çalışmada aynıyaşlı ormanların son hâsılat kesim planlamasında ve detay silvikültür planlamasında amaç programlamanın nasıl kullanılabileceği ortaya konulmuştur. Çalışma, komşuluk ve erteleme süresi kısıtları altında bir kızılçım ormanının her yıl eşit alan gençleştirilerek, eşit son hâsılat etası elde edilebilecek şekilde planlanmasını içermektedir. Burada alan hedefi olarak NPS ve hacim hedefi olarak da optimal son hâsılat etası rakamları kullanılmıştır. Aynı konuda daha önce yapılan çalışmalarda (Demirci, 2018; Demirci ve ark., 2020) plan yapıcı tarafından gençleştirmeye verilen meşcereler kullanılmış ve bunun dışına

çıkılmamıştır. Demirci ve ark., (2020), modeli, planıcı tarafından belirlenmiş 20 yıllık gençleştirme alanı olan 1777 ha'ı 20 eşit parçada (yıllık 88.85 ha) gençleştirecek ve bu alanların vermesi beklenen toplam 467.000 m³ son hâsılat etasını da yıllık olarak 23.350 m³ verecek şekilde kurmuştur. Bu çalışmanın özgünlüğü ise daha önce de ifade edildiği gibi plan yapıcı tarafından ayrılan sahalardan ziyade VI. yaş sınıfındaki sahalardan (1.156,3 ha), NPS kadar (828,4 ha) bir alan gençleştirmesi ve optimal periyodik son hâsılat etası (156.920 m³) kadar bir eta vermesidir.

Modeli diğer çalışmalardan ayıran hususlardan birisi de erteleme süresinin 5 yıl yerine 3 yıl alınmış olmasıdır. 20 yıl gibi nispeten uzun bir plan dönemi için 5 yıllık bir erteleme süresinin alınması makul olabilir. Ancak 10 yıllık bir planda bu uzunlukta bir erteleme süresi kullanılarak uygun çözüm elde etmek neredeyse imkânsızdır. Bu sebeple çalışmada erteleme süresi olarak daha kısa bir süre seçilmiştir. Çalışmanın özgünlüklerinden birisi de yetiştirme ortamından kaynaklanan farklılıkların giderilmesi için servet ve artım değerlerinin buldukları bonitete özgü redüksiyon faktörleriyle çarpılmasıdır. Böylece, örneğin, III. bonitetteki bir cd3 meşceresinin serveti ve artımı ile II. bonitetteki bir cd3 meşceresinin serveti ve artımı arasında yaklaşık %23'lük bir fark oluşmuştur.

Modelin, VI. yaş sınıfındaki meşcerelerden NPS kadar bir alanı belirlenen kısıtlar altında kendisinin seçmesi, ürettiği sonucun kalitesini arttırmıştır. Alan ve hacim birlikte değerlendirildiğinde en iyi sonucu vermiş olan Senaryo 3'te hedef gençleştirme alanından 10 yıllık toplam sapma 1,64 ha'dır (yani periyodik gençleştirme alanının %0,20'si). Son hâsılat etası hedefinden sapma ise 303 m³tür (periyodik son hâsılat etasının %0,19'u). Söz konusu oranlar ise Demirci ve ark., (2020)'de sırasıyla %0,21 ve %0,62'dir. Özellikle hacim sapmasındaki fark kayda değerdir.

Orman planlamadaki konumsal problemler dağıtma (yayma) ve bir araya toplama problemleri olarak kabaca iki kategoriye ayrılmaktadır (Demirci, 2018). Çalışmanın konusunu oluşturan planlama problemi bir dağıtma problemidir. Bu tür problemler; tıraşlama kesimi uygulanacak sahalara ve çeşitli yaban hayatı yaşam alanları gibi farklı özelliklere sahip konumsal planlama öğelerinin orman içerisinde birbirinden belirli mesafelerde tutulmasını ihtiva eder (Öhman, 2001). Erteleme süresi ve komşuluğun kısıt olarak kullanıldığı birçok çalışma dağıtma problemlerine örnektir (Liu ve ark., 2017; Qin ve ark., 2017; Augustynczyk ve ark., 2015). Komşuluk kısıtı, tıraşlama kesimi uygulanacak alanın büyüklüğünü kontrol etmeyi sağlarken erteleme süresi bitişik meşcerelerde yapılan tıraşlama kesimlerinin arasından belirli bir sürenin geçmesini sağlar. Komşuluk kısıtı kullanılmasının sebepleri arasında tıraşlama kesim alanı büyüklüğünü düzenleyen mevzuat

