



## Farklı Konumsal Özelliklerin Orman Amenajman Planlama Modeline Dahil Edilmesi: Örnek Bir Uygulama

S. Keleş<sup>1</sup>, Y. Derelli<sup>2,\*</sup>, T. N. Erciyez<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Çankırı Karatekin Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, 18000, ÇANKIRI

<sup>2</sup> Çankırı Karatekin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 18000, ÇANKIRI

### MAKALE KÜNYESİ

Geliş Tarihi: 20 Haziran 2018

Kabul Tarihi : 30 Kasım 2018

\*Sorumlu yazarın e-posta adresi:  
yusuffderelli@gmail.com

### ÖZ

Karmaşık orman amenajmanı planlama problemlerinin çözümünde çok sayıda simülasyon ve matematiksel optimizasyon teknikleri kullanılmaktadır. Bu modelleme teknikleri, orman ekosistemlerinin sürdürülebilir yönetiminde bütünlük analizler yapabilme yeteneğine

sahiptir. Bu makalede, odun üretimine yönelik ve aynı zamanda ormanların sunmuş olduğu diğer önemli fonksiyonların kalite ve kantitesini doğrudan ilgilendiren konumsal özelliklerin planlama modellerine dahil edilmesinin, model sonuçlarına olan etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla karışık tamsayı programlama tekniği kullanılarak değişik konumsal özellikleri içeren farklı alternatif planlama stratejileri geliştirilmiştir. Sonuçlar irdelendiğinde, üretimi düzenleyici kısıtların modellere dahil edilmesi ile ormandan beklenen ekonomik getiriler üzerinde %4-8 oranında azalmaların meydana geldiği görülmüştür. Konumsal özelliklerin modele dahil edildiği stratejilerde ise odun üretiminden elde edilen faizlendirilmiş gelir üzerinde yaklaşık %1-10 arasında azalmalar meydana gelmiştir. Sonuç olarak, karmaşık orman amenajmanı problemlerinin çözümünde, matematiksel optimizasyon teknikleri, karar vericilerin etkin kararlar almasında önemli bir rol oynamaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Orman amenajmanı, Modelleme teknikleri, Orman ekosistemi, Konumsal planlama

## Integration of Various Spatial Attributes into Forest Management Planning Model: A Case Study

### ABSTRACT

Numerous simulation and optimization based planning systems have been developed to support many aspects of forest management planning. Such tools are capable of doing integrated analyses of sustainable management of forest ecosystems. The paper focuses on the use of mathematical optimization techniques in forest management planning including timber production in direct and other vital important forest ecosystem functions in indirect. In this context, various forest management planning alternatives including different spatial attributes were developed using mixed-integer programming. Results showed that the integration of regulatory constraints into forest management model reduced the economic profits obtained from timber production by 4-8%. In the other hand, the integration of spatial attributes into the model reduced the discounted timber value between 1-10%. In conclusion, using different mathematical optimization techniques are extremely important in forestry and sustainable use of forest ecosystems. The quantitative models encourage forest managers and decision makers to solve more complex forest management problems.

**Keywords:** Forest management, Modeling techniques, Forest ecosystem, Spatial planning

*Bu makaleye atf:*

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.

## 1. Giriş

Orman ekosistemleri sürdürülebilirlik ilkeleri doğrultusunda yönetildiğinde, topluma temiz ve kaliteli su üretimi, iklim düzenleme, değişik odun ve odun dışı ürünler sunma, rekreasyon, estetik, biyolojik çeşitlilik koruma gibi değerler sağlamaktadır. Bu kapsamda orman amenajmanı, toplumun orman ekosistemlerinden olan beklentilerini/amaçlarını karşılama görevini üstlenmektedir. Bu amaçların değişmesi ve çeşitlenmesi ile birlikte, bu amaçlara ulaşmak da daha karmaşık bir hale gelmektedir (Davis et al., 2001). Geçmişte orman yöneticileri maksimum odun üretiminin elde edilmesine yoğunlaşmış ve bu anlayış odun yönetimi olarak adlandırılmıştır. Bu anlayışta temel amaç, ormanların sunmuş olduğu diğer fonksiyonların dikkate alınması veya orman kaynaklarının konumsal düzeninin sağlanmasından ziyade, yalnızca odun üretiminin eniyilenmesiydi (Başkent and Yolaşmaz, 2000; Keleş et al., 2017). Fakat son yarım yüzyılda, orman ekosistemlerinden beklenen taleplerin artması ve çeşitlilik göstermesi, orman amenajmanında yeni açılımlar, yaklaşımlar ve düzenlemelerin hayata geçirilmesine neden olmuştur. Bu süreçte orman amenajman planlamasında daha önceleri kullanılan basit formüller yaklaşımların yerini, matematiksel modelleme teknikleri almıştır (Parades and Brodie, 1988).

