



**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



DOKTORA TEZİ

**ORMAN AMENAJMAN PLANLAMASINDA KARIŞIK TAMSAYILI
AMAÇ PROGRAMLAMAMIN KULLANILMASI: AKÖREN PLAN
ÜNİTESİ ÖRNEĞİ**

Mehmet DEMİRCİ

Orman Mühendisliği Anabilim Dalı

Orman Mühendisliği Programı

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Ahmet YEŞİL**

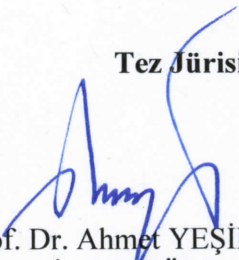
**II. DANIŞMAN
Prof. Dr. Pete BETTINGER**

Mayıs, 2018

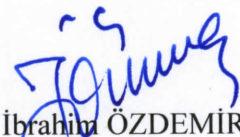
İSTANBUL

Bu çalışma, 2.05.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, Orman Mühendisliği Programında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi



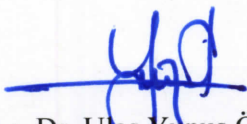
Prof. Dr. Ahmet YEŞİL (Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Orman Fakültesi



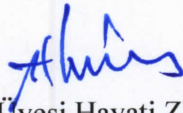
Prof. Dr. İbrahim ÖZDEMİR
Süleyman Demirel Üniversitesi
Orman Fakültesi



Prof. Dr. Sultan BEKİROĞLU
İstanbul Üniversitesi
Orman Fakültesi



Doç. Dr. Ulas Yunus ÖZKAN
İstanbul Üniversitesi
Orman Fakültesi



Dr. Öğr. Üyesi Hayati ZENGİN
Düzce Üniversitesi
Orman Fakültesi

20.04.2016 tarihli resmi gazetede yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi'nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

Bu tez, İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin 20612 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

“Orman Amenajman Planlamasında Karışık Tamsayılı Amaç Programlamanın Kullanılması: Akören Plan Ünitesi Örneği” adlı bu çalışma, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalı Orman Mühendisliği Programında doktora tezi olarak hazırlanmıştır.

Sadece bu doktora tezinin hazırlanması sürecinde değil, aynı zamanda lisans ve yüksek lisans öğrenimim boyunca da çok büyük desteğini gördüğüm, bilgi ve tecrübelerinden faydalanma imkânı bulduğum ve çalışmalarımın her aşamasında tavsiyelerini aldığım değerli danışman hocam Prof. Dr. Ahmet YEŞİL’e en içten dileklerle teşekkür ederim.

Ayrıca, beni “*Yetiştirilmek Amacıyla Yurt Dışına Gönderilecek Devlet Memurları Hakkında Yönetmelik*” çerçevesinde, Georgia Üniversitesi Warnell Ormancılık ve Doğal Kaynaklar Fakültesine misafir araştırmacı olarak gönderen ve bu tez çalışmasının hayata geçirilmesine vesile olan, o dönemki daire başkanım, Orman Genel Müdürlüğü Başmüfettişi Rüstem KIRIŞ’a ve misafir araştırmacı olarak çalıştığım süre zarfında ve sonrasında kendisinden çok istifade ettiğim ikinci danışman hocam Prof. Dr. Pete BETTINGER’e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Doktora yeterlilik sınavında yer alan değerli akademisyenler ile tez izleme komitesinde yer alan ve çalışmanın her aşamasında çok değerli katkılarını gördüğüm Prof. Dr. Kamil ŞENGÖNÜL, Doç. Dr. Ulaş Yunus ÖZKAN ve Dr. Öğr. Üyesi Hayati ZENGİN’e çok teşekkür ederim.

Doktora eğitimim esnasında ders aldığım Orman Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. Murat DEMİR, Prof. Dr. Yusuf GÜNEŞ, Prof. Dr. Yusuf SERENGİL, Prof. Dr. Ferhat GÖKBULAK, Prof. Dr. Mustafa Ömer KARAÖZ ve Prof. Dr. Doğanay TOLUNAY’a çok teşekkür ederim.

Çalışmalarımda bana yardımcı olan Orman Amenajmanı Anabilim Dalının değerli akademisyenleri Doç. Dr. Sinan DESTAN, Dr. Öğr. Üyesi Serhun SAĞLAM, Araş. Gör. İnci ÇAĞLAYAN ve Araş. Gör. Tufan DEMİREL ile mesai arkadaşlarım Sasha ALEXANDER, Daniel TSEGAI, Marcos MONTROIRO ve Pedro Lara ALMUEDO’ya çok teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasına finansal katkı sağlayan İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğine, tez konusu ile ilgili her türlü bilgi, belge ve veri ihtiyacımı cömertçe karşılayan Orman Genel Müdürlüğüne ve özellikle Orman İdaresi ve Planlama Dairesi Başkan Yardımcısı Mithat KOÇ ile Şube Müdürleri Gediz Metin KOCAELİ, Ali ÖZEL, Tamer ERTÜRK, Teslime YILMAZ ve Nedim İPEK’e çok teşekkür ederim.

Doktoraya başlamam için beni cesaretlendiren ve bana her konuda büyük destek olan sevgili eşim Esmâ’ya ve bu süreçte kendisiyle çok fazla ilgilenemediğim biricik kızım Rana’ya gönül dolusu sevgilerimi ve şükranlarımı sunarım.

Mayıs 2018

Mehmet DEMİRCİ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER	v
ŞEKİL LİSTESİ	viii
TABLO LİSTESİ	xi
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	xiii
ÖZET	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR	10
2.1. ORMAN PLANLAMADA KARAR DESTEK SİSTEMLERİNİN YERİ	10
2.1.1. Karar Destek Sisteminin Tanımı, Özellikleri ve Türleri	10
2.1.2. Karar Destek Sistemlerinin Kullanım Alanları	14
2.1.3. Orman Yönetimi ve Planlamasında Karar Destek Sistemlerinin Kullanımı	14
2.2. ORMAN PLANLAMADA OPTİMİZASYONUN KULLANIMI	18
2.2.1. Planlama Biriminin Ölçeğine Göre Optimizasyon	20
2.2.1.1. Ağaç Düzeyinde Optimizasyon	20
2.2.1.2. Meşcere Düzeyinde Optimizasyon	21
2.2.1.3. Orman Düzeyinde Optimizasyon	22
2.2.1.4. Peyzaj Düzeyinde Optimizasyon	25
2.2.2. Planlama Hiyerarşisine Göre Optimizasyon	26
2.2.2.1. Stratejik Planlamada Optimizasyon	29
2.2.2.2. Taktiksel Planlamada Optimizasyon	31
2.2.2.3. Operasyonel Planlamada Optimizasyon	34
2.2.3. Konumsal Açıdan Optimizasyon	37
2.2.3.1. Konumsal Olmayan Optimizasyon	37
2.2.3.2. Konumsal Optimizasyon	37
2.3. KONUMSAL ORMAN PLANLAMASI	38
2.3.1. Konumsal Planlamanın Tanımı	39

2.3.2. Konumsal Planlamada Kullanılan Bazı Kavramlar.....	39
2.3.2.1. <i>Komşuluk</i>	39
2.3.2.2. <i>Erteleme Süresi</i>	39
2.3.2.3. <i>Tıraşlama Kesim Alanı Büyüklüğü</i>	40
2.3.2.4. <i>Bakım Bloğu</i>	41
2.3.3. Orman Planlamasında Konumsal Kısıtların Kullanımı	41
2.3.3.1. <i>Tıraşlama Kesimlerinde Komşuluk ve Erteleme Süresi</i>	41
2.3.3.2. <i>Yaban Hayatı Yaşam Alanı Kalitesi</i>	44
2.3.3.3. <i>Peyzaj Düzeyinde Yaklaşımlar</i>	46
2.3.4. Konumsal Planlama Problemleri.....	49
2.3.4.1. <i>Dağıtma (Yayma) Problemleri</i>	49
2.3.4.2. <i>Bir Araya Toplama Problemleri</i>	50
2.3.5. Konumsal Kısıtların Ekonomik Etkileri	51
2.3.6. Konumsal Planlamanın Zorlukları	52
2.4. ORMAN PLANLAMADA KULLANILAN OPTİMİZASYON YÖNTEMLERİ	53
2.4.1. Doğrusal Programlama	54
2.4.1.1. <i>Doğrusal Programlamanın Doğuşu ve İlk Uygulamalar</i>	54
2.4.1.2. <i>Doğrusal Programlamanın Tanımı ve Matematiksel İfadesi</i>	55
2.4.1.3. <i>Doğrusal Programlamanın Varsayımları</i>	56
2.4.1.4. <i>Genel Bir Doğrusal Programlama Modelinin Çözüm Yolları</i>	57
2.4.2. Karışık Tamsayılı Programlama.....	58
2.4.3. Tamsayılı Programlama.....	58
2.4.4. Doğrusal Olmayan Programlama	58
2.4.5. Amaç Programlama	59
2.4.5.1. <i>Amaç Programlamanın Tanımı ve İlk Uygulamalar</i>	59
2.4.5.2. <i>Amaç Programlamanın Ormancılıkta Kullanılması Örnekleri</i>	60
2.4.5.3. <i>Amaç Programlamayla İlgili Temel Kavramlar</i>	64
2.4.5.4. <i>Amaç Programlamanın Yapısı ve Matematiksel Modeli</i>	65
2.4.5.5. <i>Amaç Programlamanın Avantajları ve Dezavantajları</i>	68
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	69
3.1. MALZEME	69
3.1.1. Çalışma Alanı ve Özellikleri	69
3.1.1.1. <i>Coğrafi Konumu ve Topoğrafik Yapısı</i>	69
3.1.1.2. <i>İklim ve Bitki Örtüsü</i>	71

3.1.1.3. Çalışma Alanında Orman – Halk İlişkileri.....	72
3.1.4. Çalışma Alanı Plan Verileri.....	73
3.1.4.1. Meşcere Bakımına Ait Veriler	77
3.1.4.2. Gençleştirme Çalışmalarına Ait Veriler	81
3.2. YÖNTEM.....	84
3.2.1. Çalışma Alanı Verilerinin Derlenmesi ve İşlenmesi	84
3.2.1.1. Bakım Problemine İlişkin Verilerin İşlenmesi	84
3.2.1.2. Gençleştirme Problemine İlişkin Verilerin İşlenmesi.....	87
3.2.2. Amaç Programlama Modellerinin Matematiksel Formülasyonu	91
3.2.2.1. Doğrusal Bakım Modeli ve Doğrusal Olmayan Bakım Modeli.....	91
3.2.2.2. Doğrusal Gençleştirme Modeli.....	94
3.2.3. Modellerin Komut Dizinlerinin Yazılması.....	96
3.2.3.1. Bakım Modellerinin Komut Dizini.....	96
3.2.3.2. Gençleştirme Modelinin Komut Dizini	103
3.2.4. Modellerin Lingo 16’da Koşturulması	108
4. BULGULAR.....	110
4.1. BAKIM PROBLEMİNE İLİŞKİN BULGULAR.....	110
4.1.1. Doğrusal Bakım Modeli ile Elde Edilen Sonuçlar	111
4.1.2. Doğrusal Olmayan Bakım Modeli ile Elde Edilen Sonuçlar.....	117
4.2. GENÇLEŞTİRME PROBLEMİNE İLİŞKİN BULGULAR.....	123
4.3. ÇALIŞMA ALANI İÇİN ELDE EDİLEN KESİM PLANLARI	131
4.3.1. Ara Hasılat Kesim Planları.....	131
4.3.2. Gençleştirilecek Sahalara Ait Zaman-Mekân Düzenlemesi.....	133
4.4. SONUÇLARIN GERÇEK PLANLAR İLE KARŞILAŞTIRILMASI.....	139
4.4.1. Meşcere Bakımı Planlarının Karşılaştırılması.....	139
4.4.1.1. Doğrusal Model ile Elde Edilen Planın Karşılaştırılması	141
4.4.1.2. Doğrusal Olmayan Model ile Elde Edilen Planın Karşılaştırılması.....	142
4.4.2. Gençleştirme Planının Karşılaştırılması	142
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	145
KAYNAKLAR.....	156
ÖZGEÇMİŞ	181

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1: Yönetim seviyelerinde karar tipleri (TBD, 2010).....	11
Şekil 2.2: KDS'nin sınıflandırması (Hasan ve diğ., 2016).	13
Şekil 2.3: Orman tedarik zinciri (Rönnqvist, 2003).....	26
Şekil 2.4: Bazı OTZ faaliyetleri için makul çözüm süreleri (Rönnqvist, 2005).	28
Şekil 2.5: OTZ'ye ilişkin genel bir stratejik orman planlama probleminin formülasyonu (Bettinger ve diğ., 2017).....	30
Şekil 2.6: OTZ'ye ilişkin genel bir taktiksel orman planlama probleminin formülasyonu (Bettinger ve diğ., 2009).....	33
Şekil 2.7: OTZ'ye ilişkin genel bir operasyonel orman planlama probleminin formülasyonu (Bettinger ve diğ., 2009).	35
Şekil 2.8: Komşuluk ilişkisinin üç farklı türü (Bettinger ve diğ., 2017).....	40
Şekil 2.9: Yama, koridor, matris modeli.	47
Şekil 3.1: Akören Orman İşletme Şefliğinin konumu.....	69
Şekil 3.2: Akören Orman İşletme Şefliği fonksiyon haritası ve çalışma alanı (yeşil).	70
Şekil 3.3: Çağ sınıfları haritası.....	75
Şekil 3.4: Yaş sınıfları haritası.	76
Şekil 3.5: Bakım bölmelerinde hektar başına düşen ortalama servet miktarı.	79
Şekil 3.6: Bakım bölmelerinde hektar başına düşen ortalama eta miktarı.....	80
Şekil 3.7: Gençleştirme sahalarını oluşturan meşcere tipleri.	83
Şekil 3.8: Çalışma alanında farazi olarak oluşturulan orman içi rampaları.	86
Şekil 3.9: DBM'nin 3. senaryosuna ait amaç fonksiyonunun açık formda yazılışı.....	97
Şekil 3.10: Bakım modellerinde arazi kısıtının açık formda yazılışı.	98
Şekil 3.11: Bakım modellerinde 1. yılda üretilecek odun hacmini veren hesaplama satırının yazılışı.	98

Şekil 3.12: Planın 1. yılında kesilecek bölmeler ile 1 no.lu geçici rampa arasında oluşan çiftler.....	99
Şekil 3.13: Planlanan bir bölme ile orman içi geçici rampaların oluşturduğu çiftlerin sadece bir tanesinin hesaba katılmasını sağlayan eşitlikler.	100
Şekil 3.14: Planın 1. yılı için planlanan bölmelerin ağırlık merkezlerinin 1 no.lu orman içi geçici rampasına olan mesafelerini toplayan hesaplama satırı.	100
Şekil 3.15: Planın 1. yılı için planlanan bölmelerin sayısını veren hesaplama satırı.	101
Şekil 3.16: Her bir yıl için planlanan bölmelerin sayısını sınırlayan kısıtlar.	101
Şekil 3.17: Odun hacmi ve mesafe hedeflerinden sapmaları belirleyen eşitlikler.	102
Şekil 3.18: X_{ki} ve D_{kpi} değişkenlerinin ikili tamsayı değer almasını sağlayan satırlar.	102
Şekil 3.19: DBM'yi DOBM'ye dönüştüren ve ortalama mesafeyi veren eşitlikler.	103
Şekil 3.20: DOBM'de ortalama mesafe hedefinden sapmaları hesaplayan eşitlikler.	103
Şekil 3.21: DOBM'nin amaç satırı.	103
Şekil 3.22: DGM'nin 3. senaryosuna ait amaç fonksiyonunu.	104
Şekil 3.23: DGM'de arazi kısıtının açık formda yazılışı.	104
Şekil 3.24: DGM'de 1. yılda gençleştirilecek alanı veren hesaplama satırı.	105
Şekil 3.25: DGM'de 1. yılda üretilecek odun hacmini veren hesaplama satırı.....	106
Şekil 3.26: 1006 ve 1022 no.lu komşu bölmeciklerin aynı yıl gençleştirilmesini sağlayan eşitlikler.	106
Şekil 3.27: 1007 ve 1008 no.lu komşu bölmeciklerin 5 yıl boyunca aynı yıl birlikte gençleştirilmemesini sağlayan eşitlikler.	107
Şekil 3.28: Gençleştirilecek alan ve üretilecek odun hedeflerinden sapmaları hesaplayan eşitlikler.	107
Şekil 3.29: X_{ki} ve Pr_{pi} değişkenlerinin ikili tamsayı değer almasını sağlayan satırlar.	107
Şekil 4.1: DBM ile elde edilen yıllık ara hasılat etalarının karşılaştırılması.	113
Şekil 4.2: DBM ile elde edilen mesafelerin karşılaştırılması.....	114
Şekil 4.3: DBM ile elde edilen meşcere bakımı haritası (senaryo 11).....	115
Şekil 4.4: DBM ile elde edilen meşcere bakımı haritası (senaryo 5).....	116
Şekil 4.5: DOBM ile elde edilen yıllık ara hasılat etalarının karşılaştırılması.....	119

Şekil 4.6: DOBM ile elde edilen ortalama mesafelerin karşılaştırılması.....	120
Şekil 4.7: DOBM ile elde edilen meşcere bakımı haritası (senaryo 11).....	121
Şekil 4.8: DOBM ile elde edilen meşcere bakımı haritası (senaryo 3).....	122
Şekil 4.9: DGM ile elde edilen gençleştirme alanlarının karşılaştırılması.....	126
Şekil 4.10: DGM ile elde edilen yıllık son hasılat etalarının karşılaştırılması.....	128
Şekil 4.11: DGM ile elde edilen gençleştirme haritası (senaryo 1).	129
Şekil 4.12: DGM ile elde edilen gençleştirme haritası (senaryo 3).	130

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1.1: Ana ve genel orman fonksiyonları.	2
Tablo 2.1: Orman amenajman planlaması için geliştirilmiş bazı KDS'ler ve özellikleri (Keleş, 2008; Kadioğulları, 2009).	15
Tablo 2.2: 2010 yılından sonra uluslararası hakemli ormancılık dergilerinde yayınlanan orman yönetiminde optimizasyonu içeren literatürün özeti (Kaya ve diğ., 2016).	23
Tablo 2.3: OTZ'de planlama hiyerarşisi (Rönnqvist, 2003).	27
Tablo 2.4: OTZ'de kullanılan optimizasyon modelleri, çözüm süresi ve kalitesi (Rönnqvist, 2005; Bettinger ve diğ., 2009).	28
Tablo 2.5: AP'de hedef kısıtları ile sapmalar arasındaki ilişki.	64
Tablo 3.1: Akören plan ünitesindeki yerleşim yerleri ve nüfusları (TÜİK, 2017).	72
Tablo 3.2: Akören Orman İşletme Şefliğine ait İşletme Sınıfları (OGM, 2014c).	73
Tablo 3.3: Koru ormanlarında alan, servet ve artımın çağ ve yaş sınıflarına dağılışı.	74
Tablo 3.4: Koru ormanlarında meşcere tipleri itibariyle saha, servet ve artım tablosu.	74
Tablo 3.5: Periyodik ara hasılat etasının çağ sınıflarına ve yaş sınıflarına dağılımı.	77
Tablo 3.6: Periyodik ara hasılat etasının meşcere tiplerine dağılımı.	78
Tablo 3.7: Gençleştirme sahalarında alan, servet ve artımın çağ sınıflarına ve yaş sınıflarına dağılımı.	82
Tablo 3.8: Gençleştirme sahalarında alan, servet ve artımın meşcere tiplerine dağılımı.	82
Tablo 3.9: Çalışma alanında meşcere bakımı yapılacak bölmeler ve eta miktarları.	84
Tablo 3.10: Bölünen bölmeciklerin eski ve yeni durumları.	88
Tablo 3.11: Toplamları 25,0 ha'dan büyük olan komşu bölmecik çiftleri.	89
Tablo 3.12: Büyüklükleri 5,0 ha'dan küçük komşu bölmecik çiftleri.	90
Tablo 3.13: Modellerin amaç fonksiyonlarındaki değişkenlerine ait ağırlık katsayıları.	97
Tablo 3.14: Çalışmada kullanılan taşınabilir bilgisayarın bazı teknik özellikleri.	108

Tablo 3.15: Çalışmada kullanılan optimizasyon yazılımının özellikleri.	108
Tablo 3.16: Modellere ve senaryolara göre yineleme sayıları ve işlem süreleri (sn.).	109
Tablo 3.17: Modellerde kullanılan kısıt, değişken ve satır sayıları.	109
Tablo 4.1: DBM'nin çözümüyle elde edilen sonuçlar.	111
Tablo 4.2: DBM ile elde edilen hacim değerlerinin yıllara dağılımı (m^3).	112
Tablo 4.3: Hacim hedef değerinden sapmaların yıllara dağılımı (m^3).	112
Tablo 4.4: Bakım bölmeleri ile rampalar arasındaki mesafelerin yıllara dağılımı (km).	114
Tablo 4.5: Mesafe hedefinden sapmaların yıllara dağılımı (km).	114
Tablo 4.6: DOBM'nin çözümüyle elde edilen sonuçlar.	117
Tablo 4.7: DOBM ile elde edilen hacim değerlerinin yıllara dağılımı (m^3).	118
Tablo 4.8: Hacim hedef değerinden sapmaların yıllara dağılımı (m^3) (DOBM).	118
Tablo 4.9: Bölmeler arasında oluşan ortalama mesafelerin yıllara dağılımı (km).	119
Tablo 4.10: Ortalama mesafe hedefinden sapmaların yıllara dağılımı (km).	120
Tablo 4.11: DGM'nin çözümüyle elde edilen sonuçlar.	124
Tablo 4.12: DGM ile elde edilen alan değerlerinin yıllara dağılımı (ha).	125
Tablo 4.13: Alan için belirlenen hedef değerden sapmaların yıllara dağılımı (ha).	125
Tablo 4.14: DGM ile elde edilen yıllık son hasılat etasının dağılımı (m^3).	127
Tablo 4.15: Yıllık son hasılat etası hedefinden sapmanın dağılımı (m^3).	127
Tablo 4.16: Ara Hasılat Kesim Planı (DBM, 5. senaryo).	131
Tablo 4.17: Ara Hasılat Kesim Planı (DOBM, 3. senaryo).	132
Tablo 4.18: Gençleştirilecek sahalara ait zaman-mekân düzenlemesi (3. senaryo).	134
Tablo 4.19: A- Kızılcım İşletme Sınıfı Ara Hasılat Kesim Planı (uygulanan).	140
Tablo 4.20: DBM 5. senaryonun sonuçları ile uygulanan planın karşılaştırılması.	141
Tablo 4.21: DOBM 3. senaryonun sonuçları ile uygulanan planın karşılaştırılması.	142
Tablo 4.22: Amenajman planı ve detay silvikültür planında gençleştirme verileri.	143
Tablo 4.23: Gençleştirilecek sahalarının yıllara dağılımı (Pos OİM, 2015).	144
Tablo 4.24: DGM 3. senaryo sonuçlarıyla silvikültür planın karşılaştırılması.	144