(O'Hara ve ark., 1989; Dahlin ve Sallnäs, 1993; Weintraub ve ark., 1994), biyolojik çeşitlilik ve yaban hayatı ile ilgili amaçlar (Weintraub ve ark., 1994; Cyr ve ark., 2017) ve tıraşlama kesimlerin bitişik meşcerelere etkileri (Tarp ve Helles, 1997) gibi hususlar yer alır (Demirci, 2018).

Özellikle tıraşlama kesimi uygulanan orman alanının boyutunun kontrolü; biyolojik çeşitliliğin, yaban hayatı yaşam alanlarının ve ormanın estetik değerinin muhafaza edilmesinin bir yolu olarak değerlendirilmektedir. Bununla birlikte, üretim yapılan alanların ormana hem konumsal ve hem de zamansal olarak dağıtılması, parçalanmanın ve orman kenarı uzunluğunun artması gibi istenilmeyen sonuçlar da doğurmaktadır (Tarp ve Helles, 1997). Kesim alanı büyüklüğü ile kısıt sayısı arasında ters orantı varken erteleme süresi ile kısıt sayısı arasında doğrusal orantı vardır. Kesim alanı büyüdükçe kısıt sayısı azalmaktadır. Bunun tersine erteleme süresi arttıkça kısıt sayısı da artmaktadır. Araştırmacılar (Walters ve ark., 1999) komşuluk kısıtının sayısını azaltmak için tıraşlama kesim alanı büyüklüğünün mümkün oldukça büyük olmasını ve erteleme süresinin de mümkün olduğunca kısa tutulmasını önermektedirler.

Çalışmada, amaç satırındaki sapma değerlerine uygulanan ağırlık değişikçe sonuçların nasıl değiştiği incelenerek, istenen amaçları üretirken modelin gösterdiği duyarlılık da analiz edilmiştir. Ayrıca modelin gençleştirme alanında daha hassas sonuç vermesini sağlamak için hektar yerine ar kullanılmıştır. Bu aslında bir çeşit normalizasyon yöntemidir. Orman planlama problemlerini çözen uzmanlar, iki veya daha çok hedefin aynı nispi ağırlığa sahip olmasını arzu edebilirler ki bu durumda karşılaşılabilecek güçlük, probleme en uygun normalleştirilmiş ağırlıkları tespit etmektir. AP'yi kullanan uzmanların tartıştığı önemli bir husus, kıyaslanamazlık konusunun üstesinden gelmek için normalleştirme tekniklerinin nasıl kullanılacağıyla ilgilidir. Kıyaslanamazlık, farklı birimler (ha, m³ veya km, m³ gibi) kullanılarak ölçülen sapma değişkenlerinin doğrudan toplanmasıyla ortaya çıkar. Bu basit toplam, daha büyük bir büyüklüğe sahip amaçlara yönelik olarak, yanlış veya yanıltıcı sonuçlar doğurabilecek, bir önyargıya sebep olur. Uzmanlar, bu problemi gidermek için, her bir hedefin, bu hedefe yönelik bir sabit ile bölünmesini önerilmektedir. Böylece, tüm hedefler kabaca aynı büyüklüğe sahip olur. Bu sabit, normalleştirme sabiti olarak bilinir. Her biri kendi normalleştirme sabitine sahip birkaç farklı normalleştirme metodu mevcuttur. Öklid normalleştirme (De Kluyver, 1979; Wildhelm, 1981), yüzde normalleştirme (Romero, 1991), toplam normalleştirme (Jones, 1995) ve sıfır-bir normalleştirme (Masud ve Hwang, 1981) bunlardan bazılarıdır (Tamiz ark., 1998; Demirci, 2018).