Orman amenajmanı çok karmaşık ve aynı zamanda ihtilafli bir faaliyettir. Orman ekosistemlerinin çok sayıda fonksiyon sunması ve bu fonksiyonların talebi ile birlikte ortaya çıkan işletme amaçlarının çoğu zaman ve konum itibarıyla farklı ölçekleri kapsamaktadır. Doğasında hiyerarşik bir yapı sergileyen bir karar verme süreci ile gerçekleştirilmektedir. Bu hiyerarşik yapı stratejik, taktiksel ve operasyonel düzeylere ayrılmaktadır (Weintraub and Cholaky, 1991; Gunn, 1991; Murray and Church, 1995; Baskent and Keleş 2005)

Son yıllarda, özellikle ekolojik ve çevresel konuların öneminin artmasına bağlı olarak, orman amenajmanında konumsal kavramlar büyük önem kazanmıştır. Orman amenajman planlamasında üretim birimlerinin şekli, büyüklüğü, dağılımı, minimum ve maksimum kesim alanı büyüklükleri, komşuluk kısıtları ve çekirdek alanlar, ön plana çıkan konumsal kavramlardır (Baskent, 2001; Başkent and Keleş, 2005; Kadioğulları ve ark., 2015). Konumsal planlama modellerinde, her bir üretim birimi ayrı bir bileşen olarak dikkate alınmakta ve kullanılan modelleme tekniğinin sonucu olarak, üretim birimleri birleştirilebilir veya ayrıştırılabilir. Her bir üretim biriminin kontrolü ile

birlikte ormandaki üretimin konumsal düzenlenmesi gerçekleştirilir (Baskent and Jordan, 1991).

İster konumsal isterse konumsal olmayan orman amenajmanı planlama problemlerinin çözümünde, değişik matematiksel optimizasyon teknikleri kullanılmaktadır. Bu tekniklerden özellikle doğrusal programlama konumsal olmayan orman planlama problemlerinin çözümünde kullanılırken (Keleş and Başkent, 2007; Keleş et al., 2007; Başkent et al., 2008; Keleş, 2010; Keleş and Başkent, 2011), tamsayı programlama ve bunun değişik versiyonları (karışık tamsayı programlama gibi) konumsal orman planlamasında kullanılmaktadır.

Bu makalede, örnek bir plan ünitesinde 5 yıllık bir planlama yörüngesi boyunca taktiksel düzeyde bir orman planlama modeli geliştirilmiştir. Konumsal olmayan, yarı-konumsal ve konumsal olmak üzere üç farklı planlama modeli kapsamında geliştirilen alternatif planlama stratejileri, en önemli değerlendirme kriterlerinden biri olan odun üretimi ve odun üretiminden elde edilen faizlendirilmiş gelir üzerinden kıyaslanmıştır. Yine her bir planlama stratejisinde, farklı konumsal kısıtların modele eklenmesinin yarattığı sonuçlar tartışılmıştır.

## 2. Materyal ve yöntem

Bu çalışmada yaklaşık 11517 hektar alandan oluşan ve 896 meşcereden oluşan örnek bir hipotetik orman temel altlık olarak kullanılmıştır. Her bir meşcere farklı yaş, gelişim çağı ve bonitet özelliklerine sahip olup, meşcerelere ilişkin bu veriler örnek amenajman planlarından gerçeğe yakın değerler olarak alınmıştır. Çalışmada planlama süresi 5 yıl (1'er yıllık periyotlar şeklinde) olarak dikkate alınmıştır. Diğer bir ifadeyle planlama, taktiksel planlama niteliği taşımaktadır. Hesaplamalar meşcere düzeyinde yapılmıştır. Ekonomik değer hesaplanmasında %3 faiz oranı kullanılmıştır.

Bu çalışmada, orman amenajmanı modelinin geliştirilmesinde karışık tamsayı programlama tekniği kullanılmıştır. Model temel olarak, amaç fonksiyonu, kaynaklar ve kısıtlayıcı denklemlerden oluşmaktadır. Orman amenajmanı planlama modelinin matematiksel formülasyonu aşağıda açıklanmıştır.