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
a	: Periyot sayısı
ar	: Ar (1 ha 100 ar)
°C	: Santigrat derece
dam	: Dekametre
dk	: Dakika
Fr	: İşletme sınıfının redüksiyon sahası
ha	: Hektar
km	: Kilometre
m	: Metre
m³	: Metreküp
mm	: Milimetre
n	: Periyot uzunluğu
sa	: Saat
sl	: Salise
sn	: Saniye
U	: İşletme sınıfının idare süresi

Kısaltmalar	Açıklama
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AP	: Amaç Programlama
APP	: Amenajman Plan Yapım Programı
BM	: Birleşmiş Milletler
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
DBM	: Doğrusal Bakım Modeli
DGM	: Doğrusal Gençleştirme Modeli
DP	: Doğrusal Programlama
DOBM	: Doğrusal Olmayan Bakım Modeli
DOP	: Doğrusal Olmayan Programlama

FAO	: Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
FRIS	: Orman Kaynakları Bilgi Sistemi
GA	: Genetik Algoritma
KDS	: Karar Destek Sistemi
KTP	: Karışık Tamsayılı Programlama
MCS	: Monte Carlo Simülasyonu
NBD	: Net Bugünkü Değer
NPS	: Normal Periyodik Saha
SOY	: Sürdürülebilir Orman Yönetimi
TA	: Tabu Arama
TB	: Tavlama Benzetimi
TP	: Tamsayılı Programlama
OBM	: Orman Bölge Müdürlüğü
OGM	: Orman Genel Müdürlüğü
OİM	: Orman İşletme Müdürlüğü
OİŞ	: Orman İşletme Şefliği
ORBİS	: Orman Bilgi Sistemi
OTZ	: Orman Tedarik Zinciri

ÖZET

DOKTORA TEZİ

ORMAN AMENAJMAN PLANLAMASINDA KARIŞIK TAMSAYILI AMAÇ PROGRAMLAMANIN KULLANILMASI: AKÖREN PLAN ÜNİTESİ ÖRNEĞİ

Mehmet DEMİRCİ

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Orman Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Ahmet YEŞİL

II. Danışman : Prof. Dr. Pete BETTINGER

Sürdürülebilir orman yönetimi, mevcut ve gelecek nesillerin yararına olmak üzere her türlü ormanın ekonomik, sosyal ve çevresel değerlerini korumayı ve arttırmayı amaçlayan dinamik ve gelişen bir kavramdır. Türkiye’de, gençleştirme ve meşcere bakımı gibi tüm ormancılık faaliyetleri sürdürülebilir orman yönetimi hedeflerine ulaşılmasında bir araç olarak kullanılan orman amenajman planlarına göre yürütülmektedir. Ülkede ormanların %98’i aynıyaşlı orman formuna sahipken %2’si ise değişikyaşlıdır. Aynıyaşlı ormanların planlanmasında “yaş sınıfları” metodu kullanılır. Bu metodun uygulandığı işletme sınıflarında öncelikle alanların optimal kuruluşa ulaştırılması hedeflenir. Çünkü her yıl eşit miktarda odun üretmek için her yıl bu ürünü verecek miktarda alanı gençleştirmek gerekir. Gençleştirilmeyecek meşcereler için, bakım blokları oluşturularak ara hasılat kesim planı düzenlenir. Ancak orman işletmeleri, yıllık bütçelerini hazırlarken ve piyasanın gereksinimlerini karşılayacak düzenlemeleri yaparken, yıllık ara hasılat miktarlarının her yıl az çok birbirine eşit olmasını isterler. Gençleştirme çalışmalarının biyolojik çeşitliliği ve yaban hayatını koruyacak bir anlayışla ve eşit alan-eşit ürün politikası ile yapılabilmesi için karar destek sistemlerinden faydalanmak icap etmektedir. Yine aynı şekilde her yıl eşit miktarda odunun hasat edilebilmesi ve bir yıl boyunca aynı bölgede çalışmanın sağladığı fırsatlardan istifade edilebilmesi için de bu sistemleri kullanmak gerekmektedir.

Bu çalışmada Türk ormancılığının gençleştirme ve meşcere bakımı problemlerinin çözümü için karışık tamsayı amaç programlama modelleri geliştirilmiştir. Böylece, çok geniş bir kullanım alanı olan amaç programlamanın orman amenajman planlamasında da rahatlıkla kullanılabileceği ortaya konulmuş ve orman amenajmanı bilim dalına katkı sağlanmış olacaktır.

Uygulama alanı olarak Akören plan ünitesinin kızılçam işletme sınıfı seçilmiştir. Bakım problemi için hem doğrusal ve hem de doğrusal olmayan amaç programlama modelleri geliştirilirken, gençleştirme problemi için sade doğrusal model geliştirilmiştir. Bakım modelleri ile hacim (ara hasılat etası) hedefinden sapmalar ve bölmelerin orman içi rampalara olan (toplam veya ortalama) mesafeleri için belirlenen hedef değerden sapmalar en aza indirilmiştir. Hacim hedefi 2.628 m^3 ve mesafe hedefi ise doğrusal model için 7 km, doğrusal olmayan model için ise 1 km'dir. Gençleştirme modeli her yıl eşit miktarda orman alanının gençleştirilmesi ve eşit miktarda ürünün alınması için geliştirilmiştir. Büyüklüğü 5,0 ha'dan küçük olan ve birbirine komşu olan bölmeciklerin aynı yıl gençleştirilmesi planlanmıştır. Mevzuata uygun olarak, toplamı 25,0 ha'dan daha büyük olan komşu bölmeciklerin ise erteleme süresi boyunca aynı yılda gençleştirilmesi planlanmamıştır. Gençleştirme alanı 88,85 ha/yıl ve yıllık son hasılat etası ise 23.350 m^3 'tür. Bu problemler, Lingo 16'nın gelişmiş versiyonu kullanılarak çözülmüştür.

Doğrusal bakım modeli çok iyi sonuç vermiş ve referans senaryolar için on yıl için planlanan hacimdeki sapma 0 m^3 ve toplam mesafe sapması 25,7 km olmuştur. Senaryo 1'e ek olarak senaryo 2 ve 3'te de hacimde sapma olmamıştır. Hacim ağırlığı 0,6 ve mesafe ağırlığı 0,4 olan senaryo 5 en iyi sonuçları vermiştir. Senaryo 5'de 10 yıl için toplam sapma hacimde 6 m^3 ve mesafede 59,7 km olmuştur. Doğrusal olmayan bakım modelinde hacimde sapma 0 m^3 ve mesafede toplam ortalama sapma 1,17 km olmuştur. Senaryo 1'e ek olarak senaryo 2, 3, 4, 5, 6 ve 7'de hacimde sapma olmamıştır. En iyi sonuçları veren 3. senaryoda 10 yıl için toplam sapma mesafede 8,7 km olmuştur. Doğrusal gençleştirme modelinin referans senaryoları için 20 yılda toplam sapma alanda 3,8 ha ve hacimde 1.025 m^3 olmuştur. Alan ağırlığı 0,8 ve hacim ağırlığı 0,2 olan senaryo 3 en iyi sonuçları vermiştir. Senaryo 3'de 20 yıl için toplam sapma alanda 3,8 ha ve hacimde 2.889 m^3 olmuştur.

Bu çalışma ile tanımlanan yaklaşımlar ve modeller, daha da geliştirilerek, Orman Bilgi Sistemi'ne ve Türkiye'de ormanlarının planlanmasında kullanılan Amenajman Plan Yapım Programı'na entegre edilebilir. Ayrıca çalışmanın Netcad ile entegre edilme olanakları da araştırılabilir. Bu çalışmanın, çok uzun işlem süreleri ve çok büyük yineleme sayıları gibi, eksikliklerinin giderilmesi için daha ileri çalışmalar yapılabilir. Bu çalışmada açıklanan yaklaşımlar orman amenajman planlama mevzuatı çerçevesinde öncelikle kızılçam ormanları olmak üzere aynı yaşı ormanların planlanmasında rahatlıkla kullanılabilir.

Mayıs 2018, 200 sayfa.

Anahtar kelimeler: Doğrusal amaç programlama, karışık tamsayı programlama, sürdürülebilir orman yönetimi, orman planlama, optimizasyon.

SUMMARY

Ph.D. THESIS

USING MIXED INTEGER GOAL PROGRAMMING FOR FOREST PLANNING: AKOREN PLANNING UNIT CASE STUDY

Mehmet DEMIRCI

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Science and Engineering

Department of Forest Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Ahmet YESIL

Co-Supervisor : Prof. Dr. Pete BETTINGER

Sustainable forest management is a dynamic and evolving concept, which aims to maintain and enhance the economic, social and environmental values of all types of forests, for the benefit of present and future generations. In Turkey, all forestry activities, such as regeneration and stand tending, are conducted according to forest management plans, which are used as a tool for achieving sustainable forest management goals. While 98% of the forests in the country are even-aged, 2% are uneven-aged. “Age classes” method is used for the planning of even-aged forests. For the working circles where this method is applied, reaching the optimal structure for the areas is targeted first. To get an equal amount of product every year, it is necessary to regenerate an amount of area which gives this product each year. Stand tending blocks are created for the stands that will not be regenerated, and an interim yield harvest plan is prepared. However, when preparing annual budgets and planning to meet the market’s needs, forest enterprises require the annual interim yield to be equal each year. It is necessary to use decision support systems to implement regeneration operations with an understanding of biodiversity and wildlife protection and an equal area-equal product policy. It is also necessary to use these

systems to be able to harvest the same amount of wood every year and to observe the benefits of working in the same general area during a year.

This study develops mixed integer goal programming models as a solution for regeneration and forest stand tending problems of Turkish forestry. This study will also show that the goal programming, which is widely used in other sectors, can be implemented easily in forest management planning and will contribute to the forest management discipline.

As a case study, the Turkish pine working circle of the Akoren planning unit has been selected. Both linear and nonlinear goal programming models were developed for the stand tending problem, while only a linear model was developed for the regeneration problem. By stand tending models, both the deviations from the volume (interim yield allowable cut) target and the deviations from the target value determined for the distances (total and average) of compartments to the in-forest timber sale areas were minimized. The volume target is 2,628 m³ and the distance target is 7 km for the linear model and 1 km for the nonlinear model. The regeneration model was developed to regenerate an equal amount of forest area every year to get an equal amount of product. This includes regenerating the neighboring sub-compartments smaller than 5.0 ha in size in the same year. In accordance with the legislation, it was not planned to regenerate the neighboring sub-compartments with a total area more than 25.0 ha, in same year during the greening period. The regeneration area is 88.85 ha year⁻¹ and the annual final yield is 23,350 m³. The problems were solved using the extended version of Lingo 16.

The linear stand tending model worked very well, and for reference scenarios, the deviation in volume scheduled for the entire decade was 0 m³ and the deviation in total distance was 25.7 km. In addition to scenario 1, there was no deviation in volume for scenarios 2 and 3. Scenario 5, with weights of 0.6 for volume and 0.4 for distance, produced the best results. For scenario 5, the total deviation for 10 years was 6 m³ in volume and 59.7 km in distance. For the nonlinear stand tending model, the deviation in volume was 0 m³ and the total average deviation in distance was 1.17 km. In addition to scenario 1, there was no deviation in volume for scenarios 2, 3, 4, 5, 6 and 7. For scenario 3, which gives the best results, the total deviation in distance for 10 years was 8.7 km. For the reference scenarios of the linear regeneration model, the total deviation in 20 years was 3.8 ha in area and 1.025 m³ in volume. Scenario 3, with weights of 0.8 for area and 0.2 for volume, produced the best results. For scenario 3, the total deviation for 20 years was 3.8 ha in area and 2,889 m³ in volume.

The approaches and models defined by this study can be developed further and integrated into the Forest Information System as well as into the Forest Management Planning Software which is used for the planning of forests in Turkey. In addition, the possibility to integrate with Netcad could also be explored. Further work can be conducted to address the deficiencies of this study, such as excessive computer processing time and an assumed maximum number of solver iterations. Within the framework of forest management planning legislation, the approaches described in this study might also be used easily for the planning of even-aged forests, especially the Turkish pine forests.

May 2018, 200 pages.

Keywords: Linear goal programming, mixed integer programming, sustainable forest management, forest planning, optimization.

1. GİRİŞ

Orman, çok sayıda ekonomik, çevresel ve sosyokültürel fayda ve hizmeti aynı anda sunan yenilenebilir bir doğal kaynaktır. Ormanlar, kırsal fakirliğin azaltılmasında, gıda güvenliğinin sağlanmasında ve yaşam koşullarının iyileştirilmesinde büyük öneme sahiptir. Orta vadede yeşil büyüme imkânları sunan ormanlar, uzun vadede temiz hava ve su, biyolojik çeşitliliğin korunması ve iklim değişikliğinin etkilerinin azaltılması gibi hayati öneme sahip ekosistem hizmetleri sunar (FAO, 2016). Ormanların bu hizmetleri uzun vadede sunmasının anahtarı, sürdürülebilir orman yönetimidir.

Sürdürülebilir orman yönetimi (SOY), kısaca ormanların sürdürülebilir kalkınma ilkelerine göre işletilmesi şeklinde tanımlanabilir. SOY, Birleşmiş Milletler (BM) Genel Kurulu tarafından kabul edilen Yasal Bağlayıcılığı Olmayan Orman Anlaşması'nda *“mevcut ve gelecek nesillerin yararına olmak üzere her türlü ormanın ekonomik, sosyal ve çevresel değerlerini korumayı ve arttırmayı amaçlayan dinamik ve gelişen bir kavram”* olarak tanımlanmaktadır (UN General Assembly, 2008). SOY amaçlarına ulaşmada kullanılan araçlardan en önemlisi hiç şüphesiz orman amenajman planlarıdır. Yaklaşık 4 milyar hektar olan dünya ormanlarının sadece %52'sinin orman amenajman planı vardır (FAO, 2015; MacDicken ve diğ., 2015). Türkiye'de ise devlet ormanların tamamı işletme şeflikleri için 10/20 yıl süreli olarak hazırlanan orman amenajman planları ile işletilmektedir. Ayrıca mevzuat gereği kamu müesseselerine, belediyelere, özel şahıs ve şirketlere ait ormanlar da amenajman planları ile işletilir.

Türkiye'nin %28,6'sını kaplayan ormanlar, Orman Genel Müdürlüğü (OGM) tarafından çok amaçlı faydalanma ve sürdürülebilirlik ilkelerine uygun olarak işletilmesi için planlanmaktadır (OGM, 2015). Planlamada ormanların ekonomik, ekolojik ve sosyokültürel fonksiyonlarını ön plana alan ekosistem tabanlı fonksiyonel planlama yaklaşımı benimsenmiştir.

Orman planlamada kullanılan ana orman fonksiyonları ekonomik, ekolojik ve sosyokültürel olarak üçe ayrılır. Türk orman planlama sisteminde bu ana fonksiyonlar altında Eraslan (1982) tarafından belirlenen on adet genel orman fonksiyonu kullanılmaktadır (Tablo 1.1).

Tablo 1.1: Ana ve genel orman fonksiyonları.

Ana Orman Fonksiyonları	Genel Orman Fonksiyonları
1- Ekonomik	1- Orman ürünleri üretimi
2. Ekolojik	1- Doğayı koruma 2- Erozyonu önleme 3- İklim koruma
3- Sosyokültürel	1- Hidrolojik 2- Toplum sağlığı 3- Estetik 4- Ekoturizm ve rekreasyon 5- Ulusal savunma 6- Bilimsel

Ekonomik fonksiyon görmek üzere ayrılan ormanlar; ekonomik değeri olan odun ham maddesi ve odun dışı ürün üretimini sağlayan, ulusal ve uluslararası ekonominin bu ürünlere olan talebini sürekli olarak karşılamak üzere işletilen alanlardır (OGM, 2014a).

Değişik orman fonksiyonlarının işletme amacı ve koruma hedefi olarak öne çıkması veya orman formları ve işletme şekilleri yönünden farklı alanların bulunması durumunda ayrılan ve bu alanların (toplu veya parçalar hâlinde dağınık bulunmalarına bakılmaksızın) taşıdıkları özelliklere göre bir araya getirilmesi ile oluşturulan devamlılık birimine “*işletme sınıfı*” denir (OGM, 2014a). Bu işletme sınıflarının her birisi için ayrı olarak aktüel ve optimal kuruluşlar saptanır; sağlayacakları yıllık hasılat miktarları (yıllık etası), belirli amenajman metotları ile belirlenir ve hangi yıllarda kesilecekleri kesim planlarında gösterilir (Eraslan, 1982).

Yıllık etaların tespitinde kullanılacak en uygun amenajman metodu; ormanın yetiştirme ortamı şartlarına, ağaç türlerine, ormanın işletme amaçlarına ve işletme şekillerine göre belirlenir. Türkiye’de ormanların %98’i aynıyaşlı, %2’si ise değişikyaşlı orman formundadır (OGM, 2015). Çalışma alanı ormanları da aynıyaşlı orman formundadır. Aynıyaşlı ve maktalı olarak işletilen ormanların planlanmasında kullanılan amenajman metodu yaş sınıfları metodudur.

Aynıyaşlı ve maktalı bir işletme sınıfı ancak hem alan hem de ağaç serveti itibarıyla optimal durumda bulunması hâlinde bir bütün olarak optimal durumda sayılmaktadır. Aynıyaşlı işletilen ormanlarda faydalanmayı düzenleme amacıyla kullanılan amenajman metotlarının özü alan kontrolüne dayandığı için, öncelikle alanların optimal kuruluşa ulaştırılması hedeflenir. Çünkü her yıl eşit miktarda ürün alabilmek için her yıl bu ürünü verecek miktarda bir orman alanını kesmek gerekir. Bu durum ancak yaş sınıfları bakımından optimal kuruluşa olan ormanlarda mümkündür. Bu şartları sağlamanın yolu ise *her yıl eşit miktarda yeni meşcere kurmak* ve bunları idare süresi sonuna kadar götürmektir (Eraslan, 1982; OGM, 2014a).

Meşcerelerin bakım kesimlerine olan gereksinimlerinin öncelik ve ivedilik derecesi, yol ve transport tesislerinin durumu ve ürünlerin değerlendirme olanakları dikkate alınmak suretiyle yıllık bakım blokları, yıllar itibariyle sıraya konur ve bir kesim planı düzenlenir. Ancak orman işletmeleri, yıllık bütçelerini düzenleyebilmeleri ve piyasanın gereksinimlerini karşılamak amacı ile gerekli düzenlemeleri yapabilmeleri için, *yıllık ara hâsılat miktarlarının her yıl az çok birbirine eşit olmasını* isterler (Eraslan, 1982).

Özetlemek gerekirse; yaş sınıfları bakımından optimal kuruluştaki orman elde etmek ve piyasanın gereksinimlerini düzenli olarak karşılamak amacı ile her yıl eşit miktarda alanın gençleştirilmesi ve yıllık ara hâsılat miktarlarının da az çok birbirine eşit olması gerekir. İşletme tarafından piyasaya her yıl düzenli olarak odun hammaddesi sunulabilmesi için eşit miktarda alanın gençleştirilmesi tek başına yeterli değildir. Eşit alan gençleştirirken üzerinde bulunan son hasılat etasının da bir şekilde eşitlenmesi gerekmektedir.

Plan yapıcı tarafından gençleştirmeye verilen meşcerelerin kapalılık ve gelişim çağları farklıdır, dolayısıyla hektardaki artım ve servet de farklıdır. Biyolojik çeşitliliği ve yaban hayatını koruyacak bir anlayışla yapılacak gençleştirme çalışmalarında eşit alan kesildiğinde eşit miktarda odun elde edilebilmesi için karar destek sisteminden (KDS) faydalanmak gerekir. Yine aynı şekilde bakım blokları oluşturulurken iş organizasyonunun kolaylığı ve ekonomiklik açısından birbirine en yakın bölmelerin aynı bakım bloğu içerisinde planlanması ve her yıl az çok birbirine eşit miktarda ara hasılat etası elde edilmesi için de KDS kullanılabilir.

KDS ilk olarak 1950'lerin sonlarında örgütsel karar verme teorik çalışmaları ile gündeme gelmiş ve 1960'lı yıllarda yapılan uygulama çalışmaları ile de gelişim göstermiştir (Keen, 1978). Orman yönetimi ve planlamasında KDS'nin kullanımı ise 1980'li yılların başlarında gerçekleşmiştir. KDS, ilk yıllarda bilimsel amaçlarla ve basit işletme problemlerinin çözümünde kullanılırken, son yıllarda geliştirilen sistemler orman amenajmanı, sürdürülebilir orman işletmeciliği ve planlaması gibi daha zor ve kapsamlı problemlere ve sorunlara çözüm bulmak için tasarlanmaktadır (Reynolds, 2005; Reynolds ve diğ., 2008; Packalen ve diğ., 2013; Vacik ve Lexer, 2014; Segura ve diğ., 2014).

KDS'nin kabul görmüş tek bir tanımı olmadığı gibi, kabul görmüş standart bir sınıflandırması da yoktur. KDS için önerilen türler; kabaca veri-odaklı ve model-odaklı olmak üzere iki grup altında toplanabilir. Optimizasyon modelleri de model-odaklı KDS'nin bir parçasıdır.

Orman planlamada optimizasyonun kullanımı incelendiğinde konunun literatürde farklı düzeylerde ele alındığı görülmektedir. Kaya ve diğ. (2016) konuyu; ağaç, meşcere, orman ve peyzaj düzeyinde incelemiştir. Rönnqvist (2003) orman amenajmanı ve üretim konularını stratejik, taktiksel ve operasyonel planlama düzeyinde ele almıştır. Heinonen (2007) ise orman planlama ve optimizasyon konusunu konumsal optimizasyon ve konumsal olmayan optimizasyon şeklinde gruplandırarak incelemiştir.