5. Sonuç ve Öneriler

Türkiye’de ormancılık uygulamalarında ve orman amenajman planlarının hazırlanmasında karar destek sistemlerinin sunduğu kolaylıklardan tam olarak faydalanıldığı söylenemez. Çeşitli plan ünitelerinin amenajman planları, akademisyenler tarafından geliştirilen model yazılımlar kullanılarak yapılmışsa da bu, yaygın bir uygulama olmamıştır. Bu çalışma, model odaklı karar destek sisteminin bir ögesi olan optimizasyonun orman planlamada kullanımının aslında çok da zor olmadığını ortaya koymaktadır. Çalışmada kullanılan yaklaşımın en büyük zorluğu, problemi çözmek için gerekli olan denklemlerin geliştirilmesidir. Yapılan bu çalışmanın, orman idarecileri tarafından, orman planlamasına katkı sağlayacağı düşünülürse, bu ve benzeri problemlerin çözümü için özel bir matris üreticisi geliştirilebilir. Kaldı ki amenajman planı yapan başmühendisler ve silvikültür planı yapan uzmanlar, modeli bu haliyle bile rahatlıkla kullanabilirler. Bunun için ilgi duyan planlama başmühendisleri ve silvikültür teknik personeli ile küçük eğitimler planlanabilir.

Bu çalışmada sadece son hâsılat kesim planı üzerinde durulmuştur. Devamlılık prensipleri çerçevesinde hem son periyotta gençleştirilecek sahaları planlayan ve hem de bakım bölmeleri için uygun etalar atayarak ara hâsılat-son hâsılat kesim planlarını birlikte hazırlayan daha kapsamlı bir modelin geliştirilmesi Türkiye’de yürütülen orman planlama çalışmalarına daha çok katkı sağlayacaktır.

Teşekkür

Çalışmada kullanılan veriler Orman Genel Müdürlüğü Orman İdaresi ve Planlama Dairesi Başkanlığı tarafından sağlanmıştır. Bu vesileyle Orman İdaresi ve Planlama Dairesi Başkanlığı yöneticilerine ve teknik personeline şükranlarımızı sunarız.

Kaynaklar

- Aldea, J., Martínez-Peña, F., Romero, C. ve Diaz-Balteiro, L. (2014). Participatory goal programming in forest management: An application integrating several ecosystem services. *Forests*, 5(12), 3352-3371.
- Alemdağ, Ş. (1962). *Türkiye'deki Kızılçam Ormanlarının Gelişimi, Hasılatı ve Amenajman Esasları*. Ormancılık Araştırma Enstitüsü, Teknik Bülten No, 11, Ankara, 160 s.
- Alp, S. (2008). Doğrusal hedef programlama yönteminin otobüsle kent içi toplu taşıma sisteminde kullanılması, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, Yıl:7 Sayı:13, 73-91.
- Augustynczyk, A.L.D., Arce, J.E. ve da Silva, A.C.L. (2016). Aggregating forest harvesting activities in forest plantations through integer linear programming and goal programming. *Journal of Forest Economics*, 24, 72-81.
- Bagdon, B.A., Huang, C.-H. ve Dewhurst, S. (2016). Managing for ecosystem services in northern Arizona ponderosa pine forests using a novel simulation-to-optimization methodology. *Ecological Modelling*, 324, 11-27.
- Bertomeu, M. ve Romero, C. (2001). Managing forest biodiversity: a zero-one goal programming approach. *Agricultural Systems*, 68, 197-213.
- Bertomeu, M. ve Romero, C. (2002). Forest management optimization models and habitat diversity: a goal programming approach. *Journal of the Operational Research Society*, 53, 1175-1184.
- Bell, E.F. (1975). *Problems with goal programming on a national forest planning unit*. Systems Analysis and Forest Resource Management, 119-126, Athens, Georgia.
- Charnes, A. ve Cooper, W.W. (1961). *Management models and industrial applications of linear programming: Vol I*. New York: John Wiley & Sons.
- Chen, Y.-T. ve Chang, C.-T. (2014). Multi-coefficient goal programming in thinning schedules to increase carbon sequestration and improve forest structure. *Annals of Forest Science*, 71(8), 907-915.
- Chen, Y.-T., Zheng, C. ve Chang, C.-T. (2011). 3-level MCGP: An efficient algorithm for MCGP in solving multi-forest management problems. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 26(5), 457-465.
- Cyr, G., Raulier, F., Fortin, D. ve Pothier, D. (2017). Using operating area size and adjacency constraints to mitigate the effects of harvesting activities on boreal caribou habitat. *Landscape Ecology*, 32(2), 377-395.