$$MaxZ = \sum_i^m \sum_j^n C_{ij} X_{ij} \quad (1)$$

$$\sum_j^n X_{ij} = 1 \text{ for } i= 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

$$\sum_i^m \sum_j^n A_{ijt} X_{ij} - H_t = 0 \text{ for } t=1, 2, \dots, T \quad (3)$$

$$H_t - H_{t+1} = 0 \quad \text{for } t=1, 2, \dots, T-1 \quad (4)$$

$$H_t \geq F_t \quad \text{for } t=1, 2, \dots, T \quad (5)$$

$$b_{l,t} H_t - H_{t+1} \leq 0 \quad \text{for } t=1, 2, \dots, T-1 \quad (6)$$

$$-b_{h,t} H_t + H_{t+1} \leq 0 \quad \text{for } t=1, 2, \dots, T-1 \quad (7)$$

$$\sum_i^m C_{it} = \bar{C}_t \quad \text{for } t=1, 2, \dots, T-1 \quad (8)$$

$$V_0 - V_T \leq 0 \quad (9)$$

$$0 \leq X_{ij} \leq 1 \quad (10)$$

Burada,

$C_{ij}$ :  $j$  silvikültürel müdahalesine tabi tutulan meşçeresinden elde edilen net bugünkü fayda

$X_{ij}$ :  $j$  müdahalesine göre işletilen meşçeresinin oranı

$A_{ij}$ :  $j$  müdahalesinin seçilmesi durumunda  $i$  meşçeresinden sağlanan toplam odun üretimi

$F_t$ :  $t$  periyodunda gerekli minimum odun üretimi

$H_t$ :  $t$  periyodunda ki toplam odun üretimi

$b_{l,t}$ :  $t$  ve  $t+1$  periyotları arasındaki üretim düzeyinde mevcut alt sınır

$b_{h,t}$ :  $t$  ve  $t+1$  periyotları arasındaki üretim düzeyinde mevcut üst sınır

$C_{it}$ :  $i$  meşçeresi  $t$  periyodunda kesilme durumuna göre 0-1 arasında değer alan değişken

$\bar{C}_t$ :  $t$  periyodunda üretime tabi tutulan meşçere sayısı

$V_0$ : Başlangıç ağaç serveti miktarı

$V_T$ : Planlama yörüngesi sonundaki ağaç serveti miktarı

$m$ : meşçere sayısı

$n$ : müdahale seçeneği sayısı

Eşitlik 1 problemin amaç fonksiyonu olup, planlama yörüngesi boyunca ormandan elde edilen odun üretiminin faizlendirilmiş bugünkü değerini maksimize etmek amaçlanmaktadır. 2. eşitlik bir dizi mantıksal kısıtlar olup, her bir meşçerenin müdahale edilen oranının en fazla 1 olmasını sağlamaktadır. Eşitlik 3, her bir periyottaki üretim miktarını hesaplayan kısıtlayıcılarıdır. 4, 6 ve 7 eşitsizlikleri, odun üretimi akışını düzenleyen kısıtlayıcılarıdır. Kısıt 5,  $t$  periyodunda talep edilen minimum odun üretimini ifade etmektedir. Kısıt 8,  $t$  periyodunda üretime giren meşçere sayısını hesaplamaktadır. Kısıt 9, ormanı düzenleme amaçlı kullanılan bir kısıt olup, başlangıçtaki ağaç serveti düzeyinin planlama yörüngesi sonunda en azından başlangıçtaki değer kadar olmasını garanti altına almaktadır. Kısıt 10,  $X_{ij}$  değişkenlerinin 0-1 arasında değer almasını güvenceye almaktadır.

Bu çalışmada, konumsal olmayan, yarı-konumsal ve konumsal olmak üzere üç farklı alternatif

planlama modeli geliştirilmiştir. Konumsal olmayan modelde, üç alternatif strateji geliştirilmiştir. Temel strateji olarak adlandırılan birinci stratejide, son envanter kısıtı altında, faizlendirilmiş toplam odun üretiminin maksimize edilmesi amaçlanmıştır. İkinci stratejide, periyotlar arasında eşit ete üretiminin hedeflendiği kısıt, ilk stratejiye ilave edilmiştir. Son olarak üçüncü stratejide, periyotlar arasında %5 değişime izin verilen üretimi düzenleyici kısıt temel stratejiye eklenmiştir.

Yarı-konumsal modelde, birinci periyotta üretilen meşçere sayısını kontrol etmek ve izlemek için üç strateji geliştirilmiştir. Birinci yani temel stratejide, son envanter kısıtı ile birinci periyotta en az 50000 m<sup>3</sup> odun üretimi talebi altında, planlama yörüngesi boyunca odun üretiminden elde edilen faizlendirilmiş bugünkü faydanın maksimizasyonu amaçlanmıştır. Temel stratejiden elde edilen sonuçlara bağlı olarak, ikinci stratejide, birinci periyotta üretime tabi tutulan meşçere sayısı 20 olacak şekilde, ilk stratejiye bir kısıt eklenmiştir. İkinci stratejinin aksine, üçüncü stratejide ise, birinci periyotta üretime alınacak meşçere sayısını artırmak için, meşçere sayısı 90'a çıkarılmış ve birinci stratejiye kısıt olarak eklenmiştir.