Bu tez çalışmasında ele alınacak konumsal orman planlama problemleri, planlama biriminin ölçeği açısından orman düzeyinde iken, planlama hiyerarşisi açısından ise taktiksel planlama düzeyindedir. Orman düzeyinde optimizasyonda en çok kullanılan matematiksel (*kesin*) yöntemler Doğrusal Programlama (DP), Karışık Tamsayılı Programlama (KTP), Tamsayılı Programlama (TP), Doğrusal Olmayan Programlama (DOP) ve Amaç Programlama (AP)'dır. Sezgisel yöntemler ise; Monte Carlo Simülasyonu (MCS), Tavlama Benzetimi (TB), Eşik Kabulü, Büyük Tufan Algoritması, Tabu Arama (TA) ve Genetik Algoritma (GA)'dır.

Orman planlamada optimizasyonun kullanımına ilişkin yapılan detaylı literatür taraması ile hem gençleştirme sahalarının zaman-mekân düzenlemesinde ve hem de meşcere bakımında (ara hasılat kesim planlamasında) karşılaşılan bu iki konumsal orman planlama problemlerinin çözümünde AP'nin kullanılmasının yerinde olacağı anlaşılmıştır. İşletme sınıfındaki bütün meşcerelerin üretim için planlanması gerektiğinden bu problemlerinin çözümünde karışık tamsayılı AP'nin kullanılması uygun olacaktır.

AP'nin temel unsurları Charnes ve diğ. (1955) tarafından DP'ye bir alternatif olarak geliştirilmiştir. “*Amaç programlama*” terimi ilk olarak Charnes ve Cooper (1961) tarafından kullanılmıştır. Charnes ve diğ. (1968a, 1969, 1971a ve 1971b) AP'yi Amerika Birleşik Devletleri (ABD) Deniz Kuvvetleri'nin iş gücü planlamasında kullanmıştır. Ijiri (1965) ve Lee (1972)'nin çalışmaları AP konusundaki ilk ana referanslardandır. Charnes ve diğ. (1968b ve 1968c) AP'yi medya planlamasına uygulamıştır. Lee (1971) ise AP'nin televizyon montaj problemine farazi (hipotetik) uygulamasına bir örnek sunmuştur. Lee ve diğ. (1971) AP'yi akademik kurumların personel ihtiyaçları için sınırlı bütçelerin tahsisinde kullanmıştır. Lee ve Clayton (1972) AP'yi bankalar için etkin portföylerin seçiminde kullanmıştır. Courtney ve diğ. (1972) AP'yi bir metropoliten alanda nüfusun yerleşmesi problemine uygulamıştır.

Literatür incelemesinden anlaşıldığına göre Rustagi (1973) ve Field (1973) tarafından yapılan çalışmalar AP'nin ormancılıkta kullanımına ilk örneklerdir. Rustagi (1973) kereste üretimi için orman amenajman planlamasında AP yaklaşımının kullanımını incelemiştir. Field (1973) ise AP'nin bir orman yönetim problemine uygulamasını göstermiştir. AP'nin ormancılıkta kullanımına öncülük eden diğer bazı çalışmalar şunlardır (Demirci ve Bettinger, 2015):

- Ağaç ıslahı programlarının verimliliğinin analizi (Porterfield, 1973 ve 1974).
- AP'nin orman endüstrisinde farazi bir muhasebe sorununa uygulanması (Lyon, 1974).
- AP'nin rekreasyon alanların ve kırların planlanmasında kullanımı (Romesburg, 1974).
- AP kullanım kılavuzu (USDA Forest Service, 1974).
- ABD'de ulusal orman planlaması (Schuler ve Meadows, 1975) ve arazi kullanım planlaması kararlarının analizi (Bell, 1975).
- Bottoms ve Bartlett (1975) AP'yi çok amaçlı bir arazi kullanım planlamasına uygulamıştır (Yılmaz, 2004).
- Bell (1976) ulusal orman yönetim planlamasında AP'nin uygulanmasını incelemiştir.
- Bare ve Anholt (1976) üretim artıklarının bertarafı ve gençleştirme alternatiflerinin belirlenmesinde AP'yi kullanmıştır.
- Bartlett ve diğ. (1976) farklı arazi kullanımlarının entegre yönetiminde AP'nin kullanılmasına dönük bir örnek ortaya koymuştur (Yılmaz, 2004).
- Schuler ve diğ. (1977) ABD'de küçük bir orman parçası için DP kullanarak bir orman amenajman planı hazırlamıştır.
- Dane ve diğ. (1977) çok amaçlı arazi kullanım planlamasına yönelik olarak büyük bir AP modeli geliştirmiştir (Yılmaz, 2004).
- Kahalas ve Groves (1978) ormancılıkta toplumsal değerler ile kârın mukayesesini yapmıştır.
- Kao ve Brodie (1979) planlama kriterlerindeki orantısızlığın giderilmesi, NBD'nin en üst düzeye çıkarılması ve eşit miktarda odun üretimi amaçlarının optimal çözümü için AP'yi kullanmıştır.
- Dress (1975) ile Field ve diğ. (1980) kamuya ait ormanların çok amaçlı planlanmasında AP'yi, DP'ye bir alternatif olarak kullanmışlardır.
- Hotvedt ve diğ. (1982) AP algoritmasının kullanıldığı bir kesim planı için sezgisel “yapılandırılmamış” ağırlık belirleme prosedürünü kullanmıştır.

- Hotvedt (1983) küçük bir kâğıt fabrikasının amaçlarını, kısıtlarını, yönetim rejimlerini ve orman yapısını kullanarak AP yardımıyla bir kesim planı modeli geliştirmiştir.
- Köse (1986) Trabzon’da bir araştırma ormanı için iki adet planlama modelini AP yöntemine göre tasarlanmış ve yazılımını geliştirmiştir (Kadioğulları, 2009).
- Kangas ve Pukkala (1992) bir ormancılık AP probleminin formüle edilmesine farklı bir yaklaşım getirmiştir.
- Diaz-Balteiro ve Romero (1998) çeşitli amaçlar arasında denge kurarak mantıklı bir üretim programı yapmak için AP’nin nasıl kullanılabileceğini göstermiştir.
- Mısır (2001) nesne tabanlı bir programlama tekniği ile AP tekniğini kullanarak çok amaçlı bir orman amenajmanı planlama modeli geliştirmiştir (Kadioğulları, 2009).
- Bertomeu ve Romero (2001, 2002) çeşitli AP modelleri formüle ederek biyolojik çeşitliliğin orman yönetimi optimizasyon modeline entegrasyonunu çalışmıştır.
- Diaz-Balteiro ve Romero (2003) AP yaklaşımının, planlama ufku boyunca tutulan karbonun hesaplanması gibi çevresel kriterlere nasıl uygulanacağını ortaya koymuştur.
- Diaz-Balteiro ve Romero (2004) n sayıdaki orman planı alternatifinin, m sayıdaki sürdürülebilirlik göstergesine göre değerlendirileceği farz etmiş ve bu problemi ayrık AP kullanılarak çözmüştür.
- Mısır ve Mısır (2007) orman fakültesi araştırma ormanının çok amaçlı planlanmasında AP’yi kullanmıştır.
- Hossain ve Robak (2010) odun üretimi, doğal yaşlı orman ve estetik güzellik hedeflerinden olan sapmaları minimize eden peyzaj düzeyinde bir problemin çözümü için bir AP modeli geliştirmiştir.
- Marinescu ve Maness (2010) sürdürülebilir orman yönetimi kararlarını analiz etmek için bir hiyerarşik orman tahsis modeli geliştirmiştir.
- Silva ve diğ. (2010) toprak, su kaynakları ve peyzaj gibi çevresel bileşenleri korumayı amaçlayan orta vadeli bir orman üretim problemine odaklanmıştır. Farklı çevresel koruma alternatiflerini ve orman şirketinin net bugünkü değerini (NBD) belirleyen bir matematiksel model geliştirilmiştir. Geliştirilen bu model sözlüksel AP yaklaşımına dayalı bir KTP modelidir.
- Gómez ve diğ. (2011) ekonomik ve çevresel hedefleri hesaba katarak bir plantasyon ormanının yönetimini planlamak için ikili değişkenleri içeren doğrusal olmayan bir AP modeli kullanmıştır.

- Chen ve diğ. (2011) odun üretimi, rekreasyon imkânları, avcılık ve yaban hayatı amaçları için belirlenmiş hedef değerlerden olan sapmaları minimize etmek için AP'yi kullanmıştır.
- Maroto ve diğ. (2013) AP'yi biyolojik çeşitlilik, iklim değişikliği azaltım faaliyetleri ve erozyon kontrolü önlemleri için belirlenmiş hedef değerlerden olan sapmaları minimize etmek için kullanmıştır.
- Garcia-Gonzalo ve diğ. (2013) farklı paydaşların peyzaj ve orman düzeyinde stratejik plan yapmalarına yardımcı olabilecek bir KDS geliştirmiştir. Bu sistem 4 modülden oluşmaktadır: bilgi yönetimi modülü, talimat üretim modülü, model üretim modülü ve sonuç ekranı modülü. Model üretim modülü; DP, KTP ve AP versiyonlarına haizdir.
- Aldea ve diğ. (2014) AP'yi ekonomik hedefler, tutulan karbon miktarı, üretilen odun hacmi ve mantar üretimi amaçlarından olan sapmaları minimize etmek için kullanmıştır.
- Chen ve Chang (2014) daha fazla karbon tutmaya ve ormanın kuruluşunu çeşitlendirmeye imkân sağlayan bir aralama kesim planı yapmak için çoklu-katsayılı AP'yi kullanmıştır.
- Zengin ve diğ. (2015) karışık tamsayılı AP kullanarak odun ve su üretimini maksimize ederken uygun gençleştirme periyodunu belirleyen ve her bir periyotta meşcerelerden alınacak ara ve son hâsılat miktarlarını hesaplayan bir model geliştirmiştir.
- Demirci ve Bettinger (2015) karışık tamsayılı AP kullanarak bakım blokları oluşturmuştur. Bakım blokları oluşturulurken işletme ve ulaşım giderlerini azaltmak için bölmelerin ağırlık merkezleri arasındaki mesafeyi en aza indirmek ve odun üretimi sürekliliğini de sağlamak için her yıl eşit miktarda ürün elde etmek amaçlanmıştır.
- Augustynczyk ve diğ. (2016) bir ağaçlandırma sahasında kesilecek meşcereleri bir araya toplayarak kesim blokları oluşturmuştur.
- Bagdon ve diğ. (2016) çeşitli ekosistem hizmetlerinin en iyi şekilde yerine getirilebilmesi gayesiyle en uygun yönetim rejimlerinin belirlenmesi için AP ve simülasyon tekniklerini kombine etmiştir.

Ormancılığın diğer dallarında olduğu gibi orman planlama konusunda da KDS kullanılmaktadır. Detaylı literatür taramasından, orman planlamada KDS'nin ve optimizasyon yöntemlerinin kullanılmasına yönelik yapılan çok sayıda çalışmanın olduğu, ancak özellikle ülkemizde bu çalışmaların uygulamaya aktarılmasında çok da başarılı olunamadığı görülmüştür.

Bu tez çalışması ile gençleştirme sahalarının zaman-mekân düzenlemesinde ve meşcere bakımında (ara hasılat kesim planlamasında) karşılaşılan konumsal orman planlama problemlerinin çözümü için karışık tamsayılı AP modellerinin geliştirilmesi ve Türk ormancılığının faydalanmasına sunulması amaçlanmıştır. Bu çalışma ayrıca, geniş bir kullanım alanı olan AP'nin orman amenajman planlamasında da rahatlıkla kullanılabileceğini ortaya koyacak ve orman amenajmanı bilim dalına katkı sağlayacaktır.

Çalışma çerçevesinde bir doğrusal bakım modeli (DBM), bir doğrusal olmayan bakım modeli (DOBM) ve bir de doğrusal gençleştirme modeli (DGM) geliştirilmiştir. Geliştirilen bakım modelleri bir yandan ara hasılat etası için belirlenen hedef değerden sapmaları en aza indirirken, diğer bir yandan da bölme ağırlık merkezlerinin orman içi rampalara olan mesafelerini en aza indirmektedir. Böylece hem her yıl az çok birbirine eşit miktarda ara hasılat etası elde edilecek ve hem de iş organizasyonunun kolaylığı ve ekonomik işletmecilik açısından birbirine en yakın bölmeler aynı bakım bloğunda yer alacak şekilde planlanabilecektir.

Gençleştirme alanlarının zaman ve mekân düzenlemesi için geliştirilen DGM'nin amaç satırında da iki farklı amaç yer almaktadır. Bunlar gençleştirilecek alan büyüklüğü hedef değerinden ve bu alanlardan üretilecek orman ürünü miktarı için belirlenen hedef değerinden olan sapmaların en aza indirilmesidir. Modelde kullanılan kısıtlar ise hem çok büyük alanda ve hem de küçük alanda çalışmayı engelleyen alan kısıtlarıdır. Bu model sayesinde, hem tıraşlama kesim alanı büyüklüğü ve erteleme süresi kısıtlarına riayet edilecek ve hem de her yıl eşit miktarda alan gençleştirilerek eşit miktarda son hasılat etası temin edilebilecektir.

Orman amenajman planlamasında karışık tamsayılı AP'nin kullanılmasını inceleyen bu tez çalışması beş bölümden oluşmaktadır:

Giriş bölümünde; tezin tanıtımı yapılmıştır. Bu bölümde tezin konusu, önemi, bilimsel dayanağı, amaçları ve tezi oluşturan bölümlerinin içerikleri hakkında bilgi verilmiştir.

Genel kısımlar bölümünde; öncelikli olarak KDS konusu üzerinde durulmuştur. Yönetim seviyeleri itibariyle karar tiplerine, KDS için yapılmış çeşitli tanımlara, KDS'nin özelliklerine, türlerine, kullanım alanlarına ve son olarak da KDS'nin ormanların planlanmasında kullanılması örneklerine yer verilmiştir. Bu bölümde daha sonra orman planlamada optimizasyonun kullanımı detaylı bir şekilde incelenmiştir. Daha sonra konumsal orman planlamasının tanımı, kavramları, kısıtları ve problem türleri incelenmiş ve konumsal kısıtların ekonomik etkileri ile konumsal planlamanın zorlukları üzerinde durulmuştur. Bu bölümün sonunda ise orman planlamada kullanılan optimizasyon yöntemleri incelenmiştir.

Malzeme ve yöntem bölümünde; öncelikle çalışma alanının özellikleri ile gençleştirme ve bakım çalışmalarına ilişkin çalışma alanının plan verileri sunulmuştur. Daha sonra çalışma alanı verilerinin derlenmesi ve işlenmesi, AP modellerinin matematiksel formülasyonu, modellerin komut dizinlerinin yazılması ve modellerin Lingo 16'da koşturulması hususları detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

Bulgular bölümünde; öncelikle bakım modellerinin ürettiği sonuçlar ile gençleştirme problemine ilişkin bulgular tablo, grafik ve harita yardımıyla detaylı bir şekilde izah edilmiştir. Daha sonra çalışma ile elde edilen sonuçlar kullanılarak çalışma alanının ara hasılat kesim planları hazırlanmış ve gençleştirilecek sahalara ait zaman-mekân düzenlemesi yapılmıştır. Bu bölümde son olarak çalışma ile elde edilen sonuçların gerçek planlar ile karşılaştırılması yapılmıştır.

Tartışma ve sonuç bölümünde; çalışmayla elde edilen bulgular literatürde yer alan çalışmalar ışığında tartışılmış; doğrusal ve doğrusal olmayan AP modellerin geliştirilmesi, koşturulması ve sonuçların analizinde karşılaşılan zorluklara değinilmiş; geliştirilen modellerin kapasiteleri, eksiklikleri ve sınırlılıkları tartışılmış ve son olarak da bulgulara dayanarak çeşitli öneriler geliştirilmiştir.

2. GENEL KISIMLAR

2.1. ORMAN PLANLAMADA KARAR DESTEK SİSTEMLERİNİN YERİ

Orman amenajman planlaması, toplumun orman ürün ve hizmetlerine olan taleplerini sürdürülebilir bir şekilde karşılanmasına katkı sağlayan bir karar verme sanatıdır. Ormanların sunduğu ürün ve hizmetin çeşitliliği kadar orman planlamada karar vermeyi zorlaştıran faktörler de mevcuttur. Bunlar arasında; biyolojik çeşitliliğin, toprak ve su kaynaklarının korunması ile iklim değişikliğiyle mücadele gibi çevresel kaygılar; ormanın dinamik yapısı, orman sahibinin amaçları, işletme ve üretim maliyetleri, halkın beklentileri, ulusal ormancılık politikası ve mevzuatı ile teknik ve bilimsel gelişmeler sayılabilir. Karar vermeyi zorlaştıran ve kararın kalitesine etki eden tüm bu faktörleri dikkate almaya çalışan karar vericilere karar verme aşamasında yardımcı olacak bilgisayar tabanlı bilgi sistemlerine ihtiyaç vardır.

Çalışmamıza konu olan gençleştirme ve meşcere bakımı ile ilgili konumsal orman planlama problemlerinin çözümünde AP tabanlı bir KDS kullanılacaktır. Bu yüzden öncelikli olarak KDS konusu üzerinde durulacaktır. Bu bölümde; KDS için yapılmış çeşitli tanımlara, KDS'nin özelliklerine, türlerine, kullanım alanlarına ve son olarak da KDS'nin ormanların planlanmasında kullanılması örneklerine yer verilecektir.

2.1.1. Karar Destek Sisteminin Tanımı, Özellikleri ve Türleri

Dilimize Arapçadan geçmiş olan karar kelimesi, bir iş veya sorun hakkında düşünülerek verilen kesin yargıyı ifade eder (TDK, 2006). Karar vericilerin kararlarının bir kısmı, basit kararlarken, büyük bir kısmı da kurumlarının iş süreçlerinin geliştirilmesi ve sunulan hizmetin iyileştirilmesine yönelik önemli hususlara ilişkin kararlardır. Alışlagelmiş konular dışındaki faaliyetler; karar vericilere karmaşık, belirsizliklerle dolu ve aynı anda birbirleri ile çelişen birçok hedefin en üst düzeye çıkarılmaya veya en aza indirilmeye çalışıldığı ve farklı bakış açılarının farklı sonuçları öngördüğü karar ortamları sunarak, karar verme süreçlerini zor ve karmaşık hale getirmektedir (TBD, 2010).

Yöneticilerin verdiği kararlar stratejik, taktik ve operasyonel düzeyde kararlar olabilir (Şekil 2.1). Stratejik karar verme seviyesindeki yöneticiler, geleceğe yönelik ve belirsizlik seviyeleri oldukça yüksek olan kararlar verirler. Taktik karar verme seviyesindeki yöneticilerin verdiği kararlar, stratejik seviyede verilen kararların yerine getirilmesine, kaynakların etkin ve

verimli olarak elde edilmesi ve kullanılmasına yöneliktir. Operasyonel karar verme seviyesindeki yöneticilerin verdiği kararlar ise taktik seviyede verilen kararların yürütülmesi için gerekli görevlerin etkin ve verimli bir şekilde yapılmasını içerir (TBD, 2010).



Şekil 2.1: Yönetim seviyelerinde karar tipleri (TBD, 2010).

Özellikle stratejik ve taktik seviyelerdeki karar vericiler, tam olarak analiz edilmesi insan yeteneğinin ötesinde olan karmaşık konularda karar vermek durumunda kalırlar. Bu tip kararlar KDS için uygundur (Long, 1989).

KDS'nin tüm dünyada kabul görmüş tek bir tanımı yoktur. Genel bir tanım yapılacak olursa KDS, *kendi başlarına karar vermeyen ve karar vericilere muhakeme yeteneklerini de kullandırarak karar verme esnasında yardımcı olan bilgisayar tabanlı bilgi sistemleri* olarak tanımlanabilir (Hersh, 1999; Arslan ve Yılmaz, 2010).

KDS ile ilgili yapılan diğer tanımlar aşağıda verilmiştir (TBD, 2010):

- Kullanıcıya yarı-yapısal ve yapısal olmayan karar verme işlemlerinde destek sağlamak amacıyla, karar modellerine ve verilere kolay erişimi sağlayan etkileşimli bir sistemdir (Kroeber ve Watson, 1987).
- Kararın yapısal olmadığı durumlarda karar alma işlemine yardımcı olmak için tasarlanmış, esnek ve etkileşimli bilişim teknolojisi sistemleridir (Haag ve diğ., 1998).
- Karar vericinin yerine geçmesinden ziyade onun kararlarını destekleyen, yarı yapısal ve yapısal olmayan problemlerin çözümü için karar vericiye karar vermesinde yardımcı olan etkileşimli sistemlerdir (Keen ve Morton, 1978).
- Karar verme sürecinde, yönetime destek vermek için hedeflenen bilginin üretilmesi ve sunulması için kullanıcı etkileşimli yazılım ve donanım vasıtalarının bütünleşik kümesinden oluşan etkileşimli bilgi sistemleridir (Long, 1989).

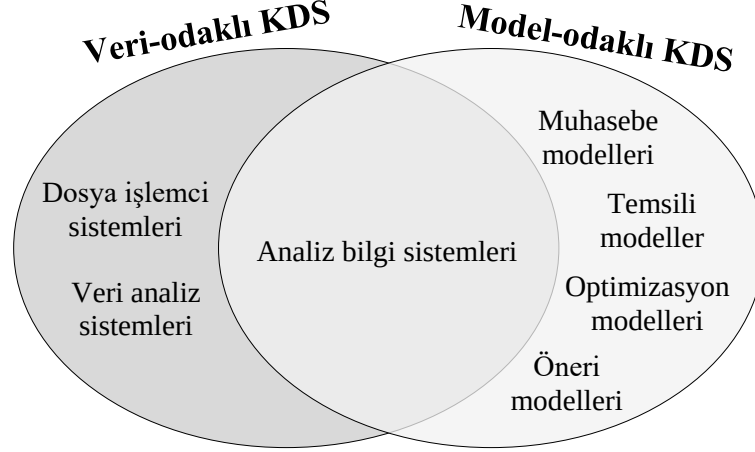
- Değişik kaynaklardan topladığı bilgileri düzenleyerek, kararı modelleyerek, bilgileri analiz ederek ve değerlendirme sonuçlarını sunarak, belirli modeller kullanımı ile karar vericiye seçim sırasında destek veren bilgisayar temelli bir sistemdir (Sauter, 1997).
- Karar vericilerin karar vermesine yardımcı olan interaktif ve bilgisayar ortamında olan sistemlerdir. Diğer bir deyişle, verilmesi gereken kararlar ilgili veriyi daha iyi anlayarak, daha etkin karar seçeneklerini oluşturma, alternatifleri belirleme ve değerlendirme işlevlerinde destek sağlayan ve doğru karar verme olasılığını artıran sistemlerdir (Gökçen, 2007; Delice, 2010).