- Dahlin, B. ve Sallnäs, O. (1993). Harvest scheduling under adjacency constraints-a case study from the Swedish sub-alpine region. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 8, 281-290.
- De Kluyver, C.A. (1979). An exploration of various goal programming formulations - with application to advertising media scheduling. *Journal of the Operational Research Society*, 30(2), 167-171.
- Demirci, M. (2018). *Orman Amenajman Planlamasında Karışık Tamsayılı Amaç Programlamanın Kullanılması: Akören Plan Ünitesi Örneği*. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Demirci, M. ve Bettinger, P. (2015). Using mixed integer multi-objective goal programming for stand tending block designation: A case study from Turkey. *Forest Policy and Economics*, 55, 28-36.
- Demirci, M., Yeşil, A. ve Bettinger, P. (2020). Using mixed integer goal programming in final yield harvest planning: A case study from the Mediterranean region of Turkey. *Forests*, 11(7), 744.
- Diaz-Balteiro, L. ve Romero, C. (2003). Forest management optimization models when carbon captured is considered: a goal programming approach. *Forest Ecology and Management*, 174, 447-457.
- Eraslan, İ. (1982). *Orman Amenajmanı*. İstanbul: İ.Ü. Orman Fakültesi.
- Etemad, S.S., Limaie, S.M., Olsson, L. ve Yousefpour, R. (2019). Forest management decision-making using goal programming and fuzzy analytic hierarchy process approaches (case study: Hyrcanian forests of Iran). *Journal of Forest Science*, 65, 368-379.
- FAO (2020). *Global Forest Resources Assessment 2020 – Main report*. Roma: FAO.
- Field, D.B. (1973). Goal programming for forest management. *Forest Science*, 19(2), 125-135.
- Gómez, T., Hernández, M., Molina, J., León, M.A., Aldana, E. & Caballero, R. (2011). A multi objective model for forest planning with adjacency constraints. *Annals of Operations Research*, 190(1), 75-92.
- Gül, A.U. (2005). Hedef ve Doğrusal Programlama. *İÜ Orman Fakültesi Dergisi*, Seri: B, 55(1), 53-69.
- Hossain, S.M.Y. ve Robak, E.W. (2010). A forest management process to incorporate multiple objectives: A framework for systematic public input. *Forests*, 1(3), 99-113.

- İspirli, E. (1995). *Goal Programlama ile Orman Kaynaklarının Amenajmanı Üzerine Araştırmalar*. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Jones, D.F. (1995). *The Design and Development of an Intelligent Goal Programming System*. PhD Dissertation. University of Portsmouth, Portsmouth.
- Liu, W.-Y., Lin, C.-C. ve Su, K.-H. (2017). Modelling the spatial forest-thinning planning problem considering carbon sequestration and emissions. *Forest Policy and Economics*, 78, 51-66.
- Maroto, C., Segura, M., Ginestar, C., Uriol, J. ve Segura, B. (2013). Sustainable forest management in a Mediterranean region: Social preferences. *Forest Systems*, 22(3), 546-458.
- Marinescu, M.V. ve Maness, T.C. (2010). A hierarchical timber allocation model to analyze sustainable forest management decisions. *Mathematical and Computational Forestry & Natural-Resource Sciences*, 2(2), 117-134.
- Masud, A.S. ve Hwang, C.L. (1981). Interactive sequential goal programming. *Journal of the Operational Research Society*, 32, 391-400.
- Mısıır, M. (2001). *Çok Amaçlı Orman Amenajman Planlarının Coğrafi Bilgi Sistemlerine Dayalı Olarak amaç Programlama Yöntemiyle Düzenlenmesi (Ormanüstü Planlama Birimi Örneği)*. Doktora Tezi. KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Mısıır, N.ve Mısıır, M. (2007). Developing a multi-objective forest planning process with goal programming: a case study. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 10, 514-522.
- OGM (2008). *Orman Amenajman Yönetmeliği (Sayı: 26778)*. Ankara: Orman Genel Müdürlüğü.
- OGM (2013). *Fethiye Orman İşletme Şefliği Fonksiyonel Orman Amenajman Planı*. Ankara: Orman Genel Müdürlüğü.
- OGM (2014). *Silvikültürel Uygulamaların Teknik Esasları (Tebliğ No: 298)*. Ankara: Orman Genel Müdürlüğü, Silvikültür Dairesi Başkanlığı.
- OGM (2015). *Türkiye Orman Varlığı 2015*. Ankara: Orman Genel Müdürlüğü.
- OGM (2017). *Ekosistem Tabanlı Fonksiyonel Orman Amenajman Planlarının Düzenlenmesine Ait Usul ve Esaslar (Tebliğ No: 299)*. Ankara: Orman Genel Müdürlüğü, Orman İdaresi ve Planlama Dairesi Başkanlığı.
- O'Hara, A.J., Faaland, B.H. ve Bare, B.B. (1989). Spatially constrained timber harvest scheduling. *Canadian Journal of Forest Research*, 19(6), 715-724.
- Öhman, K. (2001). *Forest planning with consideration to spatial relationships*. Thesis Dissertation. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.