Konumsal modelde amaç, orman ekosisteminde birinci periyotta üretime alınacak meşçerelerin dağıtılması/serpiştirilmesidir. Bu amaçla üç alternatif strateji geliştirilmiştir. Modelde amaç odun üretiminden elde edilecek faizlendirilmiş bugünkü faydanın, son envanter kısıtı altında, eniyilenmesidir. İlk strateji bu şekilde belirlenmiştir. İkinci stratejide komşuluk kısıtı modele eklenmiştir. Bu kısıt ile üretime alınacak meşçerelerin kümelenmesini önlemek için, ilk periyotta birbirine komşu en fazla iki meşçerenin kesilmesi hedeflenmiştir. Üçüncü stratejide ise, aynı periyotta en fazla üç meşçerenin üretime alınabileceği komşuluk kısıtı eklenmiştir.

### 3. Bulgular

Konumsal olmayan modele ilişkin alternatif stratejilerin odun üretimleri ve odun üretiminden elde edilen faizlendirilmiş bugünkü değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Planlama yörüngesi boyunca faizlendirilmiş odun üretimi değerini maksimize eden stratejiler arasında, temel strateji (strateji 1) 157982 m<sup>3</sup> ile en düşük odun üretimi değerini vermiştir. Bu stratejide, en yüksek odun üretimi 157650 m<sup>3</sup> ile ilk periyotta gerçekleşmiştir. Strateji 2'de planlama yörüngesi sonunda ki toplam odun üretimi, strateji 1 ile kıyaslandığı zaman yaklaşık %1 oranında artış göstermiştir (159415 m<sup>3</sup>). Diğer taraftan, faizlendirilmiş toplam odun üretimi değeri ise strateji 1'e göre strateji 2'de % 4-8 oranında

azalmıştır. Strateji 2’de her bir periyotta eşit miktarda odun üretimi sağlanmıştır (31883 m<sup>3</sup>). Strateji 3, yine strateji 1 ile kıyaslandığı zaman, daha fazla odun üretimi sağlamasına rağmen (159390 m<sup>3</sup>), faizlendirilmiş bugünkü değer itibariyle daha düşük

değerde sonuçlanmıştır (146434 m<sup>3</sup>). Tüm stratejilerde orman ekosisteminin sürekliliğini garanti altına alan 1156031 m<sup>3</sup> başlangıç servet düzeyi, planlama yörüngesi sonunda elde edilmiştir.

Tablo 1. Alternatif planlama stratejilerinin zaman itibariyle odun üretimi ve faizlendirilmiş bugünkü değerleri

Periyot	Strateji 1		Strateji 2		Strateji 3	
	Odun Üretimi (m <sup>3</sup> )	Faizlendirilmiş Bugünkü Değer (m <sup>3</sup> )	Odun Üretimi (m <sup>3</sup> )	Faizlendirilmiş Bugünkü Değer (m <sup>3</sup> )	Odun Üretimi (m <sup>3</sup> )	Faizlendirilmiş Bugünkü Değer (m <sup>3</sup> )
1	157650	153058	31883	30954	35229	34203
2	332	313	31883	30053	33468	31547
3	0	0	31883	29177	31794	29096
4	0	0	31883	28328	30205	26837
5	0	0	31883	27503	28694	24752
Toplam	157982	153371	159415	146015	159390	146434

Yarı-konumsal modelde, alternatif stratejilere ilişkin sonuçlar Tablo 2’de verilmiştir. Odun üretiminin faizlendirildiği en büyük değer 150862 m<sup>3</sup> ile strateji 1’de gerçekleşmiştir. Faizlendirilmiş odun üretimi değeri itibariyle strateji 1 ile kıyaslandıkları zaman, strateji 2 ve 3’te meydana gelen azalmaların önemsiz olduğu görülmüştür. Yani hemen hemen benzer değerler elde edilmiştir. Strateji 1, 2 ve 3 için ilk periyotta kesilen meşcere sayıları sırasıyla 64, 20 ve 90 olarak gerçekleşmiştir. Sonuçlar açık olarak göstermektedir ki, odun üretiminin faizlendirilmiş değerlerinde herhangi bir azalma olmaksızın, periyotlarda kesime alınan meşcere sayılarının kontrolü model de sağlanmıştır.