Yukarıda yapılan tanımlardan yola çıkarak KDS'nin özelliklerini aşağıdaki şekilde özetlemek mümkündür (Gökçen, 2007; TBD, 2010):

- Geleceği planlamaya yöneliktir.
- Taktik ve stratejik düzeydeki kararlarda kullanılır.
- Karar vericinin yerine geçmekten ziyade, ona karar vermesinde yardımcı olur.
- Karar verme sürecinin tüm aşamalarını destekler.
- Kullanıcının kontrolü altındadır.
- Veri ve model tabanlarına erişimlidir.
- Veri inceleme ve çözüm üretmede analitik modeller kullanır.
- Kullanıcı etkileşimlidir. Bu nedenle karar verici, bir yönetim bilgi sistemi uzmanından çok az yardım alarak ya da almadan kullanabilir.
- Yoğun olarak stratejik ve taktik düzeydeki yöneticiler için, gerektiğinde düzeyler arası bütünleşmeye de destek vererek, karar verme desteği sağlar.
- Birden fazla bağımsız ya da birbirine bağımlı kararlar için destek sağlayabilir.
- Bireysel, grup tabanlı karar verme desteği sağlar.
- Kullanım kolaylığı sağlar.
- Değişen şartlara ve karar durumlarına uyum sağlayabilecek esnekliktedir.
- Düzensiz ve planlanmamış zaman aralıklarında kullanılabilir.

KDS'nin tüm dünyada kabul görmüş tek bir tanımı olmadığı gibi, kabul görmüş standart bir sınıflandırması da yoktur. Alter (1980) KDS için yedi tür önermiştir: *i)* dosya işlemci sistemleri, *ii)* veri analiz sistemleri, *iii)* analiz bilgi sistemleri, *iv)* muhasebe modelleri, *v)* temsili modeller, *vi)* optimizasyon modelleri ve *vii)* öneri modelleri. Bu yedi tür KDS, Şekil 2.2'de gösterildiği gibi veri-odaklı ve model-odaklı olmak üzere iki tür altında toplanabilir (Hasan ve diğ., 2016).

Daha sonra, Holsapple ve Whinston (1996) KDS'yi altı tür olarak sınıflandırmıştır: i) *metin odaklı*, ii) *veritabanı odaklı*, iii) *elektronik tablo odaklı*, iv) *çözücü odaklı*, v) *kural odaklı* ve bu türlerin bir kombinasyonu olarak ifade edilen vi) *bileşik odaklı* (Hasan ve diğ., 2016).



Şekil 2.2: KDS'nin sınıflandırması (Hasan ve diğ., 2016).

Power (2002, 2004, 2007) ise KDS'yi, i) *model-odaklı*, ii) *veri-odaklı*, iii) *iletişim-odaklı*, iv) *belge-odaklı* ve v) *bilgi-odaklı* olmak üzere beş grupta incelemiştir.

Genel olarak KDS'yi *model odaklı* ve *veri odaklı* olmak üzere iki türde ele almak mümkündür (Dhar ve Stein, 1997; Laudon ve Laudon, 2002; Gökçen, 2007; TBD, 2010; Delice, 2010). Bu iki grup KDS aşağıda ayrıntılı olarak tanımlanmıştır.

Model odaklı KDS, “eğer... ise (What if)” ve diğer farklı analizlerin yapılması için bazı modeller kullanan, büyük örgütsel bilgi sistemlerinden bağımsız, tek başına sistemlerdir. Finansal, istatistiksel, optimizasyon ve/veya benzetim modellerine erişme ve onların çalıştırılması üzerine odaklanırlar. Bir durumun analiz edilmesinde karar vericilere yardım etmek için, karar vericiler tarafından tedarik edilen sınırlı veri ve parametreleri kullanırlar. Geniş veritabanları gerekli değildir. Genellikle merkezi bilgi sistemi kontrolünde olmayan son kullanıcılar tarafından geliştirilirler. Analiz yetenekleri, modelin kullanımını kolaylaştıracak iyi bir kullanıcı arayüzüyle birleştirilmesine bağlıdır (Power, 2002; TBD, 2010).

Veri odaklı KDS, büyük örgütsel sistemlerde bulunan büyük veri havuzlarını analiz eden sistemlerdir. Büyük miktarlardaki veriler içerisinde saklı kalmış faydalı bilgileri çıkarıp kullanıcılara sunarak karar verme desteği sağlarlar. Veri işleme sistemlerinden elde edilen veriler, genellikle veri ambarında toplanırlar (Laudon ve Laudon, 2002; TBD, 2010).

2.1.2. Karar Destek Sistemlerinin Kullanım Alanları

Karar desteği anlayışı ilk olarak 1950'lerin sonu ve 1960'ların başında Carnegie Teknoloji Enstitüsü tarafından yapılan örgütsel karar verme teorik çalışmalarından ve 1960'lı yıllarda yapılan uygulama çalışmalarından gelişim göstermiştir (Keen, 1978). KDS'nin temelleri ise ilk olarak Little (1970) tarafından yapılan bir çalışma ile atılmıştır. Bu konudaki ilk kavramlar ise Scott Morton (1971) tarafından "Yönetim Karar Sistemleri" isimli bir çalışmada ele alınmıştır. Daha sonra gerek akademik gerekse endüstriyel alanlarda araştırma-geliştirme ve uygulama çalışmaları hızla yaygınlaşmıştır (Kuruüzüm, 1998; Delice, 2010).

Günümüzde KDS, tarım ve ormancılık uygulamaları, eğitim ve sağlık hizmetleri, borsa (Çetinyokuş ve Gökçen, 2002) ve finans sektörü, trafik ve ulaştırma hizmetleri gibi birçok alanda etkin olarak kullanılmaktadır.

2.1.3. Orman Yönetimi ve Planlamasında Karar Destek Sistemlerinin Kullanımı

Orman ekosisteminin sunduğu ürün ve hizmetlerden ormanlar tahrip edilmeden belirli bir düzen içerisinde faydalanabilmek için sosyal, ekonomik ve ekolojik koşullar gözetilerek orman kaynakları planlanmak ve halkın kullanımına açılmak durumundadır. Ancak orman planlamada ihtiyaç duyulan bilgi ihtiyacı ve planlama amaçları günden güne değişmiştir. Örneğin, 1950'li yıllarda odun üretimini planlamak için bilgi toplanırken, 1960'larda rekreasyon, otlatma ve yaban hayatı önem kazanmıştır. 1970'li yıllarda enerji ihtiyacı artmış ve biokütle önem kazanmıştır. 1980'li yıllarda ise iklim değişikliği ve küresel ısınma gündeme gelmiş ve ormanlar, karbon tutan yutak alanlar olarak önem kazanmıştır. 1990'lı yıllarda ise ekosistem yönetimi, odun dışı orman ürünleri ve biyolojik çeşitlilik gündeme gelmiştir (Demirci, 2010).

Günümüzde ormanları planlayanlar odun üretimi dışında biyoçeşitlilik, yaban hayatı, su kaynaklarının korunması, estetik güzellik, rekreasyon ve karbon stokları gibi diğer birçok çevresel, sosyal ve ekonomik değişkenle uğraşmak zorundadırlar (Myllyviita ve diğ., 2014).

Ormanların sunduğu ürün ve hizmetlere olan talebin çeşitlenerek artması, ormanların öneminin uluslararası düzeyde daha da iyi anlaşılması, ormanların giderek azalması ve orman ekosistemlerinin çok amaçlı planlanıp sürdürülebilir bir şekilde yönetilme zorunluluğu ormanlardan en uygun şekilde yararlanılmasına dönük KDS'nin geliştirilmesi ihtiyacını ortaya koymuştur. Ormancılıkta 1980'li yılların başlarında kullanılmaya başlanan KDS, önceleri bilimsel amaçlarla ve basit işletme problemlerinin çözümünde kullanılırken, son yıllarda

geliştirilen sistemler orman amenajmanı, sürdürülebilir orman işletmeciliği ve planlaması gibi daha zor ve kapsamlı problemlere ve sorunlara çözüm bulmak için tasarlanmaktadır (Reynolds, 2005). Özellikle ormancılıkta gelişmiş ülkelerde orman planlamasına yönelik birçok KDS geliştirilmiştir (Tablo 2.1). Çağdaş bilgi sistemi teknolojileri ve Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ile desteklenerek geliştirilen bu KDS'ler planlamada karar verme aşamasında etkin bir şekilde kullanılmaktadır (Keleş, 2008).

Tablo 2.1: Orman amenajman planlaması için geliştirilmiş bazı KDS'ler ve özellikleri (Keleş, 2008; Kadioğulları, 2009).

Model Adı & Yazarlar	Modelleme Teknikleri	Ülke	Diğer Özellikleri
TimberRAM (Navon, 1971; Chappelle ve diğ., 1976; Alston ve Iverson, 1987)	DP	ABD	Odun hammaddesi kaynak tahsisi için geliştirilmiş bir modelleme sistemidir. ABD ormancılık sektörü tarafından geliştirilmiş en eski DP tabanlı orman amenajmanı planlama modelidir.
MUSYC (Johnson ve Jones, 1980)	DP	ABD	Çok amaçlı sürdürülebilir hasılat planlama sistemidir. Bunun yerini çok kısa bir süre sonra FORPLAN ve daha sonra geliştirilen SPECTRUM modelleri almıştır.
FORPLAN (Johnson ve diğ., 1986)	DP	ABD	Konumsal olmayan ve üretim planlaması problemleri için geliştirilmiştir. TimberRAM'a nazaran daha detaylı bir modeldir. Yaş sınıfları ve katman bazında bir planlama modelidir. Çok amaçlı planlama özelliğine sahiptir.
TEAMS (Covington ve diğ., 1988; Wood ve diğ., 1989)	DP	ABD	Odun üretiminin planlamasına yönelik, farklı senaryoların değerlendirilmesini sağlayan bir sistemdir. Orman planlama problemlerine ilişkin matris kurucu görevini üstlenmekte ve Lindo yardımıyla planlama problemlerine çözüm sunmaktadır. CBS yazılımları ile bağlantı kurmak ve plan çıktılarını sayısal olarak görmek mümkündür.
SARA (Scott, 1991)	DP	ABD	Planlamaya dönük geliştirilmiş bir matris kurucudur. Excel ile orman planlama problemleri için planlama modelleri geliştirilmektedir. Lindo ve Cwhiz gibi matris çözücülerle problemlere sonuçlar elde edilmekte, sonuçlar ise rapor yazıcı aracılığıyla kullanıcıya sunulmaktadır. CBS yazılımları ile bağlantı sağlanması, veri giriş ve çıktıların görsel olarak sunulması söz konusudur.
SPECTRUM (Greer ve Meneghin, 2000)	DP, AP Dinamik Programlama	ABD	FORPLAN'ın varisidir. CBS yazılımı ile bağlantı kurulmak suretiyle planlamaya konumsal özelliklerin katılması mümkündür. Çok sayıda farklı işletme faaliyetleri veya silvikültürel rejimlerin orman ekosistemi ve yaban hayatı gibi diğer orman fonksiyonları üzerindeki etkilerini inceleme fırsatı sunmaktadır.
RELMdss (Church ve diğ., 2000)	DP	ABD	SPECTRUM'dan aldığı uzun dönem planlama sonuçlarını kullanarak konumsal orman planlarının yapılmasına hizmet eden bir modelleme sistemidir. Çok sayıda alternatifin oluşturulması ve mübadele analizlerinin yapılması mümkündür.
LANDIS (Gustafson ve diğ., 2000)	Simülasyon	ABD	İçerisinde odun hammaddesi üretimi bulunan; önemli ekolojik süreçler ve bunların konumsal etkileşimlerini uygun geçerlilikte sürdüren, raster tabanlı konumsal bir simülasyon modelidir.

Tablo 2.1 (devam): Orman amenajman planlaması için geliştirilmiş bazı KDS'ler ve özellikleri (Keleş, 2008; Kadioğulları, 2009).

SFMM (Davis, 1999)	DP	Kanada	Stratejik düzeyde orman işletme alternatiflerinin planlanması ve analizini sağlamaktadır. Konumsal olmayan bir modeldir.
ECHO (MMFA, 2001)	DP, TB	Kanada	Farklı zamansal ve konumsal ölçeklerde, tüm modelleme tekniklerini kullanan ekosistem tabanlı konumsal bir KDS'dir.
SAGALP (Chen ve Gadow, 2001)	DP, TB, GA	Almanya	Ortak bir veri tabanı aracılığıyla, çok sayıda basit orman planlama problemlerine çözüm bulmak amacıyla geliştirilmiş bir sistemdir. Modüler bir yapıya sahiptir.
HARVEST (Gustafson ve Crow, 1994, 1999; Gustafson ve Rasmussen, 2002; Gustafson ve diğ., 2006)	Simülasyon	ABD	Özellikle yaş sınıflarını dikkate alan, konumsal tabanlı ve planlamaya yönelik bir simülasyon modelidir. Çok az miktarda veriye ihtiyaç duyar ve kullanımı kolaydır. Raster tabanlı bir modeldir. Son yıllarda bu modele farklı yazılımların yansıtılması ile odun üretimine yönelik amenajman planlama modülleri geliştirilmiştir.
LAMPS (Bettinger ve Lennette, 2004)	Simülasyon	ABD	Uzun bir planlama yörüngesinde, büyük ölçekli alanlarda ve farklı ekosistem yapısında çalışabilmektedir. Deterministik yapıda simülasyon modeli olup, taktiksel ve stratejik planlar arasında bağ kurabilmektedir.
LP/J/MELA (Lappi, 1992; Redsvén ve diğ., 2005)	DP	Finlandiya	Ormanların üretim potansiyelinin ne olduğu ve önceden belirlenen amaçları elde etmek için meşcerelerin nasıl işletilmesi gerektiği gibi sorunların çözülmesine yardım eden programdır.
MONSU (Pukkala, 2004)	GA, TB, TA Hücreli Otomat Rastgele Arama	Finlandiya	Ormanlardan çok amaçlı faydalanmak amacıyla geliştirilmiş bir planlama programıdır. Odun ve odun dışı ürün ve hizmetleri aynı anda hesaplama ve planlamaya dahil etme yeteneğine sahiptir.
MOTTI (Hynynen ve diğ., 2005)	Simülasyon	Finlandiya	Meşcere düzeyinde bir simülasyon modelidir. Orman işletme faaliyetlerinin meşcerelerin dinamik yapısı üzerine etkilerini değerlendirme fırsatı sunmaktadır. Biokütle üretimi, karbon birikimi ve biyoçeşitlilik amaçlarını tahmin eden bileşenlere sahiptir.
FORMAN GISFORMAN LANDMAN (Wang, 1987;	Simülasyon	Kanada	FORMAN, envanter projeksiyon modeli olup uzun zamanlı stratejik plan yapmaya yönelik bir simülasyon modelidir. GISFORMAN, konumsal özellikleri dikkate alarak, odun üretim planlamasına hizmet eden bir simülasyon modelidir.
WOODSTOCK (Walters, 1993)	Simülasyon, DP Kombine Optimizasyon	Kanada	Üretim planlama ve odun hammaddesi üretim analizi, yaban hayatı ve orman ekosistemlerinin simülasyonunda kullanılan orman modelleme sistemidir.
ATLAS (Nelson, 2000; Perdue ve Nelson, 2000; Nelson, 2003)	Simülasyon	Kanada	Orman düzeyinde üretim tabanlı bir simülasyon modelidir. Orman yollarını ve temel üretim birimlerini konumsal olarak ele almaktadır. Üretimi düzenleyici konumsal olmayan kısıtlardan, müdahale alanı büyüklüğü kısıtları ve üretim birimleri arasındaki komşuluk kısıtlarına kadar çok sayıda amaçlar veya kısıtlayıcılar modele dahil edilebilir.
HABPLAN (NCASI, 2006)	DP, TB, GA	Kanada	Hem konumsal hem de konumsal olmayan planları yapabilmektedir. Aynı anda stratejik ve taktiksel plan yapma özelliği mevcuttur.
AVVIRK (Hobbelstad ve Hofstad, 1988)	Simülasyon	Norveç	Farklı işletme ve yatırım rejimleri altında, hasılat ve ekonomik çıktıları hesaplayan stratejik düzeyde planlama modelidir. Deterministik simülasyon modelidir.

Orman amenajman planlamasında geliştirilen ve kullanılan KDS'ler, *karar verme aşamasında karar vericilerin en uygun kararları almasına yardımcı olan ve karar vericinin bilgi birikimi ile bilgisayarların bilgi işleme yeteneklerini bütünleştiren bir modelleme sistemi* olarak tanımlanabilir (Keleş, 2008).

Orman yönetimi ve planlamasında KDS'nin kullanımına ilişkin çalışmaların incelendiği birçok çalışma mevcuttur (Reynolds ve diğ., 2008; Packalen ve diğ., 2013; Vacik ve Lexer, 2014; Segura ve diğ., 2014). Ayrıca, Kangas ve diğ. (2015) "*Orman Yönetimi İçin Karar Destek*" isimli çalışmayı hem orman fakültesi öğrencileri için bir ders kitabı olarak ve hem de sektörde çalışan ormancılar ve araştırmacılar için bir kaynak kitap olarak hazırlamıştır.

Ülkemizde orman amenajman planı yapım sürecinde yöneylem araştırması tekniklerini ilk kez kullanan Soykan (1979) eşit yaşlı ormanlarda idare sürelerinin optimizasyonunda DP ve optimal kuruluşların belirlenmesinde de simülasyon kullanmıştır (Keleş, 2008). Köse (1986) Meryemana araştırma ormanı için iki adet planlama modelini AP ile geliştirmiştir. Gül (1990) Basic programlama dilini kullanarak orman amenajman planı düzenleyen bir yazılım geliştirmiştir. Ok (1997) aynıyaşlı ormanlarda kesim düzeninin ekonomik analizini yaptığı çalışmada simülasyon tekniğini kullanmıştır. İdare süresinin belirlenmesinde biyolojik ve fiziksel değişkenlere ek olarak, ekonomik ve sosyal değişkenlere de yer verdiği çalışmada EKODÜS adlı bir bilgisayar programı da geliştirmiştir. Mısır (2001) nesne tabanlı bir programlama tekniği ile birlikte karar verme tekniklerinden AP tekniğini kullanarak çok amaçlı bir orman amenajman planlama modeli geliştirmiştir. Karanlıkdere planlama biriminde Keleş (2003) orman ekosistemlerinin su üretim fonksiyonunu, Karahalil (2003) toprak koruma fonksiyonlarını DP kullanarak amenajman planlarına yansıtmıştır. Yolasığmaz (2004) DP kullanarak Artvin planlama birimi için ekosistem tabanlı fonksiyonel planlama anlayışı kapsamında uzun dönem amenajman planlama senaryoları geliştirmiştir (Keleş, 2008). Keleş (2008) ekosistem tabanlı fonksiyonel planlama yaklaşımının temel esaslarını dikkate alan, ekosistemin tüm öğelerini bir bütün olarak kabul eden bir KDS tasarımı ve yazılımı geliştirmiştir. Kadioğulları (2009) ise ekosistem tabanlı fonksiyonel planlama yaklaşımı çerçevesinde konumsal KDS tasarım ve yazılımını geliştirerek Uğurlu planlama biriminde test etmiştir. Zengin (2009) KTP kullanarak odun üretimi, rekreasyon ve hidroloji fonksiyonlarını işletme sınıflarına ayırarak bir kesim düzeni oluşturup bölmeciklerin hangi periyotta gençleştirileceğini kestirmeye çalışmıştır (Çağlayan, 2014). Karahalil (2009) DP'yi kullanarak

Köprülü Kanyon Milli Parkı için koruma kullanma dengesini gözeterek şekilde bir korunan alan orman amenajman planı düzenlenmiştir. Bingöl (2009) birleşik modelleme dilini kullanarak ekosistem tabanlı çok amaçlı planlama yaklaşımının uygulanabilmesi için modüler yapıları bir orman ekosistem modeli geliştirmiştir. Çağlayan (2014) koruya tahvil edilen meşe baltalıklarında odun üretiminin optimizasyonunda KTP'yi kullanmıştır. Zengin ve diğ. (2015) karışık tamsayılı AP kullanarak odun ve su üretimini en üst düzeye çıkarırken uygun gençleştirme periyodunu belirleyen ve her bir periyotta meşcerelerden alınacak ara ve son hâsılat miktarlarını hesaplayan bir model geliştirmiştir. Demirci ve Bettinger (2015) karışık tamsayılı AP kullanarak bakım blokları oluşturmuştur. Bakım blokları oluşturulurken işletme ve ulaşım giderlerini azaltmak için bölmeler arasındaki mesafeyi en aza indirmek ve odun üretimi sürekliliğini de sağlamak için her yıl eşit miktarda ürün elde etmek amaçlanmıştır.

Sürdürülebilir orman yönetimi konusunda küresel düzeyde yaşanan gelişmelere paralel olarak orman teşkilatı da çeşitli ulusal ve uluslararası düzeyde projeler yürütmüştür. Bunlardan ilki 1972 yılında Akdeniz Orman Kullanım Projesi kapsamında geliştirilen makineli üretime dayalı sistemdir. Bir diğer proje, 1998 yılında OGM ile Finlandiyalı özel bir şirketin ortak çalışması olan Orman Kaynakları Bilgi Sistemi (FRIS) projesidir. Projenin amacı, amenajman planlarının hazırlanmasında teknolojiye en üst düzeyde yararlanmak ve planları bilgisayar destekli düzenlemektir. Proje kapsamında FRIS isimli bir yazılım geliştirilmiştir. Yazılımın CBS'yi kullanması ve meşcere simülasyonunu gerçekleştirmesi en önemli artılarıdır (Keleş, 2008).

2.2. ORMAN PLANLAMADA OPTİMİZASYONUN KULLANIMI

Gass (2000) optimizasyonu, bir sistemde var olan kaynakların (işgücü, zaman, sermaye, süreçler, hammadde, kapasite, ekipman gibi) en verimli şekilde kullanılarak belirli amaçlara (maliyetin en aza indirilmesi; kârın, kapasite kullanımının ve verimliliğin en üst düzeye çıkarılması gibi) ulaşmayı sağlayan bir teknoloji olarak tanımlamıştır (Türkay, 2011).

Optimizasyon, amaç değerini en aza indirmek veya en üst düzeye çıkarmak için mevcut kaynakların en iyi şekilde kullanılmasını sağlamaya yarayan süreçler (Verhulst, 1958) olarak tanımlanabileceği gibi belirli bir amaca ulaşmak için gerekli kaynakların miktarını en aza indiren süreç olarak da tanımlanabilir. Diğer bir ifade ile optimizasyon, belli önceliklere ve ayrıcalıklara sahip bir problem veya sistem için en iyi eylem setini seçme veya en iyi kararları verme sürecidir (Kaya ve diğ., 2016).