- Özkan, M. (2014). *Bulanık Hedef Programlama ve Bir İşletme Üzerinde Uygulama*. Doktora Tezi. Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sivas.
- Porterfield, R.L. (1973). *Predicted and potential gains from tree improvement programs-a goal programming analysis of program efficiency*. PhD Dissertation. Yale University, New Haven, Connecticut.
- Tamiz, M., Jones, D. ve Romero, C. (1998). Goal programming for decision making: an overview of the current state-of-the-art. *European Journal of Operational Research*, 111(3), 569-581.
- Tarp, P. ve Helles, F. (1997). Spatial optimization by simulated annealing and linear programming. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 12, 390-402.
- Qin, H., Dong, L. ve 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(2), 43.
- Romero, C. (1991). *Handbook of Critical Issues in Goal Programming*. Oxford: Pergamon Press.
- Romesburg, H.C. (1974). Scheduling models for wilderness recreation. *Journal of Environmental Management*, 2, 159-177.
- Rustagi, K.P. 1973. *Forest management planning for timber production: a goal programming approach*. PhD Dissertation. Yale University, New Haven, Connecticut.
- Schuler, A.T. ve Meadows, J.C. (1975). Planning resource use on natural forests to achieve multiple objectives. *Journal of Environmental Management*, 3, 351-366.
- Silva, M., Weintraub, A., Romero, C. ve De la Maza, C. (2010). Forest harvesting and environmental protection based on the goal programming approach. *Forest Science*, 56(5), 460-472.
- Weintraub, A., Barahona, F. ve Epstein, R. (1994). A column generation algorithm for solving general forest planning problems with adjacency constraints. *Forest Science*, 40(1), 142-161.
- Wildhelm, W.B. (1981). Extensions of goal programming models. *Omega*, 9, 212-214.
- Yılmaz, E. (2005). Amaç Programlama Tekniği ve Orman Kaynakları Planlamasına Uygulanması Örnekleri. *DOA Dergisi*, 11, 113-149.
- Zengin, H., Asan, Ü., Destan, S., Ünal, M.E., Yeşil, A., Bettinger, P. ve Değermenci, A.S. (2015). Modeling harvest scheduling in multifunctional planning of forests for long term water yield optimization. *Natural Resource Modeling*, 28(1), 59-85.

Ekler

Ek 1. Son hâsılat kesim planı (Senaryo 3)