Bununla birlikte, katı kısıtların modele dahil edilmesi ile, parçalı meşcere sayısı artmıştır. Şekil 1, alternatif stratejiler için ilk periyotta üretime alınan meşcereleri daha iyi görebilmek için, çalışma alanının belirli bir parçasını göstermektedir. Şekilden de görüldüğü üzere, strateji 1’de ilk periyotta kesime alınan meşcereler alana dağılmış durumdadır. Strateji 2’de ilk periyotta kesilen meşcere sayısının 20 olarak sınırlandırılması ile kesilen meşcerelerin dağılması engellenmiştir. Diğer taraftan, ilk periyotta kesilen meşcere sayısının artırılmasına izin verildiği strateji 3’te, kesilen meşcerelerin alana dağılmış olduğu görülmektedir.

Tablo 2. Alternatif planlama stratejilerinden planlama yörüngesi boyunca elde edilen çıktılar

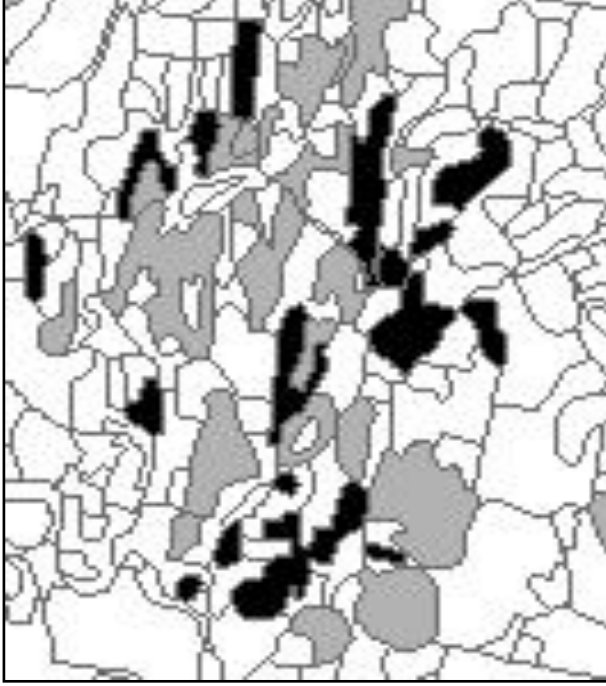
Stratejiler	Odun Üretimi (m <sup>3</sup> )	Faizlendirilmiş Bugünkü Değer (m <sup>3</sup> )	Parçalı Meşcere Sayısı	İlk Periyotta Kesilen Meşcere Sayısı
Strateji 1	158550	150862	1	64
Strateji 2	158413	150733	2	20
Strateji 3	158524	150838	2	90

Komşuluk kısıtlarının odun üretimi ve faizlendirilmiş odun üretimi değerleri üzerine etkilerinin araştırıldığı konumsal modelde, üç alternatif stratejiye ilişkin model sonuçları Tablo 3’de verilmiştir. Herhangi bir konumsal kısıtın yer almadığı strateji 1’e farklı konumsal kısıtlarının eklendiği strateji 2 ve 3’te, faizlendirilmiş odun üretimi değerlerinin sırasıyla %9 ve %3.5 oranında azaldığı görülmüştür. Strateji 2 ve 3’te, konumsal

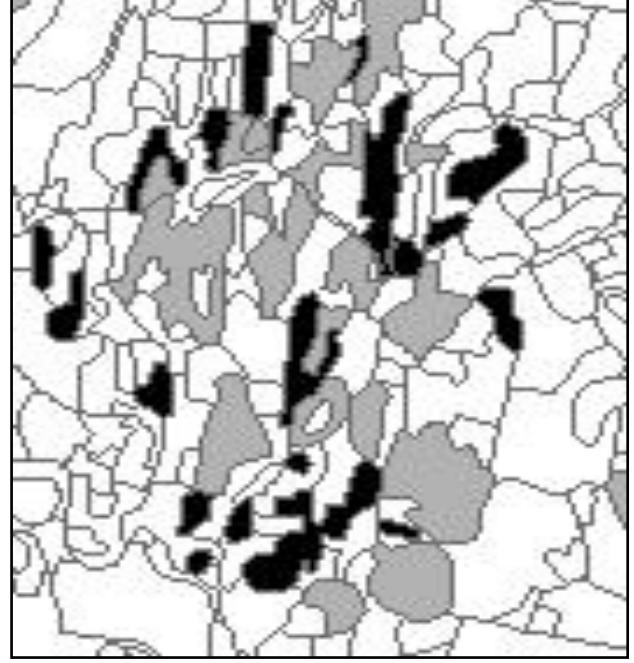
kısıtlar nedeniyle, bazı meşcereler diğer periyotlarda kesime alınmıştır. Fakat 5 periyot birlikte değerlendirildiğinde, strateji 2 ve 3’ten elde edilen faizlendirilmiş odun üretimi değerinin strateji 1 ile neredeyse benzer olduğu görülmektedir. Strateji 2’de en fazla iki, strateji 3’te ise en fazla üç komşu meşcerenin üretime alınması kısıtı sağlanmıştır (Şekil 2).