Orman kaynaklarının optimizasyonunun aşamalı olarak planlamadaki diğer hususların gölgesinde kaldığını öne süren (Menzel ve diğ., 2012; Vacik ve Lexer, 2014) bazı çalışmalar olsa da, optimizasyon süreçleri, iş tahsisinde, yönetim faaliyetlerinin belirlenmesinde ve tedarik zincirinin değerlendirilmesinde ve bütün bunların konumsal veya zamansal olarak en iyi şekilde nasıl yönetileceği konularında rehberlik etmek için hâlâ önemlidir (Kaya ve diğ., 2016).

Orman amenajman planlamasında karar verme süreçleri, orman sahiplerinin hedeflerini en iyi şekilde karşılayacak en uygun üretim programını geliştirmek için genellikle optimizasyondan faydalanır. Orman sahibinin hedeflerini gerçekleştirmenin en yaygın yolu, istediği faydayı en üst düzeye çıkarmaktır. Muhtemel faaliyetlerin NBD'si, bir orman sahibinin istediği fayda miktarını ölçmek için en yaygın olarak kullanılan sayısal göstergelerden birisidir ve genellikle optimizasyon sisteminde karar vericilerin tercihini veya hedefini temsil eder. Ancak gerçekte yönetim kararı ortamı o kadar basit değildir. Ekonomik değerlerin yanı sıra, ormanın ekolojik ve sosyokültürel değerleri de karar verme sürecine etki edebilir ve optimizasyon problemlerini daha karmaşık hale getirip çözülmesini zorlaştırabilir. Ayrıca mevcut yasalar ve düzenlemeler de karar verme sürecini etkileyebilir. Bazen, bir orman planı, önemli yaban hayatı yaşam alanlarının bir araya getirilmesi gibi mekânsal ilişkileri içerebilir. Bu tür durumlar doğrusal olmayan bir optimizasyon probleminin ortaya çıkmasına neden olabilir. Bu nedenle bazı ilişkiler doğrusal olarak yakınlştırılmadığı sürece makul bir süre boyunca kesin yöntemleri (örneğin KTP) kullanarak matematiksel olarak en uygun çözümü bulmak zordur. Bu gibi durumlarda, sezgisel ve simülasyon yöntemleri orman yönetim planlarının geliştirilmesine yardımcı olmak için kullanılabilir (Kaya ve diğ., 2016).

Orman planlamada optimizasyonun kullanımı incelendiğinde konunun literatürde farklı düzeylerde ele alındığı görülmektedir. Kaya ve diğ. (2016) konuyu; ağaç, meşcere, orman ve peyzaj düzeyinde incelemiştir. Söz konusu çalışmaya göre peyzaj düzeyinde optimizasyon, nispeten yeni ve genişleyen bir araştırma alanıdır. Orman düzeyinde ise sistemleri optimize etmek için DP ve AP gibi kesin yöntemler ağırlıklı olarak kullanılmaya devam edilmektedir. Rönnqvist (2003) ormancılıkta optimizasyonun kullanımına ilişkin yaptığı çalışmada orman amenajmanı ve üretim konularını stratejik, taktiksel ve operasyonel planlama düzeyinde ele almıştır. Heinonen (2007) ise orman planlama ve optimizasyon konusunu konumsal optimizasyon ve konumsal olmayan optimizasyon şeklinde gruplandırarak incelemiştir. Bu üç farklı yaklaşıma da burada yer verilecektir.

2.2.1. Planlama Biriminin Ölçeğine Göre Optimizasyon

Ormancılıkta, sınırlı kaynaklar göz önünde bulundurularak, tanınan alan ölçeği için en iyi uygulamayı anlamak için optimizasyon süreçleri kullanılır (Kaya ve diğ., 2016). Orman planlamada bu ölçek tek ağaç, meşcere, orman ve peyzaj düzeyi şeklinde sıralanır.

2.2.1.1. Ağaç Düzeyinde Optimizasyon

Ağaç düzeyinde optimizasyon, çoğunlukla bir ağacın kesilip kesilmeyeceğine veya kesilmiş bir ağacın gövdesinden en uygun tomruk setinin (uzun boy tomruk, sanayi, kağıtlık vs.) nasıl elde edileceğine ilişkin kararları içerir (optimum boylama). Bu nedenle, ağaç seviyesinde optimal karar verme süreci, ağacın değer artış yüzdesinin arazi sahibinin farazi alternatif getiri oranına eşit olduğu zamanın belirlenmesini gerektirebilir (ekonomik olgunluk) (Duerr ve diğ., 1956; Kaya ve diğ., 2016)

Tek ağaç düzeyinde optimum boylama problemlerinin çözümünde ağ analizi (Sessions, 1988) ve dinamik programlama (Nasberg, 1985) etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Sessions ve diğ. (1988) tarafından ağ analiz metodu kullanılarak geliştirilen BUCK isimli optimum boylama yazılımının tomruk hacmini %14 ve tomruk değerini ise %22 oranında artırdığı görülmüştür (Sessions ve diğ., 1989; Garland ve diğ., 1989). Wang ve diğ. (2004) ağ analizi metodunu kullanarak tomruk değerinde yaklaşık %14 artış sağlamıştır (Yenilmez, 2010). Yine benzer bir çalışma ile Yenilmez (2010) ağ analizi metodunu temel alan NETWORK 2001 yazılımını kullanarak tek ağaç düzeyinde optimum boylama metodunu, Toros göknarı (*Abies cilicica* carr.) meşcerelerinden kesilen ağaçlar üzerinde uygulamış ve ağaçların toplam ekonomik değerinde %9,31 oranında bir artış elde etmiştir. Söz konusu çalışmada optimum boylama metodu kullanılarak üretilen ağaçların toplam tomruk hacminin, geleneksel boylama metodundan %4,18 oranında daha fazla olduğu da tespit edilmiştir.

2.2.1.2. Meşcere Düzeyinde Optimizasyon

Meşcere düzeyinde optimizasyon, genellikle herhangi bir orman veya peyzaj hedefine doğrudan bağımlı olmaksızın, bir meşcereyi oluşturan ağaç topluluğu için en iyi uygulama planını geliştirme süreçlerini içerir (Nieuwenhuis, 2000). Bu süreçler hem aynıyaşlı ve hem de değişikyaşlı olarak işletilen meşcereler için uygulanabilir. Her iki tip meşcere için planlama süreci, meşcerenin ilk baştaki durumuna ve orman sahibinin beklentilerine dayalı olarak ara hasılat (meşcere bakımı), son hasılat (gençleştirme) ve saha hazırlığı (aynıyaşlı meşcerelerde) gibi hususlar için çeşitli seçenekleri analiz etmeyi içerir.

Meşcere düzeyinde optimizasyon ile ilişkili temel optimizasyon problemleri; idare süresi problemi (aynıyaşlı meşcereler için), aralama kesimi problemi (her iki tip meşcere için) ve meşcere sıklığı yönetimi problemidir (değişikyaşlı meşcereler için). Meşcere sıklığı yönetimi problemi odun üretimi ve orman sağlığı hedeflerinin bir kombinasyonunu temel alırken, idare süresi ve aralama kesimi problemleri genelde ekonomik ve odun üretimi hedefleri üzerinde yoğunlaşmaktadır. Ayrıca, meşcere sıklığı yönetimi problemi, bazı orman yöneticilerinin dikkatinin biyoçeşitlilik ve orman sağlığı konularına yöneldiğini de göstermektedir.

Meşcere düzeyinde optimizasyon ile ilgili olarak en sık kullanılan amaçlar, ya tek bir idare süresinin (aynıyaşlı ormanlar) veya belirli bir zaman periyodunun (çoğunlukla değişikyaşlı ormanlar) NBD'nin en üst düzeye çıkarılması (Ahtisoski ve diğ., 2012; Pukkala ve diğ., 2010) ya da birden çok idare süresinin veya uzun (belki de sonsuz) zaman periyodlarının çıplak arazi değerinin en üst düzeye çıkarılmasını (Ahtisoski ve diğ., 2013) içermektedir.

Meşcere düzeyindeki kısıtlar ise; bakım kesimlerinin (ara hasılat) zamanlaması (Niinimäki ve diğ., 2012), bakım kesimleri ile çıkarılacak ürün miktarı, çap dağılımlarının muhafaza edilmesi, bir hasat işleminin planlanmasından önce istenilen minimum hasat hacmi ve bırakılacak ağaçların sıklığı ve tür kompozisyonları gibi çoğunlukla operasyonel kaygıları içermektedir. Bununla birlikte, iklim değişikliği ve yaban hayatı yaşam alanlarının etkileri ile ilişkili kısıtlardan da bahsedilebilir (Kaya ve diğ., 2016).

Son yıllarda (2010 yılından itibaren) ormancılıkta optimizasyonun kullanımına ilişkin yapılan ve uluslararası hakemli dergilerde yayınlanan çalışmanın üçte biri meşcere düzeyinde optimizasyon konusuna odaklanmıştır. Bu çalışmalarının çoğu Avrupa’da ve yoğunlukla İskandinav ülkelerindeki ormanlarla ilgilidir. Kullanılan optimizasyon yöntemleri çeşitlilik göstermektedir ve başı sezgisel optimizasyon teknikleri ile doğrusal olmayan programlama çekmektedir (Tablo 2.2). Kullanılan diğer optimizasyon yöntemleri ise tam sayım, Faustmann optimizasyonu, Hooke ve Jeeves yöntemi, dinamik programlama, kontrol yöntemi, Markov karar süreçleri, Nelder ve Mead yöntemi, Valsta’nın senaryo tekniği ve Escalator Boxcar Treni yöntemidir (Kaya ve diğ., 2016).

2.2.1.3. Orman Düzeyinde Optimizasyon

Orman yönetiminde daha geniş bir bakış açısı ile karar vermenin getirdiği faydalar göz önüne alındığında, orman ve peyzaj düzeyinde planlama işlemlerinin daha sık kullanılması normaldir. Orman düzeyesinde optimizasyon denildiğinde, bir planlama biriminde birden fazla meşcerenin oluşturduğu (meşcerelerin birbirine bitişik olmasına gerek olmaksızın) ormanın optimizasyonu anlaşılır. Aynı fonksiyonlara sahip meşcerelerin taşıdıkları özelliklere göre bir araya getirilmesi ile oluşturulan devamlılık birimi olarak tanımlanabilecek işletme sınıfları için yapılan optimizasyon çalışmaları da bu kapsamda değerlendirilebilir.

Bugün orman seviyesindeki amenajman planlamasının karşılaştığı problemlerin çoğu doğal olarak konumsal niteliktedir. Bu problemler arasında, ormancılık faaliyetlerinin konumsal olarak ormana dağıtımı yapılırken önceki yıllarda yapılan (ya da planlanan) faaliyetlerin göz önünde bulundurulması, yaban hayatı ve biyolojik çeşitlilik açısından özellikli alanların (doğal yaşlı orman gibi) konumlandırılması ve tüm bu işlerin plan süresi boyunca devam ettirilmesi gelmektedir (Kaya ve diğ., 2016).

Kaynak ve yönetim faaliyetinin tahsisi ve zaman planlaması konuları orman düzeyini aşan ve daha büyük ölçekte değerlendirilmesi gereken hususlardır. Orman düzeyindeki bir yönetim problemi, bir yıldan yüz yıla kadar uzanan bir zaman ufkunu ve üç ay ile on yıl arasında değişen zaman aralıklarını (veya periyotları) kullanır. Yasal düzenlemeler (Boston ve Bettinger, 2006; OGM, 2014b) veya sertifikasyon programı politikaları (Boston ve Bettinger, 2001) ile ilgili erteleme süresi ve üretim bölme/bölmeciklerinin komşuluğu problemlerinde olduğu gibi plan süresi boyunca yeterli bir odun emvali arzının sağlanması problemi de hem orman düzeyinde ve hem de peyzaj düzeyinde optimizasyonun ortak konusudur.

Tablo 2.2: 2010 yılından sonra uluslararası hakemli ormancılık dergilerinde yayınlanan orman yönetiminde optimizasyonu içeren literatürün özeti (Kaya ve diğ., 2016).

Optimizasyon Düzeyi	Yöntem	Araştırma
Meşcere	Sezgisel yöntemler	Niinimäki ve diğ., 2012; Ahtisoski ve diğ., 2013; Ahtisoski ve diğ., 2012; Petrášek ve Perez-Garcia, 2010; Eriksson ve diğ., 2012; Pukkala ve diğ., 2010; Bayat ve diğ., 2013; Hyytiäinen ve Haight, 2010; Zhou ve Buongiorno, 2011; Schou ve Meilby, 2013
	Doğrusal olmayan programlama	Hofstad ve Araya, 2015; Tahvonen ve diğ., 2010; Torres ve diğ., 2010; Buongiorno ve diğ., 2012; Rämö ve Tahvonen, 2014
	Faustmann optimizasyonu	Köthke ve Dieter, 2010; Halbritter ve Deegen, 2015; Navarrete, 2012; Huu-Dung ve Yeo-Chang, 2012
	Hooke ve Jeeves yöntemi	De-Miguel ve diğ., 2014a; Pukkala, 2011; Möykkynen ve Pukkala, 2010; Arias-Rodil ve diğ., 2015
	Nelder ve Mead yöntemi	Pukkala ve diğ., 2010; Pukkala ve Kellomäki, 2012
	Diğer yöntemler	Xin ve Wang, 2013; Raymer ve diğ., 2011; Nghiem, 2014; Goetz ve diğ., 2010; Duduman, 2011; Ferreira ve diğ., 2012; Huu-Dung ve Yeo-Chang, 2012
Orman	KTP	Nordström ve diğ., 2013; Garcia-Gonzalo ve diğ., 2014; Wei ve diğ., 2014; Wikström ve diğ., 2011; Korosuo ve diğ., 2011; Garcia-Gonzalo ve diğ., 2013; Strimbu ve diğ., 2010; Costa ve diğ., 2010; Kangas ve diğ., 2014a; Fonseca ve diğ., 2012; Kašpar ve diğ., 2015; Öhman ve diğ., 2011; Flisberg ve diğ., 2014; Öhman ve Eriksson, 2010; Moreira ve diğ., 2013; Tóth ve diğ., 2013; Tóth ve diğ., 2012; Manning ve McDill, 2012; Li ve diğ., 2010; Borges ve diğ., 2014
	DP	Wikström ve diğ., 2011; Korosuo ve diğ., 2011; Garcia-Gonzalo ve diğ., 2013; Strimbu ve diğ., 2010; Chen ve Chang, 2014; Hahn ve diğ., 2014; Mäkelä ve diğ., 2011; Hennigar ve diğ., 2011; Ponce ve diğ., 2010; Borges ve diğ., 2014; Bergseng ve diğ., 2012; Lappi ve Lempinen, 2014; Aldea ve diğ., 2012; Augustynczyk ve diğ., 2016; Petridis ve diğ., 2017
	AP	Garcia-Gonzalo ve diğ., 2013; Chen ve Chang, 2014; Maroto ve diğ., 2013; Aldea ve diğ., 2014; Silva ve diğ., 2010; Chen ve diğ., 2011; Marinescu ve Maness, 2010; Zengin ve diğ., 2015; Demirci ve Bettinger, 2015; Bagdon ve diğ., 2016
	Sezgisel yöntemler	Kangas ve diğ., 2014a; Borges ve diğ., 2014; Zhai ve diğ., 2014; Konoshima ve diğ., 2010; Fotakis ve diğ., 2012; Kangas diğ., 2014b
	Doğrusal olmayan programlama	Hahn ve diğ., 2014; Soltani ve diğ., 2015
	Diğer yöntemler	Chen ve diğ., 2011; Neuner ve diğ., 2013; Sims, 2014
Peyzaj	DP	Rode ve diğ., 2014; Bizikova ve Krcmar, 2015; Colombo ve diğ., 2012; Hossain ve Robak, 2010; Savage ve diğ., 2011; Salehi ve Eriksson, 2010; Kärkkäinen ve diğ., 2011
	KTP	Hauer ve diğ., 2010; Marshalek ve diğ., 2014
	Sezgisel optimizasyon	González-Olabarria ve Pukkala, 2011; Heinonen ve diğ., 2011
	AP	Hossain ve Robak, 2010

Not: Tabloda güncelleme yapılmıştır.

Ormancılıkta optimizasyonun kullanımına ilişkin olarak 2010 yılından itibaren yapılan ve uluslararası hakemli dergilerde yayınlanan çalışmanın yarısından fazlası orman düzeyinde optimizasyon konusuna odaklanmıştır (Tablo 2.2). Bu çalışmalarda en çok kullanılan amaçlar arasında belirli bir zaman aralığında NBD'nin en üst düzeye çıkarılması, diğer ekonomik değerlerin en üst düzeye çıkarılması ve kesimi planlanmış odun hacminin en üst düzeye çıkarılması yer almaktadır.

Orman düzeyindeki planlama problemlerinin çözümünde en çok kullanılan optimizasyon yöntemleri sırasıyla KTP, DP, AP ve sezgisel tekniklerdir. Diğer optimizasyon yöntemleri ise; ikili arama, DOP, bidon yükleme, portföy teorisi, dinamik optimizasyon, uzlaşma programlama ve gerçek seçenek teori yöntemleridir.

Orman düzeyinde kullanılan kısıtlar arasında alan kontrolü, üretilecek odun miktarı (en çok, en az, periyodik dalgalanma, eşit vb.) (Demirci ve Bettinger, 2015), hasat alanı (tırışlama kesilecek alan) büyüklüğü, kesilecek meşcerelerin komşuluğu, çekirdek (doğal yaşlı orman) alanlarının büyüklükleri, asgari kesim yaşları, dönem sonu dikili envanter seviyeleri (Shan ve diğ., 2012) ve biyoçeşitlilik veya yaban hayatı yaşam alanlarının korunması, odun dışı orman ürünleri üretimi ve rekreasyonel deneyimlerin sağlanması ile ilgili diğer kısıtlar yer almaktadır (Kaya ve diğ., 2016).

Son dönemde orman düzeyinde optimizasyon konusunda yapılan çalışmalara örnek olarak; AP ile ormanın odun üretim ve hidrolojik fonksiyonlarının optimize edilmesi (Zengin ve diğ., 2015), yine AP yardımıyla her yıl eşit miktarda odun üretilecek şekilde bakım bloklarının oluşturulması (Demirci ve Bettinger, 2015), çok kriterli programlama ve TP tekniklerini kullanarak hem çevresel ve hem de ekonomik gereksinimlere en uygun bir üretim planının yapılması (Kaşpar ve diğ., 2015), çeşitli ekosistem hizmetlerinin en iyi şekilde yerine getirilebilmesi gayesiyle en uygun yönetim rejimlerinin belirlenmesi için AP ve simülasyon tekniklerinin kombine edilmesi (Bagdon ve diğ., 2016), DP yardımıyla endüstriyel ağaçlandırma sahasında kesim bloklarının oluşturulması ve aynı yerde AP yardımıyla belirlenmiş NBD'den sapmaların ez aza indirilmesi (Augustynczik ve diğ., 2016) çalışmaları verilebilir.

2.2.1.4. Peyzaj Düzeyinde Optimizasyon

Peyzaj düzeyinde optimizasyon konusu birden fazla kişinin özel ormanlarını, komşu havzaları, ilçe ve il alanlarını veya bütün bir peyzajı kapsar. Yıllık olarak piyasaya sunulacak odun miktarı, üretim zamanlaması ve ormancılık faaliyetlerine ilişkin konumsal meseleler gibi orman veya peyzaj düzeyindeki amaçların çok daha önemli olduğu durumlarda optimal meşcere düzeyi kararlarından bahsedilmesi pek te uygun olmaz.

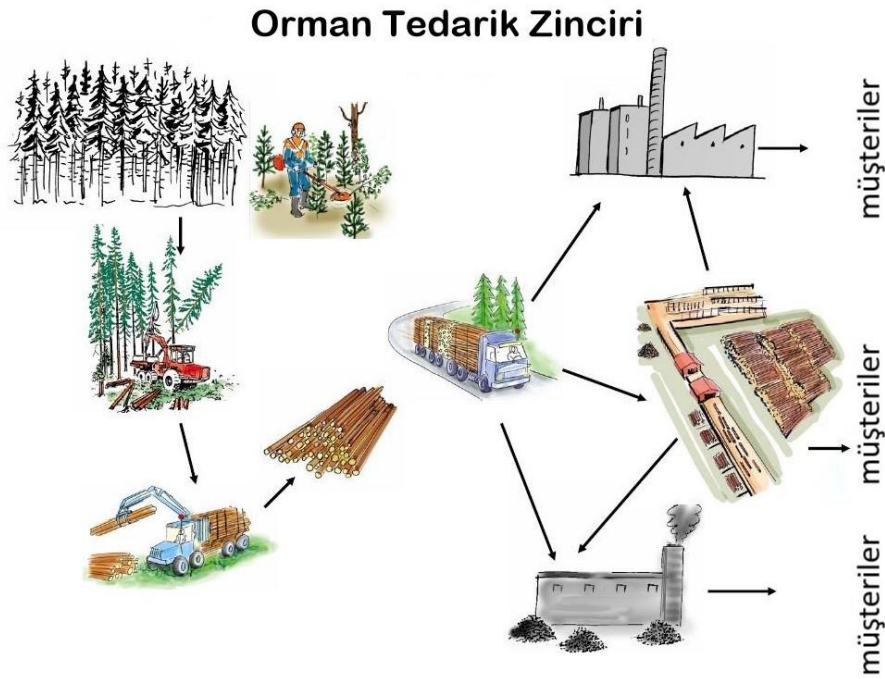
Son zamanlarda peyzaj düzeyinde optimizasyon konusu ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde, kullanılan fikirlerin orman düzeyinde kullanılanlar ile benzerlik gösterdiği ancak daha geniş alana uygulandığı görülecektir. Bu düzeyde kullanılan ana amaçlar arasında üretilen odun hacminin en üst düzeye çıkarılması, NBD'nin en üst düzeye çıkarılması, diğer ekonomik değerlerin en üst düzeye çıkarılması ve üretim için planlanmış odun hacmindeki sapmaların en aza indirilmesi gibi amaçlar yer almaktadır. Burada kullanılan kısıtlar da aynı şekilde orman düzeyinde kullanılan kısıtlarla benzerlik göstermektedir. Bu kısıtlar arasında tıraşlama kesim yapılacak alan büyüklüğü, yıllık üretilecek odun hacmi, asgari kesim yaşları, dönem sonu dikili envanter seviyeleri ve yaban hayatı yaşam alanlarının geliştirilmesi veya bakımı ile ilgili olan kısıtlar yer almaktadır. En çok kullanılan yöntemler arasında DP, KTP, AP ve sezgisel teknikler yer almaktadır (Kaya ve diğ., 2016).