Kesim Yılı	Bölme No	Meşçere Tipi	Alan (ha)	Servet (m ³)	Artım (m ³ yıl ⁻¹)	Son Hasılat Etası (m ³)	Kesim Yılı	Bölme No	Meşçere Tipi	Alan (ha)	Servet (m ³)	Artım (m ³ yıl ⁻¹)	Son Hasılat Etası (m ³)	
1	70	Çzd3	1,1	219	4	223	4	64	Çzcd2-5	2,4	321	8	353	
	82	Çzd2-4	2,4	428	9	437		131	Çzcd2-2	0,4	54	1	58	
	82	Çzd3	1,4	344	6	350		210	Çzcd3	3,8	706	19	782	
	83	Çzcd3	1,1	252	7	260		213	Çzcd3-2	2,4	446	12	494	
	122	Çzd3-3	16,5	2.502	43	2.545		214	Çzcd3-1	8,9	1.653	45	1.833	
	134	Çzcd3	12,7	2.359	65	2.424		261	Çzcd2-1	2,8	375	9	411	
	209	Çzcd3	11,2	2.080	57	2.137		263	Çzcd3	4,4	817	22	905	
	257	Çzcd2-3	1	134	3	137		264	Çzcd2-1	11,9	1.971	48	2.167	
	257	Çzcd3	1,9	353	10	363		264	Çzcd2-2	2,1	348	9	384	
	346	Çzd3-3	8,2	1.629	28	1.657		310	Çzcd2-2	9,7	1.299	32	1.427	
	348	Çzd2	11,1	1.980	42	2.022		312	Çzcd2-1	4,8	643	16	707	
	361	Çzd3	0,8	121	2	123		316	Çzd2	1,4	250	5	270	
	365	Çzd3-3	0,7	106	2	108		346	Çzd3-1	2,1	417	7	445	
	365	Çzd3-4	0,7	106	2	108		347	Çzd3	17,7	3.517	60	3.757	
	367	Çzd3-2	0,8	159	3	162		368	Çzd2	1,8	322	6	349	
	371	Çzcd3-2	3	689	19	708		371	Çzcd2-2	1,9	314	7	347	
	375	Çzcd3	8,1	1860	51	1.912		376	Çzcd3-2	3,8	873	24	969	
Toplam			82,7	15.321	353	15.676	Toplam			82,3	1.4326	330	15.658	
2	82	Çzd2-2	1,4	250	5	260	5	64	Çzcd2-4	0,9	121	3	136	
	131	Çzd2	3,5	505	11	527		70	Çzd2-1	2	288	6	318	
	136	Çzcd2-1	1,3	174	4	182		82	Çzd2-1	3,2	571	12	631	
	212	Çzcd2-2	18,4	2.464	61	2.586		82	Çzd2-3	2,1	375	7	415	
	260	Çzcd3-2	4,6	854	23	900		132	Çzd2	1	144	3	159	
	267	Çzcd3	1,3	241	7	255		213	Çzcd2	13,2	1.767	44	1.987	
	312	Çzcd2-4	4,3	576	14	604		214	Çzcd2	4,2	562	14	632	
	313	Çzcd3	3,9	724	20	764		259	Çzcd3	11,3	2.099	57	2.384	
	369	Çzcd2	20,5	3.396	84	3.563		263	Çzd2	2,9	418	9	463	
	370	Çzd3	23,6	5.800	99	5.999		311	Çzd2	2,9	418	9	463	
Toplam			82,8	14.984	328	15.640	350	Çzd2	1,2	173	4	193		
3	70	Çzcd2-2	3,7	495	12	531	6	369	Çzcd3	12,4	2.849	78	3.239	
	70	Çzd1-4	2	188	4	200		373	Çzcd2-1	11,2	1.856	46	2.085	
	132	Çzcd2	3,1	415	10	445		375	Çzcd2	12,3	2.037	51	2.287	
	139	Çzcd2-1	0,7	72	2	78		378	Çzcd2	1,9	254	6	284	
	140	Çzcd2-2	0,5	51	2	54		Toplam			82,7	13.932	349	15.676
	154	Çzcd2	2,9	388	10	418		132	Çzd3	10,6	2.106	36	2.322	
	224	Çzcd2	1,6	214	5	229		134	Çzd2	18,2	2.625	55	2.955	
	257	Çzcd2-2	11,6	1.553	38	1.667		139	Çzd3	5,7	864	14	954	
	258	Çzcd2-1	0,7	94	2	100		210	Çzcd2-1	15,1	2.022	50	2.322	
	266	Çzcd3	4,7	873	24	945		260	Çzcd3-1	1	186	5	216	
	347	Çzcd3	14,2	3.262	89	3.529		317	Çzcd3-2	20,2	3.751	103	4.369	
	366	Çzcd2	1	134	3	143		318	Çzcd3	2,1	390	11	456	
	367	Çzd2	11,4	1.644	35	1.749		348	Çzcd2-2	2,6	430	11	497	
	370	Çzcd3-1	1,8	413	11	446		365	Çzd3-2	0,8	121	2	133	
	371	Çzcd3-1	2,2	506	14	547		367	Çzcd3	6,2	1.151	32	1.343	
	371	Çzd1	4,1	477	10	504		371	Çzd3	0,5	122	2	135	
	373	Çzcd3	3,1	713	20	769		Toplam			83	13.768	321	15.702
	376	Çzcd3-1	13,4	3.079	84	3.330								
Toplam			82,7	14.571	375	15.684								