Tablo 3. Alternatif planlama stratejilerinden planlama yörüngesi sonunda elde edilen model çözüm sonuçları

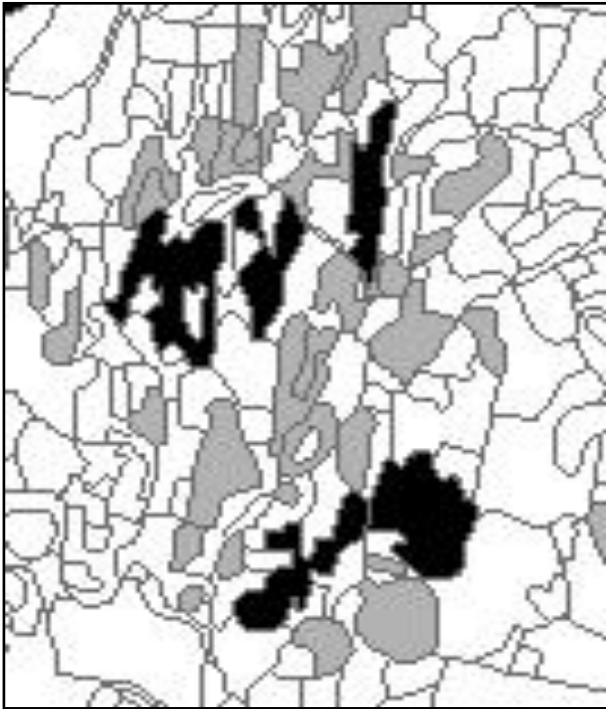
Stratejiler	Odan Üretimi (m <sup>3</sup> )	Faizlendirilmiş Bugünkü Değer (m <sup>3</sup> )	Parçalı Meşcere Sayısı	İlk periyotta Kesilen Meşcere Sayısı
Strateji 1	157982	153371	0	169
Strateji 2	158760	153685	2	125
Strateji 3	157857	153095	1	145



(a)



(c)



(b)

- 1. periyotta üretime alınan alanlar
- Diğer periyotlarda üretime alınan alanlar
- Planlama yörüngesi boyunca üretilmeyen alanlar

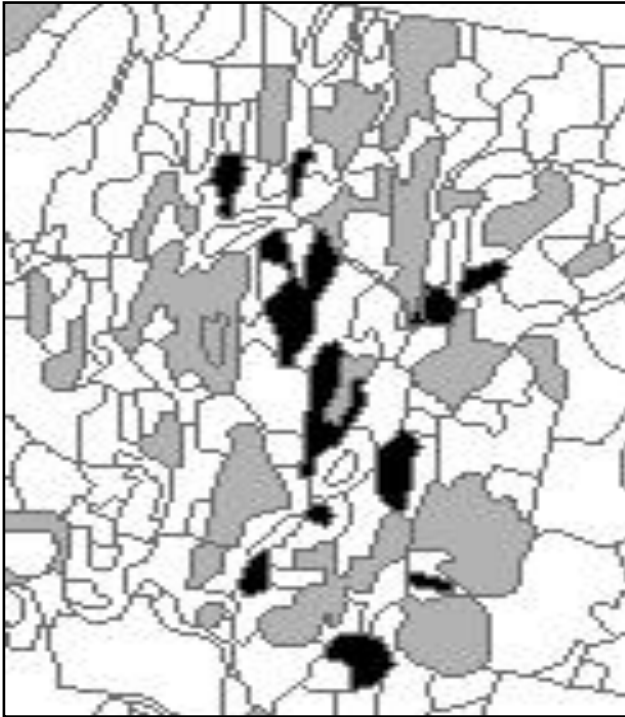
Şekil 1. İlk periyotta kesilen meşcere sayısının a) 0 b) 20 c) 90 olarak ayarlandığı alternatif stratejiler için elde edilen model çözümlerinin konumsal düzeni



(a)



(c)



(b)

- Diğer periyotlarda üretilen alanlar
- 1. periyotta üretime alınan alanlar
- Planlama yörüngesi boyunca üretilmeyen alanlar

Şekil 2. Komşuluk kısıtları sayısının a) 0 b) 2 c) 3 olarak ayarlandığı alternatif stratejilerin çözümlerine ilişkin model çözümlerinin konumsal düzeni