Peyzaj düzeyinde optimizasyona örnek olarak; orman rezervleri, üretim alanı ve odun hacim kısıtları ile odun üretimini en üst düzeye çıkarmak için bir DP modelinin geliştirilmesi (Colombo ve diğ., 2012), orman rezervleri kısıtlarına ek olarak olası yangın kayıplarının da kısıt olarak kullanılması ile odun üretim hedefini en üst düzeye çıkarmak için DP'nin kullanılması (Savage ve diğ., 2011) ve odun üretimi, doğal yaşlı orman ve doğal güzellik hedeflerinden (DP ile elde edilen) sapmaları en aza indirmek için bir AP modelinin geliştirilmesi (Hossain ve Robak, 2010) çalışmaları verilebilir. Bu alanda yapılan diğer çalışmalar (Tablo 2.2) ise geniş ölçekli ekolojik göstergelerin (Hauer ve diğ., 2010), türlerin korunmasıyla ilgili endişelerin (Marshalek ve diğ., 2014), yangın güvenliğinin (González-Olabarria ve Pukkala, 2011) ve ekonomik kayıplara neden olabilecek kar ve rüzgâr zararlarının (Heinonen ve diğ., 2011) hesaba katılmasını içermektedir.

2.2.2. Planlama Hiyerarşisine Göre Optimizasyon

Planlama, karar verme sürecidir ve hiyerarşik planlama yaklaşımına göre bu süreç; stratejik, taktiksel ve operasyonel olmak üzere 3 düzeyde sıralanmıştır. En üst düzeyde hedefler ortaya konularak diğer düzeylerde kullanılacak kaynaklar belirlenir. Alt düzeylerde ise üst düzeyde belirlenen hedeflere ulaşmak için çeşitli faaliyetler gerçekleştirilir ve hedeflerin uygulanabilir olup olmadığı konusunda üst düzeylere geri bildirimde bulunulur (Demirci, 2010). Rönnqvist (2003), ormancılıkta optimizasyonunun kullanımına ilişkin yaptığı çalışmada orman tedarik zinciri (OTZ) için hiyerarşik planlama yaklaşımına bir düzey (online planlama) daha eklemiştir (Şekil 2.3 ve Tablo 2.3).

OTZ, Şekil 2.3'te gösterildiği üzere, ormanda maktada (genellikle bölmecik) başlar. Maktada, ağaçlar kesildikten sonra soyulur (genellikle ibrelilerde), dal ve budakları temizlenir ve en sonunda gövdenin boyuna, çapına ve kalitesine göre tomruklama işlemi yapılır (uzun boy tomruk, tel direği, kabuksuz kağıtlık, sanayi vb.). Nordik ülkelerde kullanılan hasat makineleri tomruklama işleminde karar vermede yardımcı olan bilgisayarlar ile donatılmıştır (Rönnqvist, 2003). Daha sonra bu tomruklar, yol kenarlarına sürütülür ve kamyonlara yüklenip orman deposuna ya da doğrudan hızar tesissine veya fabrikaya (genellikle dikili satışlarda) nakledilir. Buralarda işleminden geçen oduna dayalı orman ürünleri tüketicilere ulaştırılır.



Şekil 2.3: Orman tedarik zinciri (Rönnqvist, 2003).

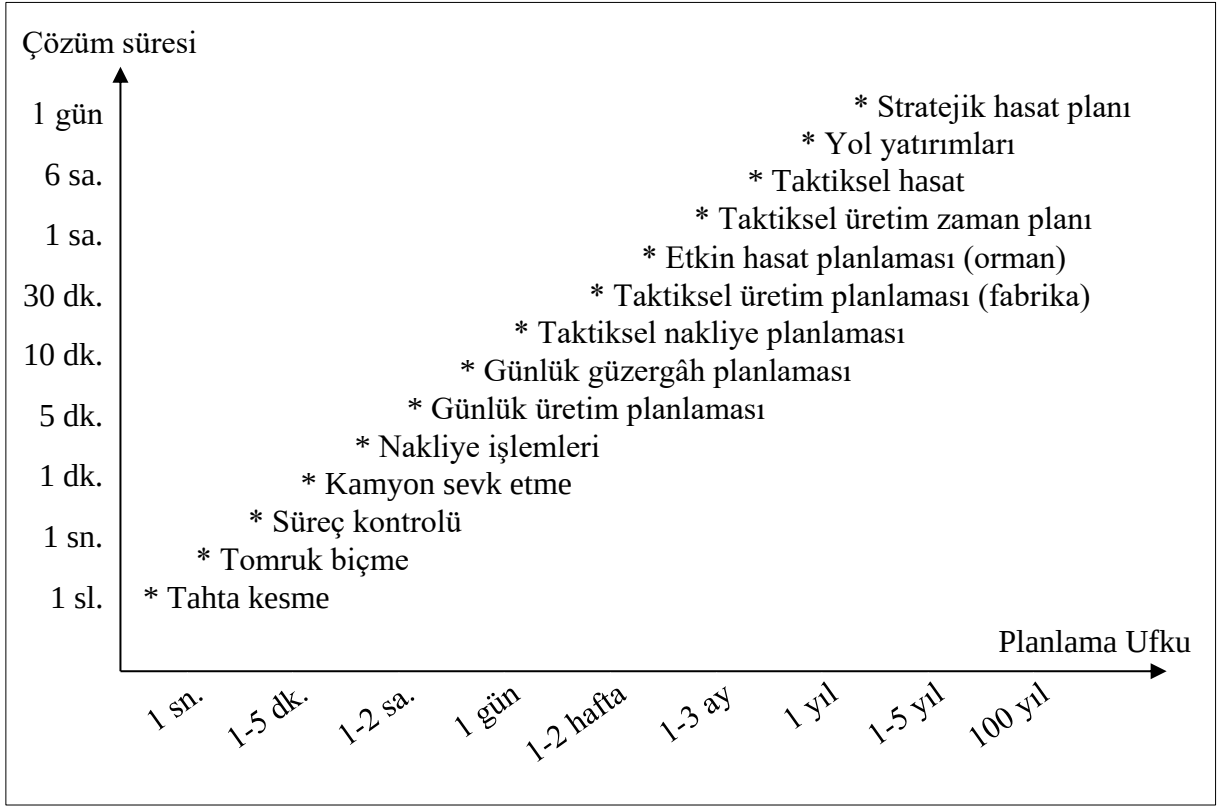
Tablo 2.3: OTZ’de planlama hiyerarşisi (Rönnqvist, 2003).

Planlama Düzeyi	Orman Yönetimi ve Ormanda Üretim	Nakliye ve Güzergâh Belirleme	Fabrikada Üretim
Stratejik planlama > 5 yıl	Dikim, değerlendirme, uzun vadeli hasat	Yol yapımı, büyük onarım, makine parkı yönetimi	Yatırım planlama
Taktiksel planlama ½ - 5 yıl	Yıllık hasat planları	Yol bakım-onarım, ekipman bakımı	Yıllık üretim planlaması
Operasyonel planlama 1 -180 gün	Ekip çalışma programı, üretim sıralaması	Havza alanları, dönüş nakliyesi planlama, zaman planlama	Parti boyutlandırma, zaman planlama
Online planlama < 1 gün	Tomruklama	Kamyon sevk etme	Süreç kontrolü, rulo kesme, çapraz kesme

Ormandan yapılan hasat işlemi yıla eşit şekilde dağılmamaktadır. Nordik ülkelerde ve ülkemizde hasat işlemi, toprağa ve fidanlara (genellikle boşaltma kesimlerinde) zarar vermemek için genellikle kış aylarında yapılır. Şili gibi bazı ülkelerde ise yazın yapılır (Rönnqvist, 2003).

Tablo 2.3’te sunulan planlama hiyerarşisine eklenmesi gereken pek çok planlama problemi mevcuttur ve ülkeye bağlı olarak bazıları planlama ufkunda yukarı veya aşağı kaydırılabilir. Stratejik, taktiksel ve operasyonel terimlerin kullanımı da planlama problemine ve ülkeye bağlı olarak farklılık arz edebilir. Optimizasyon teknikleri bu problemlerden sadece birisinin çözümünde kullanılabileceği gibi, yatay veya dikey iki problemin ortak çözümünde de kullanılabilir. Bouchard ve diğ. (2017) stratejik ve taktiksel planlama kararlarını entegre edip, entegre olmayan yaklaşıma kıyasla %13 civarında bir kâr artışı sağlamıştır. Burada bir diğer önemli husus, bilginin planlamada nasıl aşağıya doğru aktarıldığıdır. Bu yaklaşımda öncelikle stratejik plan optimize edilir ve daha sonra elde edilen bu stratejik çözüm taktiksel veya operasyonel planın ayrı bir optimizasyonunda bir kısıt olarak kullanılır (Rönnqvist, 2003).

Yukarıdaki planlama problemlerinin her biri için bir model oluşturmak ve daha sonra uygun bir çözüm metodu kullanarak modeli makul süreler içinde çözmek gerekir. Makul süreler, çözülecek problemin gerçek hayatta gerçekleşme süresi ve planlama ufku ile doğru orantılıdır (Şekil 2.4). Gerçek zamanlı işlemler için saliseler içerisinde modeli çözmek gerekirken entegre bir üretim ve nakliye planlamasına uygun bir çözüm bulmak için birkaç saat beklemek icap edebilir. Tablo 2.4’te bazı uygulamalar için planlama ufku, çözüm süresi ve kalitesi (en uygun, en uyguna yakın veya yüksek kalite) ile kullanılan modeller verilmiştir. Yüksek kaliteden kasıt, en azından deneyimli bir planlayıcının elle çözümü kadar kaliteli bir çözümdür (Rönnqvist, 2003).



Şekil 2.4: Bazı OTZ faaliyetleri için makul çözüm süreleri (Rönnqvist, 2005).

Tablo 2.4: OTZ’de kullanılan optimizasyon modelleri, çözüm süresi ve kalitesi (Rönnqvist, 2005; Bettinger ve diğ., 2009).

Uygulama	Plan Ufku	Çözüm Süresi	Kalite	Model
Tahta kesme	1 saniye	< 0,1 saniye	En uygun	Dinamik programlama
Kamyon sevk etme	5 saniye	< 1 saniye	Yüksek kalite	TP
Kamyon zaman planlama	1 gün	20 dakika	En uygunu yakın	TP
Yıllık planlama	1 yıl	1 saat	En uygunu yakın	TP
Taktiksel planlama	5 yıl	> 1 saat	Yüksek kalite	TP
Stratejik planlama	100 yıl	20 dakika	En uygun	DP

2.2.2.1. *Stratejik Planlamada Optimizasyon*

Orman ürünleri endüstrisinde stratejik veya uzun vadeli planlama gerçekten de çok uzun vadelidir. Örneğin, ormanın idare süresi 80 yıldan daha uzun olabilir veya yeni bir kâğıt fabrikasının ömrünün normalde 30 yıldan fazla olması beklenir. Bu nedenle stratejik kararlar arasında orman yönetimi stratejileri, silvikültürel müdahaleler, koruma alanları, yol yapımı, fabrikaların açılışı/kapatılması, proses yatırımları (makineler, nakliye araçları, bilgi teknolojileri), ürün ve pazarın geliştirilmesi ve orman depolarının konumları gibi konularda verilen kararlar yer alır (D'Amours ve diğ., 2008).

Orman amenajmanı açısından stratejik planlama, uygulanmak üzere belirlenen ormancılık faaliyetlerinin ekonomik, ekolojik ve sosyokültürel sonuçlarının uzun dönemli tahmin edilmesini içerir. Geleneksel olarak, ormancılıkta stratejik planlama, yönetim kararları ile odun sürekliliği veya ekonomik olarak uygulanabilirlik arasındaki etkileşimlere odaklanmış olmakla birlikte günümüzde birtakım ekolojik ve sosyokültürel kaygılar (yaban hayatı yaşam alanı, estetik, rekreasyon vb.) da stratejik planlamaya dahil edilmiştir (Bettinger ve diğ., 2017).

Stratejik planlama sürecinde çok büyük ölçekli üretim düzeyleri ve peyzaj düzeyindeki diğer konular ele alınır. Stratejik planlama problemlerinin çözümünde en çok kullanılan kantitatif yöntemler arasında DP ve simülasyon modelleri gelmektedir. Spectrum (Greer ve Meneghin, 2000) ve Woodstock (Walters, 1993) planlama modelleri, stratejik planlamada kullanılan bilgisayar yazılımlarına örnek olarak verilebilir.

Stratejik planlamada en çok kullanılan amaçlar arasında NBD, nakit akışı, net gelir ve üretilen odun miktarının en üst düzeye çıkarılması veya yaban hayatı yaşam alanı ve diğer ekolojik bozulmaların en aza indirilmesi yer almaktadır. Kısıtlar ise; arazinin çeşitli kaynak amaçlarına tahsis edilmesi, bütçe konusu, odun akışı ve ormancılık faaliyetlerine tahsis edilen arazi miktarıdır. OTZ'ye ilişkin genel bir stratejik orman planlama probleminin formülasyonu Şekil 2.5'de sunulmuştur (Bettinger ve diğ., 2017).

Stratejik Planlama

İndirgenmiş net geliri maksimize et!

Subject to:

- **Alan kısıtları:** Satın alınacak, kiralanacak veya satılacak olanlar da dahil olmak üzere her bir periyot için mevcut verimli alanların en alt ve en üst limitleri.
- **Hacim akış kısıtları:** Cıvarda başkaları tarafından satılanlardan alınabilecek olan miktarlar da dahil olmak üzere mevcut arazinin tamamı için yapılan üretim planının en alt ve en üst limitleri.
- **Nakit akış kısıtları:** Arazinin tamamının işletilmesi için gerekli nakidin en alt ve en üst limitleri.
- **Silvikültürel kısıtlar:** Uygun silvikültürel işlemlerin yapılabileceği alanların en alt ve en üst limitleri.
- **Yaban hayatı yaşam alanı kısıtları:** Yaban hayatı yaşam alanlarının çeşitli koşullarda korunması ve bakımının sağlanması için gerekli alanların en alt ve en üst limitleri.
- **Çap, boy ve kalite gruplarına göre odun akışı:** Çeşitli önemli müşteriler için üretilecek odun (kağıtlık, lif yonga vs.) ve tomruğun (tel direk, maden direği, uzun boy tomruk vs.) en alt ve en üst limitleri.

Şekil 2.5: OTZ'ye ilişkin genel bir stratejik orman planlama probleminin formülasyonu (Bettinger ve diğ., 2017).

Stratejik planlama düzeyinde optimizasyon konusunda son dönemde yapılan çalışmalara; Kong ve Rönnqvist (2014), Troncoso ve diğ. (2015) ile Borges ve diğ. (2017)'nin çalışmaları örnek olarak verilebilir. Kong ve Rönnqvist (2014) OTZ'de stratejik yönetim planı ile taktiksel üretim planı arasındaki koordinasyon mekanizmasını incelemek için ilk olarak KTP kullanarak hasat, tomruklama, nakliye, üretim ve satış kararlarını içeren entegre bir model geliştirmiştir. Troncoso ve diğ. (2015) orman endüstrisindeki değer zincirinin talebe dayalı entegrasyonun etkilerini göstermek için entegre bir planlama yaklaşımı önermiş ve bu entegre stratejiyi ayrıştırılmış strateji ile karşılaştırmak için bir KTP modeli geliştirmiştir. Borges ve diğ. (2017) ise üretim meşcerelerini kümeleme işini; “*bir bitişik hasat kümesi için makineleri hasat alanına nakletmek, makine ve işçilerin transfer nedeniyle bekleme süreleri, hasat yerinin belirlenmesi ve her hasat yeri için gerekli idari işlerin oluşturduğu sabit bir maliyet*” olarak tanımlanabilecek olan toplam açma maliyetlerini en aza indirmek suretiyle gerçekleştirmiştir. Stratejik plan modeli için TP kullanılmıştır.

2.2.2.2. *Taktiksel Planlamada Optimizasyon*

Orman amenajman planlarını hazırlarken ve uygularken, planlanan ormancılık faaliyetlerinin civardaki diğer kaynaklara ve faaliyetlere konumsal yakınlığına dikkat edilmemesi, arazide uygulama esnasında çeşitli sorunları beraberinde getirecek ve planlanan faaliyetlerin sonuçlarının tam olarak değerlendirilememesine sebep olacaktır. Stratejik planlamayı müteakiben, hiyerarşik planlama yapısındaki bir sonraki seviye olan taktiksel planlama, yönetim faaliyetleri arasındaki bu konumsal ilişkileri dikkate alır ve 1 yıldan 20 yıla kadar değişen süreleri kapsar. Taktiksel orman planları, ormanın formlarının ve önerilen ormancılık faaliyetlerinin konumsal ve zamansal dağılımını karakterize etmek için meşcere-tabanlı coğrafyayı ve detaylı büyüme ve artım bilgilerini kullanan planlardır. Dünya genelinde birçok orman şirketi, taktiksel planlar olarak düşünülebilecek 1-3 yıllık hasat planları geliştirmektedir (D'Amours ve diğ., 2008; Bettinger ve diğ., 2017). Ülkemizde ise bu planların süresi ağaç türüne göre 10 ile 20 yıl arasında değişmektedir.

Esasında taktiksel planlama; uzun dönemli ve kapsamlı stratejik planlama ile üretim zincirinde yer alan nakliyat kamyonu güzergâh planlaması ve üretim planlaması gibi faaliyetlere doğrudan etki eden, kısa dönemli ve daha detaylı operasyonel planlama arasında bir köprü vazifesi görmektedir (D'Amours ve diğ., 2008). Bu planlama seviyesinde yer alan konular genellikle stratejik planın nasıl uygulanacağı etrafında yoğunlaşır ve stratejik planlamada tanımlanmayan yönetim boyutlarını içerir. Önerilen ormancılık faaliyetlerinin, yaban hayatı yaşam alanlarının ve orman koşullarının orman peyzajındaki konumunu bulmak için stratejik planlardan elde edilen sonuçlar burada konumsal olarak bölümlere ayrılır. Örneğin; hasat alanı büyüklüğü veya şekli, dere kenarı yönetim alanları ve yaban hayatı yaşam alanları konumsal olarak bu planlama seviyesinde yer alır (Sessions ve diğ., 2007). Taktiksel planlama, planlanan bitki örtüsü üzerinde kalıcı bir etkiye sahip olabileceğinden, gelecekteki peyzaj desenlerini anlamak için çok önemlidir. Tüm bu konumsal hususlar planlama hiyerarşisinde ilk olarak ele alındığından ve bu konumsal hususlar geleneksel olmayan sonuçların değerlendirilmesine yardımcı olabileceğinden taktiksel bir orman planının amaçlarından birisi de yönetim faaliyetlerinin kümülatif etkilerini analiz etmektir. Bununla birlikte; su kalitesi, estetik, rekreasyonel değerler ve yaban hayatı yaşam alanı gibi odun dışı ürün ve hizmetlerin taktiksel bir planda dahi ele alınması zor olabilmektedir. Yönetim faaliyetlerinin uygulanmasıyla ilgili nihai hususları ele almak operasyonel plana bırakılmıştır (Bettinger ve diğ., 2017).

Stratejik planlamada olduğu gibi, taktiksel planlamada da en çok kullanılan amaçlar arasında NBD'nin, nakit akışının, net gelirin ve odun üretiminin en üst düzeye çıkarılması ile yaban hayatı yaşam alanı kalitesi ve diğer ekolojik değer bozulmalarının en aza indirilmesi yer almaktadır. Kısıtlar ise ormancılık faaliyetlerinin yeri ve zamanlaması, yaban hayatı yaşam alanının gelişiminin yeri ve zamanlaması, bütçe konuları, odun üretimi (tomruk sınıflarına göre) ve orman yönetim faaliyetlerine tahsis edilen arazinin büyüklüğüdür. Sonuç göstergeleri ise gelir, yaban hayatı yaşam alanı, emtia, su verimi, rekreasyonel fırsatlar, karbon emisyonu ve diğerlerini içerir. Bunlardan bazıları üst düzey yönetici ve arazi sahipleriyle yapılan istişareler sonucu elde edilmesine karşın, diğerleri (komşuluk ve erteleme süresi) yönetmelikler veya gönüllü sertifikasyon rehberleri aracılığıyla gündeme gelmektedir (Bettinger ve diğ., 2017).

Planlama hiyerarşisinde taktiksel planlamaya inildikçe veriler daha işlenmiş olur ve karar değişkenleri münferit üretim bölmeleri veya yol projeleri ile ilişkilendirilebilir ve farklı tamsayılı değişkenlerle temsil edilirler. Taktiksel planlamada en çok kullanılan optimizasyon yöntemleri ise KTP, TP ve sezgisel yöntemlerdir. OTZ'ye ilişkin genel bir taktiksel orman planlama probleminin formülasyonu Şekil 2.6'da sunulmuştur (Bettinger ve diğ., 2017).

Taktiksel planlama düzeyinde optimizasyon konusunda son dönemde yapılan çalışmalara Kangas ve diğ. (2014a), Demirci ve Bettinger (2015), Dong ve diğ. (2015), Borges ve diğ. (2017), Abasian ve diğ. (2017) ve Gautam ve diğ. (2017) tarafından yapılan çalışmalar örnek olarak verilebilir. Borges ve diğ. (2017) üretim meşcerelerini kümeleme çalışmasında daha önce kullandıkları stratejik plan modelinin bir uzantısı olan taktiksel modelde NBD ile toplam açma maliyetinin farkını en üst düzeye çıkarmıştır. Abasian ve diğ. (2017) OTZ'nin genel kârını en üst düzeye çıkaran kapsamlı bir model önermiştir. Bu entegre planlama problemi, yeni tesis ve teknoloji yatırımları da dahil olmak üzere stratejik kararlara ve iki yönlü nakliye ve değer zinciri boyunca lif yonga odunu akışını içeren taktiksel kararlara haizdir. Bu problemin çözümü için bir KTP modeli geliştirilmiştir. Gautam ve diğ. (2017) silvikültürel uygulamalardaki esnekliğin kâra etkisini incelemek amacıyla hiyerarşik orman yönetimi planlamasını modellemek üzere bir simülasyon-optimizasyon sistemi önermiştir. Bu sistem, hiyerarşik planlar geliştiren matematiksel modellerden oluşmaktadır. Sistemde ilk olarak yıllık etayı belirlemek için stratejik model çözülür. Sonra, taktiksel model, kesim bloklarını yıllara tahsis eder ve uygulanacak silvikültürel müdahaleleri belirler. Son olarak operasyonel seviyedeki model, mevcut talebin karşılanması için uygun planlar üretir.