Ek 1. Son hâsılat kesim planı (Senaryo 3) (devam)

Kesim Yılı	Bölme No	Meşcere Tipi	Alan (ha)	Servet (m ³)	Artım (m ³ yıl ⁻¹)	Son Hasılat Etası (m ³)	Kesim Yılı	Bölme No	Meşcere Tipi	Alan (ha)	Servet (m ³)	Artım (m ³ yıl ⁻¹)	Son Hasılat Etası (m ³)
7	70	Çzd2-2	15,5	2.236	47	2.565	10	64	Çzcd2-1	5,4	723	18	903
	72	Çzd1	0,5	36	1	43		65	Çzcd3	1,2	170	5	220
	122	Çzd3-2	11,6	1.759	30	1.969		69	Çzcd2	3,4	347	8	437
	211	Çzcd3	3,3	613	17	732		69	Çzcd3-1	2,3	427	12	547
	214	Çzcd3-2	2,9	539	15	644		69	Çzcd3-2	1,8	255	7	325
	258	Çzcd2-2	2,1	281	7	330		70	Çzcd2-1	0,5	67	2	87
	260	Çzcd3-3	5,5	1.021	28	1.217		70	Çzcd3-1	6,3	1.170	32	1.490
	261	Çzcd3	0,5	93	3	114		70	Çzcd3-2	2,8	520	14	660
	262	Çzcd2	1,2	123	3	144		73	Çzcd2-2	0,9	92	2	112
	262	Çzd2	5,6	808	17	927		82	Çzd2-5	2,4	428	9	518
	266	Çzcd2	11,8	1.580	39	1.853		83	Çzd1-2	3,1	361	7	431
	312	Çzcd2-2	1,3	174	4	202		131	Çzcd3	4,1	761	21	971
	346	Çzd3-2	9,6	1.908	33	2.139		132	Çzcd3	1	186	5	236
	367	Çzd3-1	2	397	7	446		137	Çzcd2	4,2	429	11	539
	370	Çzcd3-2	1,8	413	11	490		138	Çzcd2-2	1,1	112	3	142
	370	Çzcd3-3	2,1	482	14	573		139	Çzcd1-2	2,2	113	3	143
	374	Çzcd3	2,4	552	15	656		139	Çzcd3	2,2	312	8	402
	374	Çzd2	2,9	517	11	594		210	Çzcd2-2	7,6	1.018	25	1.268
	Toplam			82,6	13.532	302		15.638	215	Çzcd2-1	1,1	112	3
8	64	Çzcd2-2	1,1	147	4	179	348	Çzcd2-1	0,9	150	4	189	
	64	Çzcd2-3	2,9	388	10	468	351	Çzcd3	1,1	204	6	264	
	72	Çzcd2	13,2	1.348	34	1.612	371	Çzcd2-1	15	2.484	62	3.094	
	131	Çzcd2-3	1,1	147	4	179	372	Çzcd3	0,4	56	2	77	
	140	Çzcd3	2,2	312	8	384	373	Çzcd2-2	1,6	265	6	335	
	261	Çzcd2-2	0,6	80	2	96	376	Çzcd2-1	6,4	1.060	26	1.320	
	263	Çzcd2	2,4	321	8	385	376	Çzcd2-2	3,8	630	16	789	
	310	Çzcd2-1	13,9	1.861	46	2.229	Toplam			82,8	12.452	317	15.641
	311	Çzcd2-1	1	134	3	158							
	349	Çzcd2	20,5	2.745	68	3.289							
	368	Çzcd3	23,8	5.468	150	6.667							
	Toplam			82,7	12.951	337	15.646						
	9	83	Çzcd2	1,4	231	6	286						
209		Çzd2	8,6	1.240	26	1.474							
212		Çzcd2-1	3,7	495	12	603							
212		Çzcd3	2,1	390	11	489							
213		Çzcd3-1	2,2	409	11	508							
216		Çzcd3	1,2	170	5	215							
259		Çzcd2	23,5	3.146	78	3.848							
316		Çzcd3	1,6	367	10	458							
317		Çzcd2-2	1,1	147	4	183							
317		Çzcd3-1	20	3.714	102	4.632							
376		Çzcd2-3	3,8	630	16	773							
387	Çzcd2	13,7	1.834	45	2.239								
Toplam			82,9	12.773	326	15.708							