#### 4. Tartışma ve sonuç

Orman amenajman planlamasında daha önceleri kullanılan metotlar çoğunlukla odun üretimi amaçlı ve genellikle hesaplama açısından basit problemlerin çözümünde sonuçlar vermekteydi. Bu metotlar, orman ekosisteminden elde edilen odun üretimini düzenleyici roller üstlenmekte ve halen Türkiye ve bazı ülkelerde orman amenajman planlamasında kullanılmaya devam etmektedir. Ancak bu metotlar orman ekosisteminin sunmuş olduğu diğer fonksiyonların sürekliliğini garanti altına alamamaktadır. Bu süreçte, ormanların ekosistem tabanlı çok amaçlı ve aynı zamanda sürdürülebilir yönetiminde son dönemlerde farklı modelleme tekniklerinin ve bununla bağlantılı yazılımların geliştirilmesi ortaya çıkmıştır (Keleş and Başkent, 2007; Keleş et al., 2007; Başkent and Keleş 2009; Karahalil et al., 2009; Keleş, 2010; Keleş and Başkent, 2011; Başkent et al., 2014; Kadioğulları ve ark., 2015).

Bu makalede, orman ekosistemlerinin özellikle biyolojik çeşitlilik, toprak ve su koruma gibi hayati önemli fonksiyonların sürdürülebilir yönetiminde önem arz etmekte olan konumsal özelliklerin, karışık tamsayılı programlama tekniği kullanılarak,

planlamaya dahil edilmesi ve elde edilen sonuçların karşılaştırılmasını amaçlamıştır. Bu amaçla, taktiksel düzeyde ve farklı konumsal özelliklerin modellere dahil edildiği, değişik konumsal ve konumsal olmayan planlama alternatifleri geliştirilmiştir. Veri tabanı işlemleri ile planlama modellerin sonuçlarının sunumunda Coğrafi Bilgi Sistemlerinden faydalanılmıştır. Üç farklı planlama modelinin sonuçları birlikte irdelendiğinde, oldukça iyi sonuçlar elde edilmiştir. Düzenleyici kısıtların modele dahil edilmesi, daha önce yapılan benzer çalışmalar olduğu gibi, odun üretiminden elde edilen ekonomik getiriler üzerinde az da olsa azalmalarla sonuçlanmıştır (Field et al., 1980; Hof et al., 1986; Haight et al., 1992; Hoganson and McDill, 1993; Baskent and Keles, 2006; Keleş, 2010; Başkent et al., 2011; Keleş, 2017). Konumsal özelliklerin modellere dahil edilmesi, ormandan beklenen çıktılar üzerinde önemli sayılabilecek azalmalara neden olmamıştır. Diğer taraftan, konumsal özelliklerin modellere dahil edilmesiyle birlikte, orman ekosisteminde zaman ve konum düzenin önemli ölçüde sağlanabileceği görülmüştür. Litertatür incelendiğinde, konumsal özelliklerin orman amenajman planlama modellerine başarıyla dahil edildiği çok sayıda çalışma bulunmaktadır (Barahona et al., 1992; Weintraub et al., 1994; Hof et al., 1994; Williams, 1998; Hof and Bevers, 2000; McDill et al., 2002).

Bununla birlikte bu çalışmanın genişletilmesi ve saha sonraki çalışmalarda dikkate alınması gereken bazı eksiklikler bulunmaktadır. Bu çalışmada kullanılan model deterministik yapıda olup, çıkması olası risk ve belirsizlikler modele dahil edilmiştir. Onun üretiminin faizlendirilmesinde doğrudan odun üretim miktarı kullanılmış olup, ürün çeşitleri itibariyle parasal değerler kullanılmamıştır. Çalışmada sadece odun üretimi fonksiyonu modele dahil edilmiş olup, diğer orman fonksiyonlarını da içeren modellerin geliştirilmesi yerinde olacaktır. Son yıllarda daha çok kullanım alanına sahip olan kombine optimizasyon tekniklerinin de bu tür planlama problemlerinin çözümünde kullanılması ve tamsayı programlama tekniğinden elde sonuçlar ile kıyaslanması bu çalışmanın iyileştirilmesi açısından önemlidir. Sonuç olarak, orman ekosistemlerinden sürdürülebilir bir şekilde ve çok amaçlı faydalanma hususunda, matematiksel optimizasyon teknikleri son derece önemli rol oynamaktadır. Bu sayısal modeller, orman yöneticileri veya karar vericilerin karmaşık orman amenajmanı planlama problemlerini çözmesi anlamında etkin kararlar almasını kolaylaştırmaktadır.