Taktiksel Planlama

İndirgenmiş net geliri maksimize et!

Subject to:

- **Alan kısıtları:** Her bir bölme veya havzada satın alınacak, kiralanacak veya satılacak olanlar da dahil olmak üzere her bir periyot için mevcut verimli alanların en alt ve en üst limitleri.
- **Hacim akış kısıtları:** Civarda başkaları tarafından satılanlardan alınabilecek olan miktarlar da dahil olmak üzere mevcut arazinin tamamı için yapılan üretim planının en alt ve en üst limitleri (stratejik plana uygun olarak).
- **Nakit akış kısıtları:** Arazinin tamamının işletilmesi için gerekli nakidin en alt ve en üst limitleri.
- **Silvikültürel kısıtlar:** Uygun silvikültürel işlemlerin yapılabileceği alanların en alt ve en üst limitleri.
- **Yaban hayatı yaşam alanı kısıtları:** Her bir bölme veya havzada yaban hayatı yaşam alanlarının çeşitli koşullarda korunması ve bakımının sağlanması için gerekli alanların en alt ve en üst limitleri.
- **Çap, boy ve kalite gruplarına göre odun akışı:** Çeşitli önemli müşteriler için üretilecek odun (kağıtlık, lif yonga, vs.) ve tomruğun (tel direk, maden direği, uzun boy tomruk, vs.) en alt ve en üst limitleri.
- **Komşuluk ve erteleme süresi kısıtları:** Tıraşlama kesim yapılacak alan büyüklüğü ve kesim yapılacak alanların zaman planlamasına ilişkin limitler.
- **Üretim bölmeleri ile orman yolları bağlantısı kısıtları:** Orman yol ağının planlamaya entegre edilmesine ilişkin hususlar.

Şekil 2.6: OTZ'ye ilişkin genel bir taktiksel orman planlama probleminin formülasyonu (Bettinger ve diğ., 2009).

Bazı araştırmacılar (Bettinger, 2017) bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler sonucunda stratejik planlama ve taktiksel planlamanın birlikte değerlendirilebileceğini ifade etmektedir. Geçmişte bilgisayarların belleği ve işlemci hızı çok sınırlı olduğundan geniş alanları ve uzun planlama ufkunu kapsayan stratejik analizler, genelleştirilmiş (havza gibi genel konum dışında herhangi bir mekânsal ilişki olmadan katmanlara toplanmış) veriler kullanılarak yapılmaktaydı. Bugün ise hem stratejik ve hem de taktiksel seviye için aynı tip verileri kullanarak çok uzun zaman dilimleri için çok büyük alanları kapsayan taktiksel süreçleri (faaliyetlerin mekânsal konumu) modelleyebilmekteyiz. Bu nedenle, bazı durumlarda planlama hiyerarşinin bu iki düzeyi birleştirilebilir. Kısa süreler (günler, haftalar, aylar), gerekli detaylar (kişi sayısı, makine sayısı) ve bu kaynakların uzun süreler boyunca belirsizliği göz önüne alındığında operasyonel planlama seviyesi hala benzersiz görünmektedir (Bettinger, 2017).

2.2.2.3. Operasyonel Planlamada Optimizasyon

Planlama hiyerarşisinin en alt düzeylerinde yer alan operasyonel planlama diğer bir ifade ile kısa-dönemli planlama, üst düzeylerde belirlenen hedeflere ulaşmak için ihtiyaç duyulan ormancılık faaliyetlerini ve bu faaliyetlere kaynak dağılımını belirler (Bettinger ve diğ., 2017). Arazide bilfiil gerçekleştirilecek ormancılık faaliyetlerini planlayan bu süreç, faaliyetlerle ilgili bütün ayrıntılı gerçeği yeterince yansıtmalıdır (D'Amours ve diğ., 2008). Operasyonel planlama günlük, haftalık veya aylık faaliyet ve bütçe planlamasını kapsayabilir. Taktiksel planlar gibi operasyonel planlar da konumsal bilgiye ihtiyaç duyar. Ancak, taktiksel planlar genellikle ormancılık faaliyetlerinin nerede ve ne zaman gerçekleşeceğini belirtirler, faaliyetlerin nasıl yürütüleceğini belirtmezler (Epstein ve diğ., 2007; Bettinger ve diğ., 2017). OTZ'de gerçekleştirilecek faaliyetlerin kesin zamanlaması çok önemlidir. Bazı durumlarda belli bir faaliyetin gerçekleşmesi gereken hafta veya ayı bilmek yeterli değildir; süre, gün veya saat olarak tanımlanmalıdır (D'Amours ve diğ., 2008).

OTZ'de (bakım, hasat, nakliye, üretim ve dağıtım) yer alan ve operasyonel planlamaya konu olabilecek örnek bazı faaliyetler aşağıda sunulmuştur (Carlsson ve diğ., 2006; Epstein ve diğ., 2007; Bettinger ve diğ., 2017):

- Budama ve silvikültürel ödenekli sıklık bakımı faaliyetlerinde çalışanların planlanması
- Fidan dikimi faaliyetlerinin yeri ve zamanlaması
- Yaban hayatı yaşam alanlarının korunması
- Odun dışı orman ürünlerinin (mantar vb.) üretim yerlerine ilişkin en uygun kararlar
- Orman yolu yapım ve onarım planlaması
- Ayrıntılı günlük tomruk üretim planlaması
- En uygun tomruklama kararları
- Hasat makinelerinin ve personelinin yeri ve kullanımı
- Tomruğun maktadan depoya nakli için en uygun birincil nakliye güzergâhları
- Tomruğun depodan fabrikaya nakli için en uygun ikincil nakliye güzergâhları
- Kâğıt hamuru fabrikaları ve kâğıt makineleri için günlük üretim planları
- Fabrikadan dağıtım merkezlerine/müşterilere: günlük nakliyecisi seçimi ve yönlendirme
- Dağıtım merkezlerinden müşteriye: günlük nakliyecisi seçimi ve yönlendirme
- Nakliye aracı yükleri
- Online sipariş

DP ve dinamik programlama bu seviyede kullanışlı olmasına rağmen, bu problemleri çözmek için sezgisel teknikler daha yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Sessions ve diğ., 2007). Ayrıca bu düzeyde, yönetim alternatiflerini değerlendirmek için fayda maliyet analizi, iç verim oranı ve diğer ekonomik kriterler kullanılmıştır. Bu planlama seviyesinde en çok kullanılan amaçlar arasında maliyetlerin en aza indirilmesi, en uygun yolların belirlenmesi, NBD'nin en üst düzeye çıkarılması ile yaban hayatı yaşam alanı kalitesi ve peyzaj yönetimiyle ilişkili diğer ölçülebilir ekolojik değer bozulmalarının en aza indirilmesi yer alır. Kısıtlar arasında ise yönetim faaliyetlerinin yeri ve zamanlaması, habitat gelişiminin yeri ve zamanlaması, bütçe konuları, çap-boy ve kalitesine göre tomruk üretimi ve diğer lojistik kaygılar sayılabilir. Sonuç göstergeleri ise gelir, üretilen odun miktarı, yaban hayatı yaşam alanı kalitesi unsurları ve diğer ekolojik değerlerdir. Taktiksel planlamada olduğu gibi, bunlardan bazıları üst düzey yönetici ve arazi sahipleriyle yapılan istişareler sonucu elde edilmiş bazıları da yönetmelikler veya gönüllü sertifikasyon rehberleri aracılığıyla gündeme gelmiştir (Bettinger ve diğ., 2017).

Mevcut işçi ekiplerinin yapacağı ormancılık faaliyetini belirlemek ve bu faaliyetlerin hangi sırayla yapılacağını düzenlemek için yıllık bir operasyonel plan geliştirilebilir. Münferit işçi ekipleri farklı ormancılık faaliyetlerini yapmak için ayrılacağından, bu operasyonel planlama bir TP problemidir. OTZ'ye ilişkin genel bir operasyonel orman planlama probleminin formülasyonu Şekil 2.7'de sunulmuştur (Bettinger ve diğ., 2009).

Operasyonel Planlama

İndirgenmiş net geliri maksimize et!

Subject to:

- **Hacim akış kısıtları:** Taktiksel plana uygun olarak, her bir potansiyel müşteri için tomruk sınıflarına göre hacim hedefindeki en alt ve en üst sınırlar.
- **İşçi ekiplerinin çalışma kuralları:** Çalışılan en az hafta sayısı veya mevcut bir zaman diliminde kesintisiz çalışma saatleri ayarlayarak işgücünü en iyi şekilde değerlendirmek için işçileri ormancılık faaliyetlerine atama kuralları.
- **Yönetim faaliyetlerinin eksiksizlik kısıtları:** Tüm ormancılık faaliyetlerinin yıl boyunca uygulanması ve bir sonraki faaliyete geçmeden önce tamamlanması gerektiği konusunda dikkat edilmesi gereken hususlar.
- **İşçi ekiplerinin büyüklük kısıtları:** Bir ormancılık faaliyetinde çalışan ekiplerin maksimum sayısını aşmamasını sağlayan kurallar.

Şekil 2.7: OTZ'ye ilişkin genel bir operasyonel orman planlama probleminin formülasyonu (Bettinger ve diğ., 2009).

OTZ’de operasyonel planlar yıllık olabildiği gibi haftalık, günlük ve hatta saatlik de olabilir. Aylık planlar daha ziyade tomruk satışlarına yoğunlaşmıştır. Böyle bir planlama süreci, her bir meşcereden üretilecek tomruğun farklı müşteri siparişlerini karşılamak için nasıl satılacağını dikkate alan bir amaca sahiptir. Bu, tomruğa olan talebin tahminlerden gerçek siparişe dönüştüğü ilk planlama seviyesidir ve tomruğun temini bu ihtiyaçlarla tutarlı olmalıdır. Bu süreç için, çeşitli tomruk satış kurallarını temsil eden hacim tabloları oluşturulabilir. Bunlar halihazırda hasat edilen veya muhtemelen iki-üç ay içerisinde hasat edilecek meşcerelere uygulanır. Bu planlama problemi formülasyonu, belirli hasat birimlerine ayrı kesim programları atandığı ve üretilen tomruk hacmi de belirli müşterilere tahsis edildiği zaman bir tamsayı problemi haline gelecektir. Fabrikaların ihtiyaç duydukları tomruk, kağıtlık odun ve lif yonga odunu gibi orman ürünlerini haftalık olarak sipariş etmeleri durumunda, tedarik zincirindeki haftalık operasyonel planlama süreci aylık siparişlerde küçük düzeltmeler yapmak için kullanılır. Bu planlama düzeyi ayrıca, sipariş değişikliklerine bağlı olarak üretim düzeylerini ayarlamak için kullanılır (Bettinger ve diğ., 2009).

Son dönemde yapılan operasyonel planlamayla ilgili çalışmalara örnek olarak Marques ve diğ. (2014) ile Gautam ve diğ. (2017)’nin çalışmaları verilebilir. Marques ve diğ. (2014) çeşitli belirsizliklere sahip hasat ve nakliye operasyonlarının planlanması için optimizasyon tekniklerini ayırık olay simülasyonu modelleri ile birlikte kullanmıştır. Gautam ve diğ. (2017)’nin silvikültürel uygulamalardaki esnekliğin kâra etkisini incelemek amacıyla önerdiği simülasyon-optimizasyon sisteminin son aşamasında mevcut odun ham maddesi talebinin karşılanması için uygun planlar üreten operasyonel seviyedeki model yer almaktadır.

Bu araştırmalara ek olarak Malladi ve Sowlati (2017) ormancılıkta operasyonel düzeydeki nakliyat optimizasyonunun kapsamlı bir incelemesini sunmaktadır. Acuna (2017) ise orman endüstrisindeki nakliye ve biyokütle optimizasyonu hakkında kapsamlı bir analiz sunmuş ve karmaşık nakliye planlama problemlerini çözmek için DP modelleri ve algoritmaları da dahil olmak üzere çeşitli matematiksel çözümlerin detaylı bir açıklamasını yapmıştır. Ayrıca bu çalışmada, ormandan fabrikalara ve enerji santrallerine kereste ve biyokütle akışını optimize etmek için planlayıcılara yardımcı olmak ve nakliye kamyonlarını verimli bir şekilde planlamak için kullanılan MCPLAN ve FastTRUCK isimli iki KDS’nin analizi de yer almıştır.

2.2.3. Konumsal Açıdan Optimizasyon

2.2.3.1. Konumsal Olmayan Optimizasyon

Burada konumsal olmama durumu, herhangi bir meşcerenin müdahale görmesinin diğer meşcerelerin en uygun müdahaleyi görmesine konumu sebebiyle herhangi bir etkisinin olmaması durumudur. Yani orman plancısının örneğin her yıl eşit miktarda ürün elde etmek gibi bir amacı gerçekleştirmek için birbirine komşu olsun ya da olmasın meşcereleri aynı yılda kesilmesi için planlayabilmesi durumudur. Orman düzeyinde kullanılan diğer bazı amaçlar arasında en yüksek miktarda toplam hasılat, en yüksek miktarda gençleştirme sahası ve planlama periyodunun sonunda en düşük miktarda dikili servet veya varlık değeri yer alır. Doğal yaşlı orman gibi önemli yaban hayatı yaşam alanlarının miktarının en üst düzeye çıkarılması (Bettinger ve diğ., 2002) da bu amaçlara ilave edilebilir. Konumsal olmayan planlama problemlerin çözümünde DP etkin bir şekilde kullanılmaktadır (Heinonen, 2007).

2.2.3.2. Konumsal Optimizasyon

Son yıllarda uluslararası süreçlerin de etkisiyle yaban hayatı yaşam alanı, biyolojik çeşitlilik, iklim değişikliği, toprak ve su koruma gibi ekolojik konulara ilginin artmasıyla orman planlamada konumsal düzenlemelerin önemi de artmıştır. Modern konumsal optimizasyonda, meşcerelerin komşuluk ilişkileri hakkındaki bilgiler planlama modeline entegre edilir ve meşcerelerin arzu edilen konumsal düzenleri optimizasyon ile elde edilir. İstenilen konumsal düzen, konumsal amaçlar veya kısıtlar kullanılarak elde edilir. Konumsal amaçlar, optimizasyon hesaplamalarında meşcerelerin birbirlerine olan yakınlık, uzaklık veya komşuluk gibi durumlarını dikkate almayı gerektirir (Heinonen, 2007).

Konumsal orman planlaması, konumsal planlamada kullanılan bazı kavramlar, konumsal kısıtlar, konumsal planlama problemleri, konumsal kısıtların ekonomik etkileri ve konumsal planlamanın zorlukları bir sonraki bölümde detaylı bir şekilde incelenmiştir.

2.3. KONUMSAL ORMAN PLANLAMASI

Planlama hiyerarşisinin en üst düzeyde yer alan stratejik planlama süreçleri, genellikle konumsal kısıtları olmayan kolay planlama problemleri ile çözülebilen yaban hayatı yaşam alanı veya odun üretimi hacim hedefleri gibi uzun vadeli hedeflerin gerçekleştirilmesine odaklanır. Konumsal hedefler, geleneksel olarak planlama hiyerarşisinin daha düşük seviyelerinde karşımıza çıkar. Operasyonel planlama süreçleri ise işletme birimleri içindeki rampa ve yolların yerleştirilmesi gibi konuları işleyebilir. Genel olarak stratejik ve operasyonel ölçekler arasındaki bir yerde gerçekleşmekte olan ve genellikle arazi yönetimi faaliyetlerinin taktiksel planlaması olarak karşımıza çıkan konumsal orman planlaması, her iki tarafın özelliklerini de kullanmaktadır. Yani, her iki düzey planlama da uzun zaman çerçevelerini kabul eder ve hassas konumsal verileri kullanır. Bu duruma göre, plan hiyerarşisindeki ölçekler arasındaki farklar son yıllarda daha az belirgin olmaktadır (Sessions ve Bettinger, 2001; Bettinger ve Sessions, 2003).

Teorik olarak konumsal düzen; stratejik ve taktiksel orman planlarının geliştirilmesinde her zaman önemli bir faktör olsa da fiziksel olarak mekânsal kaygıların orman planlama yöntemlerine dahil edilmesi, son 30 yılda hızla gelişmiştir. Bu ilerleme, bilgisayar donanımı ve yazılım teknolojisi ile uydu teknolojisi ve CBS’de kaydedilen gelişmeler ve insanların ormanlardan olan ürün ve hizmet beklentilerinin değişmesiyle meydana gelmiştir. İlginçtir ki, orman yapısındaki değişiklikler küresel olarak gerçekleşirken, yönetim faaliyetlerinin zaman ve mekân düzenin yapılmasına dönük çalışmaların çoğu gelişmiş ülkelerde yapılmaktadır. Bu ülkelerdeki ormanla ilgili düzenlemeler ve ormanların sürdürülebilir olarak yönetimi için gösterilen gönüllü çabalar, konumsal orman planlama yaklaşımının ana nedenlerini oluşturmaktadır (Bettinger ve Sessions, 2003). Buna ek olarak, birçok yaban hayatı-yaşam alanı ilişkileri daha iyi anlaşılırken, bu ve benzeri diğer endişelerin değerlendirilmesi, konumsal orman planlama konseptlerinde de ilerleme kaydetmiştir (Shan ve diğ., 2009).

2.3.1. Konumsal Planlamanın Tanımı

Kadıoğulları (2009) konumsal planlamayı, “*birden fazla ve birbirleriyle çelişen amaçlar ile birlikte orman ekosisteminin konumsal yapısını tanımlayan ve kontrol eden bir modelleme yaklaşımı*” olarak tanımlamıştır. Burada ifade edilen ormanın konumsal yapısından, tanımlanan orman parçalarının orman ekosistemindeki alan, şekil ve coğrafi dağılım deseni anlaşılabilir. Konumsal parametreler, gençleştirme alanlarının (meşcereler), meşcere bakım bloklarının ve diğer orman alanlarının (yaban hayatı yaşam alanları) alan, şekil, coğrafi dağılımı, en büyük ve en küçük üretim alanı kısıtları, komşuluk ilişkileri, erteleme süresi, açma alanı kısıtları ve yakınlık gibi ölçütleri içermektedir (Kadıoğulları, 2009).

2.3.2. Konumsal Planlamada Kullanılan Bazı Kavramlar

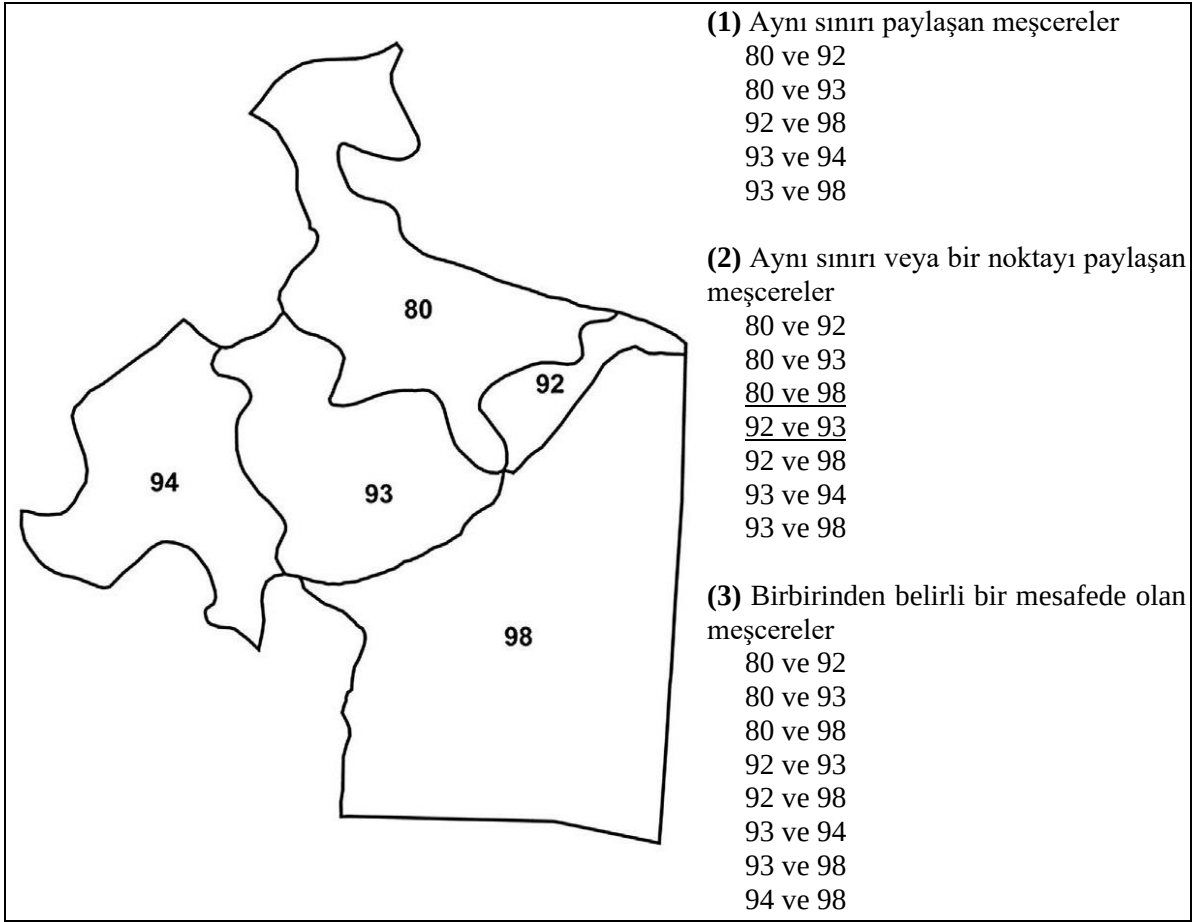
Konumsal planlama ile ilgili temel kavramlar arasında yakınlık mesafesi, komşuluk ve komşuluk mesafesi, kesim bloğu, erteleme süresi, açma alanı ve parçalılık indeksleri gibi çeşitli kavramlar yer almaktadır (Kadıoğulları, 2009). Bu tez çalışmasının konusu olan gençleştirme ve meşcere bakım problemlerinde kullanılan kavramlar ise komşuluk, erteleme süresi, tıraşlama kesim alanı büyüklüğü ve bakım bloğudur.