## Kaynaklar

- Barahona, F., Weintraub, A., Epstein, R., 1992. Habitat dispersion in forest planning and the stable set problem. *Operations Research* 40 (1), 14–21.
- Başkent, E.Z., Jordan, G.A., 1991. Spatial wood supply simulation modeling. *Forestry Chronicle* 67 (6), 610–621.
- Başkent, E.Z., Yolasıgımaz, A., 2000. Exploring the Concept of Forest Landscape Management Paradigm. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 24, 443–451.
- Başkent, E.Z., 2001. Combinatorial optimization in forest ecosystem management modeling. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 25, 187–194.
- Başkent, E.Z., Keleş, S., 2006. Developing alternative wood harvesting strategies with linear programming in preparing forest management plans. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 30, 67–79.
- Başkent, E.Z., Keleş, S., 2005. Spatial forest planning: A review. *Ecological Modelling* 188, 145–173.
- Başkent, E.Z., Keleş, S., Yolasıgımaz, 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.
- Başkent, 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 (4), 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 Modeling and Assessment* 16 (2), 145–152.
- Başkent, E.Z., Keleş, S., Kadioğulları, A.İ., 2014. Challenges in developing and implementing a decision support systems (ETÇAP) in forest management planning: a case study in Honaz and İbradı, Turkey. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 29 (Special Issue, Supplement: 1), 121–131.
- Davis, L.S., Johnson, K.N., Bettinger, P., Howard, T.E., 2001. *Forest Management: to Sustain Ecological, Economic, and Social Values*. McGraw-Hill Companies Inc, New York.
- Field, R.C., Dress, P.E., Fortson, J.C., 1980. Complementary linear and goal programming procedures for timber harvest scheduling. *Forest Science* 26, 121–133.
- Gunn, E.G., 1991. Some aspects of hierarchical production planning in forest management. In: *Proceedings of the 1991 Symposium on Systems Analysis in Forest Resources*, 3–6 March 1991, South Carolina, USDA FS General Technical Report SE-74, pp. 54–62.
- Hof, J.G., Pickens, J.B., Barlett, E.T., 1986. A maxmin approach to non-declining yield timber harvest scheduling problems. *Forest Science* 32, 663–666.
- Hof, J., Bevers, M., Joyce, L., Kent, B., 1994. An integer programming approach for spatially and temporally optimizing wildlife populations. *Forest Science* 40 (1), 177–191.

Hof, J., Bevers, M., 2000. Optimal timber harvest scheduling with spatially defined sediment objectives. *Canadian Journal of Forest Research* 30 (9), 1494–1500.

Haight, R.G., Monserui, R.A., Chew, J.D., 1992. Optimal harvesting with stand density targets: Managing Rocky Mountain Conifer Stands for multiple forest outputs. *Forest Science* 38, 554–574

Hoganson, H.M., McDill, M.E., 1993. More on forest regulation: An LP perspective. *Forest Science* 39, 321–347.

Kadioğulları, A.İ., Keleş, S., Başkent, E.Z., Bingöl, Ö., 2015. Orman amenajman planlarının konumsal simülasyon modeli ile hazırlanması. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi* 16 (2), 307-318.

Karahalil, U., Keleş, S., Başkent, E.Z., Köse, S., 2009. Integrating soil conservation, water production and timber production values in forest management planning using linear programming. *African Journal of Agricultural Research*, 4 (11), 1241-1250.

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., Yolasiğmaz, H.A., Başkent, E.Z., 2007. Long term modeling and analyzing of some important forest ecosystem values with linear programming. *Fresenius Environmental Bulletin* 16 (8), 963-972.

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., Başkent, E.Z., 2011. Joint production of water and timber: A case study. *Water Policy* 13 (4), 535-546.

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., Durusoy, İ., Çakır, G., 2017. Analysis of the changes in forest ecosystem functions, structure and composition in the Black Sea region of Turkey. *Journal of Forestry Research*, 28 (2), 329-342.

McDill, M.E., Rebain, S.A., Braze, J., 2002. Harvest scheduling with area-based adjacency constraints. *Forest Science* 48 (4), 631–642.

Murray, A.T., Church, R.L., 1995. Heuristic solution approaches to operational forest planning problems. *OR Spektrum* 17, 193–203.

Parades, G., Brodie, D., 1988. Activity Analysis in Forest Planning. *Forest Science* 34 (1), 3-18.

Weintraub, A., Cholak, A., 1991. A hierarchical approach to forest planning. *Forest Science* 37 (2), 439–460.

Weintraub, A., Barahona, F., Epstein, R., 1994. A column generation algorithm for solving general forest planning problems with adjacency constraints. *Forest Science* 40 (1), 142–161.

Williams, J.C., 1998. Delineating protected wildlife corridors with multi-objective programming. *Environmental Modelling and Assessment* 3, 77–86.