2.3.2.1. Komşuluk

Herhangi bir ormanda biyolojik çeşitliliğin ve yaban hayatı yaşam alanlarının korunması için büyük alanlarda tıraşlama kesimlerinden kaçınılması, optimizasyon modellerinde kesilecek meşcerelerin komşuluk ilişkileri ele alınarak sağlanmıştır. Komşuluk, bir meşcerenin diğer bir meşcereye konumsal yakınlığını ifade etmektedir. Genel olarak komşuluk, ortak bir sınırı veya noktayı paylaşan iki meşcere olarak tanımlanır; ancak iki meşcere arasındaki mesafeyi kullanarak da komşuluk tanımlanabilir (Murray, 2007). Bu çalışmada sadece aynı sınırı paylaşan meşcereler komşu meşcereler olarak değerlendirilmiştir (Şekil 2.8).

2.3.2.2. Erteleme Süresi

Ertelme süresi, “*gençleştirilen bir alanda gençliğin hayatiyetini devam ettirmesine kadar geçen süre*” veya başka bir ifade ile “*komşu blokların gençleştirilmesi için beklenmesi gereken süredir*”. Kızılçam gibi hızlı gelişen türlerde bu süre kısa olurken bazı yavaş büyüyen türlerde 2-3 periyota kadar uzamaktadır (Kadıoğulları, 2009). Bu süreler ABD’nin güneyinde 2-3 yıl, batısında ve Kanada’da 5-10 yıldır (Bettinger ve diğ., 2017). Bu çalışmada ertelme süresi 5 yıl olarak kabul edilmiştir.



Şekil 2.8: Komşuluk ilişkisinin üç farklı türü (Bettinger ve diğ., 2017).

2.3.2.3. Tıraşlama Kesim Alanı Büyüklüğü

Maktalı planlanan ormanlarda yürütülecek gençleştirme çalışmalarında tıraşlama metodunun uygulanması durumunda ekosistemin bozulmaması ve ekolojik dengenin devamı için tıraşlama kesimi yapılacak alanların belirli bir büyüklüğün üzerinde olmaması esastır. Komşuluk ve tıraşlama kesim alanı büyüklüğüne ait kurallar; kanunlar, yönetmelikler, gönüllü sertifika programları ve kuruluş politikalarından kaynaklanmaktadır (Bettinger ve Session, 2003). Örneğin ülkemizde mevzuat gereği (OGM, 2014b) hem tabii gençleştirme çalışmalarında ve hem de suni gençleştirme uygulamalarında (endüstriyel plantasyonlar hariç) en fazla 25 ha bir alanda tıraşlama kesime müsaade edilmektedir. Ormancılık mevzuatı ile müsaade edilen en yüksek tıraşlama kesimi büyüklüğü örneğin İsveç'te 20 ha (Dahlin ve Sallnas, 1993), ABD ulusal ormanlarında Douglas göknarında 24,3 ha ve diğer ağaç türlerinde 16,2 ha, Kanada'nın Britanya Kolumbiyası'nda sahil ve güney iç bölgelerde 40 ha ve kuzey iç bölgelerde ise 60 ha'dır. Washington ve Oregon eyaletlerinde 48,5 ha olan yasal sınır hükümet onayı ile 97 hektara kadar çıkmaktadır (McDermott ve diğ., 2010).

2.3.2.4. Bakım Bloğu

Meşcerelerin bakım kesimlerine olan gereksinimlerinin öncelik ve ivedilik derecesi, yol ve transport tesislerinin durumu ile ürünlerin değerlendirme imkânları dikkate alınmak suretiyle yıllık bakım blokları oluşturularak kesim planı düzenlenir. Orman işletmeleri yıllık bütçelerini düzenleyebilmeleri ve piyasanın ihtiyaçlarını karşılayabilmek amacıyla gerekli düzenleri yapabilmeleri için bakım bloklarından sağlanacak yıllık ara hasılat miktarının saptanmasını ve bu miktarın da her yıl az çok birbirine yakın olmasını isterler (Eraslan, 1982). Birbirine komşu ve yakın olan bölmelerin aynı bakım bloğunda yer alacak şekilde üretim planlarının yapılmasının çeşitli avantajları vardır. Bunlar arasında üretimde kullanılacak orman yollarının bakım ve onarımının daha az maliyetli olması; üretim araçlarının (paletli ağaç kesme ve boylama makinası, sürütme ve yükleme araçları vb.) daha verimli kullanılması; istihdam edilecek boylama, standardizasyon ve mesaha ekiplerinin planlanmasının daha kolay olması; satış, pazarlama ve nakliye işlemlerinin yürütülmesinin ve takibinin daha kolay olması; üretimde görev alacak üretim memuru ve varsa iş güvenliği uzmanının daha verimli çalışabilmesi gibi hususlar sayılabilir.

2.3.3. Orman Planlamasında Konumsal Kısıtların Kullanımı

2.3.3.1. Tıraşlama Kesimlerinde Komşuluk ve Erteleme Süresi

Ormancılık faaliyetlerinin zamanlamasını, kapsamını ve yerini kontrol etmek, işletilen ormanın konumsal özelliklerini bilmeyi gerektir ki mevcut durumda bu bilgiler CBS vasıtasıyla kolayca elde edilebilmektedir. Orman planlarında yer alan konumsal hususlardan komşuluk ve erteleme süresi, Kuzey Amerika, Avustralya ve Avrupa’da incelenen konumsal kısıtların en yaygın örnekleridir (Bettinger ve diğ., 2017). Komşuluk kısıtı, tıraşlama kesim yapılacak alanın büyüklüğünün kontrol edilmesini sağlar. Erteleme süresi ise komşu meşcerelerde yapılan tıraşlama kesimlerinin arasından belirli bir yılın geçmesini sağlar. Komşuluk kısıtı kullanmanın sebepleri arasında tıraşlama kesim alanı büyüklüğü üzerindeki sabit yasal sınırlar (O’Hara ve diğ., 1989; Dahlin ve Sallnäs, 1993; Weintraub ve diğ., 1994), yaban hayatı yaşam alanlarıyla veya biyolojik çeşitlilikle ilgili kaygılar (Weintraub ve diğ., 1994; Cyr ve diğ., 2016) ve tıraşlama kesimlerin komşu meşcerelere olan etkileri (Tarp ve Helles, 1997) yer almaktadır.

Özellikle tıraşlama kesimi yöntemiyle hasat yapılan alanların boyutunun kontrolü; yaban hayatı yaşam alanlarının, biyolojik çeşitliliğin ve ormanın estetik görünümünün korunmasının bir yolu olarak görülmektedir. Bununla birlikte, üretim alanlarının ormana hem konumsal olarak ve hem de zamansal olarak dağıtılması, orman kenarı uzunluğunun ve parçalanmanın artması gibi arzu edilmeyen sonuçlar da doğurmaktadır (Tarp ve Helles, 1997). Onun için hem çok küçük alanlarda ve hem de çok büyük alanlarda tıraşlama kesimi yapmaktan kaçınmak gerekmektedir.

Komşuluk ve erteleme süresinin orman amenajman planlamasında uygulanması sanıldığı kadar kolay değildir. Esasında bir orman amenajman planında üretime verilecek meşcerelerin belirlenmesi ve zaman planlamasının yapılması kapsamlı bir komşuluk ve erteleme süresi kısıt seti gerektirir. Orman planlamasında en çok kullanılan ve literatürde en çok yer alan iki tür komşuluk ve erteleme süresi modeli vardır: birim kısıtlama modeli (BKM) ve alan kısıtlama modeli (AKM). Her iki model de Murray (1999) tarafından detaylı bir şekilde açıklanmıştır. BKM, önceden planlanmış veya tıraşlama kesilmiş olan başka meşcerelere fiziksel olarak komşu olabilen (veya belirli bir yakınlıkta olan) bir meşcerenin kesilmesini önleyerek hasat faaliyetlerinin planlamasını yapmak için kullanılır. Burada komşu olan meşcerelerin büyüklükleri ve oluşacak tıraşlama kesim alanının büyüklüğü önemli değildir. AKM ise tıraşlama kesim yapılacak alan büyüklüğünü kontrol eder ve birlikte kesilmeleri halinde oluşacak alanın daha önceden belirlenmiş tıraşlama kesim alanı büyüklüğünü geçmemesi şartıyla komşu meşcereler de aynı yıl kesilmek için planlanabilir. Eğer meşcereler tıraşlama kesim için izin verilen alana oranla çok küçük ise BKM kısıtlarının kullanımı uygun değildir (Barrett ve Gilless, 2000). Buna karşılık meşcere boyutları müsaade edilen tıraşlama kesim alanı büyüklüğüne yakın büyüklükte ise AKM kısıtlarının kullanımı uygundur (Bettinger ve diğ., 2017).

Bir orman planlama probleminin (Carter ve diğ., 1997) komşuluk kısıtlarının genel matematiksel gösteriminde amaç fonksiyonu (Denklem 2.1); belirli bir süre boyunca bitişik meşcerelerin hasat edilmesini kısıtlayan komşuluk ve erteleme süresi kısıtları (Denklem 2.2); tamsayı değişken kısıtları (Denklem 2.3) ile sürdürülebilirlik ve eşit ürün akışı ile ilgili diğer kısıtlar yer alır. Model esasında aşağıdaki gibi formüle edilmiştir (Murray, 1998; Kurttila, 2001):

$$\text{Max } Z = \sum_i \sum_t r_{it} x_{it} \quad (2.1)$$

Subject to

$$x_{it} + \sum_{t'=t-p}^{t+p} x_{i't'} \leq 1 \quad \forall i', t' \in [N_i], \forall i, t \quad (2.2)$$

$$x_{it} = 0, 1 \quad \forall i, t \quad (2.3)$$

Burada; Z ormanın NBD'si, i ormandaki meşcereler ($i= 1, 2, \dots, I$), t zaman periyodu ($t= 1, 2, \dots, T$), x_{it} tamsayı karar değişkenleri (eğer meşcere i , t süresi boyunca hasat edilecekse x_{it} 1, aksi halde 0'dır), r_{it} meşcere i 'nin t döneminde hasat edilmesiyle ilişkili indirgenmiş net gelir, N_i meşcere i 'ye bitişik olan meşcerelerin seti ve p de erteleme süresidir.

Orman amenajman planlarının hazırlanmasında DP yaygın olarak kullanılmasına rağmen, DP ile elde edilen kesirli sonuçları kullanarak (örneğin, bir meşcerenin yalnızca bir kısmının hasat edilmesi durumunda), komşuluk ilişkilerinin plana yansıtılması mümkün değildir. Örneğin elde edilen sonuç bir meşcerenin %56'sının kesilmesini gösteriyorsa, o zaman bu meşcerenin hangi kısmının kesileceği veya komşuluk ilişkisinin dikkate alınacağı bilinemez. Onun için komşuluk ve erteleme süresinin olduğu bu tür orman planlama problemlerinin çözümünde ikili seçenekler (1-kes, 0-kesme) kullanılır. Bu tür ikili karar seçenekleri içeren konumsal orman planlama problemlerinin formüle edilmesinde ve çözülmesinde DP'den başka bir dizi matematiksel teknikler kullanılabilir. Bunlar DP tabanlı olan TP ve KTP ile MCS, TA ve TB gibi sezgisel yöntemlerdir (Bettinger ve diğ., 2017).

TP ve KTP, verilen kısıtlara tabi olarak bir problem için küresel en uygun sonucu bulabilir. Ancak meşcerelerin sayısı, zaman periyotları ve erteleme süresi arttıkça, Denklem (2.2)'deki tüm ilişkileri ifade etmek için gereken kısıtların sayısı da artar. Bu durumda problem; TP ve KTP teknikleri ile çözülmek için çok büyük olabilir. Bu sorundan kaçınmak için ya kısıtların sayısı azaltılır ya da sezgisel yöntemler kullanılır (Kurttila, 2001). Ancak sezgisel yöntemler, problem için en uygun çözümün bulunacağını garanti etmez. Bununla birlikte, karmaşık sorunlar için yüksek kaliteli çözümler bu yöntemlerle nispeten hızlı bir şekilde üretilebilir (Bettinger ve diğ., 2017).

2.3.3.2. Yaban Hayatı Yaşam Alanı Kalitesi

Çoğu zaman, yaban hayatı yaşam alanı yamalarını koruma ve geliştirme planlaması, planlama problemini konumsal bir perspektiften ele almamızı gerektirir. Uygun büyüklükte bir yaban hayatı yaşam alanının bir plan süresince mevcut olmasını sağlamak nispeten basit olabilir ve DP yöntemleri kullanılarak temin edilebilir. Bununla birlikte, belirli bir boyuttaki yaşam alanı yamalarının zaman içinde mevcudiyetinin sürdürülmesi o kadar da kolay değildir. Aynı zamanda belirli büyüklükteki bu yaşam alanı yamaların diğer yaşam alanlarına göre konumları ve uzaklıkları konusunda orman idarecilerini ve arazi sahiplerini temin etme kabiliyeti de kolay değildir. Bu hedefler, genellikle, daha önce açıklanan komşuluk kısıtları gibi kısıtların kullanılmasını sağlayacak ikili tamsayı karar değişkenlerini kullanmayı gerektirir. Konumsal yaban hayatı hedeflerinin orman planlama çabalarına entegrasyonu ile ilgili yapılan çok sayıda uygulama ve analiz mevcuttur (Bettinger ve diğ., 2017).

Toynaklı yaban hayvanlarının (Kanada geyiği ve karaca) yaşam alanı kalitesinin iyileştirilmesi için yeterli miktarda yem bitkisinin temin edilebileceği bir alanın ve bu hayvanların barınabileceği yeterli büyüklükte meşcerelerin müdahale görmeden korunması gerekir. Bu iki yaşam alanı; Kanada geyiği ve karaca için gıda ve koruma sağlama amacına hizmet eder. Gerçek bir geyik yaşam alanı kalitesi amacına, kızıl geyik (*Cervus elaphus* L.) yaz merası alanları için Wallowa-Whitman Ulusal Orman Planında (U.S. Department of Agriculture and Forest Service, 1990) yer alan yönetim talimatları örnek olarak verilebilir. Planda kızıl geyik yaz merası beslenme ve gizlenme alanlarının düzenlemesi için iki kural mevcuttur (Bettinger ve diğ., 1996; Bettinger ve diğ., 2017):

1. En az 2,4 ha büyüklüğündeki saklanma veya gölgelenme yamasına 183 m mesafede yer alan müdahale alanın (yemlenme alanı) en az %80'i muhafaza edilecek.
2. En az 16,2 ha büyüklüğündeki saklanma yamasına 274 m mesafede yer alan müdahale alanın (yemlenme alanı) en az %80'i muhafaza edilecek.

Bu koşullar oldukça karmaşık bir konumsal planlama problemi ortaya koymaktadır. Görülüyor ki burada yemlenme alanları oluşturmak ve sürdürmek için bir çeşit orman yönetimi faaliyeti gerekmektedir. Bu yemlenme alanları civarda bulunan gıda parselleri (tarımsal bitki örtüsü içeren alanlar) veya yakın zamanda tıraşlama kesimi yapılmış alanlar olabilir. Ancak bu tıraşlama kesimi yapılmış sahalar geçici bir süreliğine yemlenme alanı oluşturacaktır. Bu nedenle yemlenme alanının peyzaj içerisinde zamanla konumunun değişmesi gerekmektedir.

Gizlenme ve dinlenme alanları da Kanada geyiği ve karacanın hem gizlenebilmesi ve hem de soğuktan korunabilmesi için üst tabakayı oluşturan ağaçlardan ve alt tabakayı oluşturan diri örtüden oluşmalıdır (Bettinger ve diğ., 2017).

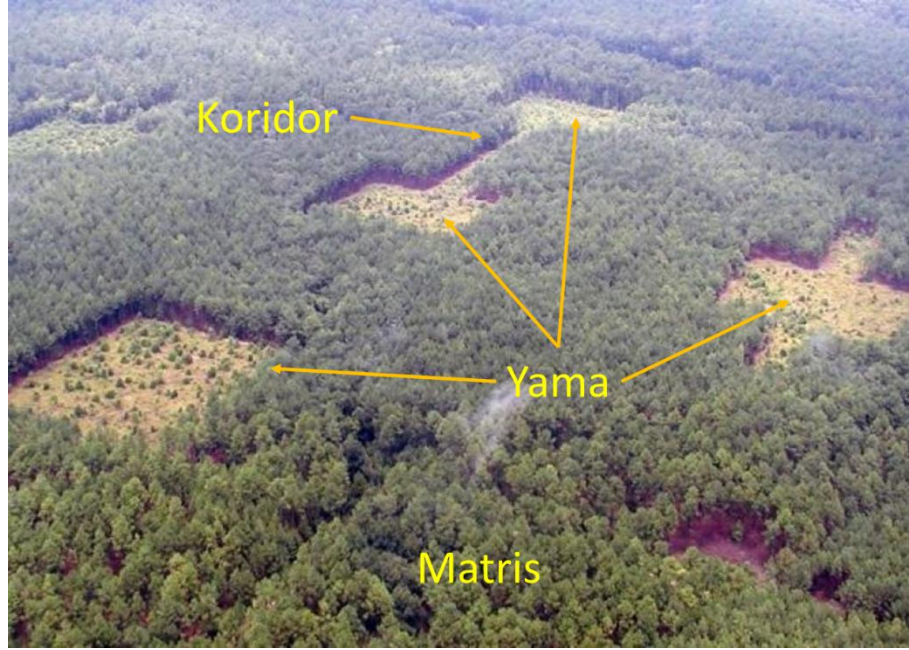
Geyik yaz merası yaşam alanının elde edilmesini ve bakımını açıklayan bu işlevsel ilişkiler doğrusal değildir. Böyle bir problemin çözümü imkânsız değilse de çok zordur. Zorluklar, her bir faaliyet planlanırken (örneğin hasat) planlama modelinin her bir hasat faaliyetinin (1) *orman örtüsüne olan mesafe*, (2) *eğer planlanan faaliyet gizlenme alanının oluşan büyüklüğünü etkilediyse oluşan büyüklük* ve (3) *elde edilen yemlenme alanının (hasat öncesinde ve hasat sonrasında oluşan) ne kadar ortaya çıkan gizlenme alanına olan en az mesafe içerisinde kaldığı* gibi hususlara olan etkisini değerlendirmesi gerektiği için ortaya çıkmaktadır. Bu kaygılar doğrudan stratejik bir orman planının geliştirilmesine dahil edilemediğinden, muhtemelen taktiksel veya operasyonel planlama düzeylerinde (hasat uygulaması zamanında veya öncesinde) veya bir eylem planı geliştirildikten sonra değerlendirilebilir. Bu tür karmaşık konumsal problemlerin çözümünde sezgisel yöntemlerden de istifade edilebilir. Bettinger ve diğ. (1997) bu kuralları bir orman planına entegre etmek için TA yöntemini önermiştir.

Orman planlamasına yaban hayatı türlerine özgü hedefleri dahil edebilmek için popülasyon gelişimi ile ormancılık faaliyetleri arasında bir bağlantı kurmak gerekir. Popülasyon gelişimi, konumsal olmayan orman ve meşcere düzeyindeki değişkenlere bağlı olduğu kadar yaşam alanı yamalarının boyutu, biçimi ve nispi düzenlemeleri ile de yakından ilişkilidir. Hof ve Joyce (1992) arazi tahsisinde karşılaşılan sorunların tek bir periyotta konumsal düzenini oluşturan iki doğrusal olmayan formülasyon sunmuştur. Odun üretimiyle ilgili amaçlara ek olarak, bazı yaban hayatı yaşam alanı gereksinimleri de parametrelerle ifade edilerek bu modellere dahil edilmiştir. Modellerin sonuçları, hasat edilen odun miktarı ile bayağı çakır kuşu (Atmacagiller familyasından), geyik ve ağaç sansarlarının sayısı hedeflerini içeren temel amaç fonksiyonunun ağırlıklarını değiştirerek gösterilmiştir. Bayağı çakır kuşlarının sayısı toplam kenar uzunluğuna bağlıyken, ağaç sansarlarının sayısı doğal yaşlı orman alanının büyüklüğüne ve doğal yaşlı ormanlar arasındaki mesafeye bağlıdır. Geyik sayısı ise toplam doğal yaşlı orman alanı, bu alana belli mesafedeki açık yemlenme alanı ve doğal yaşlı ormanlar arasındaki mesafeye bağlıdır (Kurttila, 2001). Hof ve Joyce (1992)'in yaptığı uygulamalar, bahsedilen yaban hayatı türleri için farklı yaşam alanı gereksinimlerine yanıt olarak, peyzaj üzerinde kesimlerin farklı konumsal dağılımlarının yanı sıra farklı kesim boyutlarının seçimini de göstermektedir.

Yaban hayatı yaşam alanı kalitesi konusunda yapılan diğer çalışmalara da burada kısaca değinmek gerekir. Hof ve diğ. (1994) yaban hayatı popülasyonlarının hem konumsal ve hem de zamansal gelişimiyle ilgili arazi yönetimi önlemlerini en uygun hale getiren dinamik çok dönemli bir KTP yaklaşımı sunmuştur. Bettinger ve diğ. (1998) su yaşam alanı kalite hedeflerini arazi yönetim planlaması modeline dahil etmiştir. Bettinger ve diğ. (1999) Roosevelt geyiği (*Cervus elaphus roosevelti* Merriam) için bir Habitat Etkililik İndeksini matematiksel bir orman planlama modelinin amaç fonksiyonuna dahil eden bir yöntem geliştirmiştir. Bettinger ve diğ. (2002) üç çok zor yaban hayatı yaşam alanı problemini sekiz farklı sezgisel yöntem kullanarak çözmüştür. Pukkala ve diğ. (2005) farklı çok zor beş orman planlama probleminin çözümünde altı farklı sezgisel optimizasyon tekniğinin performansını incelemiştir. Bu beş farklı problemin amaç fonksiyonunda altı adet orman yönetim amacı yer almıştır. Bu amaçlardan altıncısı, uçan sincapların yaşam koşullarını iyileştirmeyi hedeflemektedir. Liu ve diğ. (2017) karbon tutumu ve emisyonunu dikkate alan konumsal aralama kesimi probleminin modellendiği çalışmada yaban hayatı yaşama alanı ve ekolojik koruma için komşu iki meşcerede aynı anda seyreltme kesimi yapılmamasını bir kısıt olarak kullanmıştır.

2.3.3.3. Peyzaj Düzeyinde Yaklaşımlar

Peyzaj esas olarak orijin, canlılık, boyut, şekil ve konumsal yönelim bakımından farklı yamalardan oluşan ve yapısal işlevi olan ekolojik birimlerdir (Forman ve Godron, 1981). Matris, yama ve koridorlar peyzaj desenini oluşturan ana unsurlardır (Şekil 2.9). Peyzaj matrisi kendi içerisinde benzer ekosistem, yapı veya vejetasyon örtüsü özelliklerini barındıran geniş alanları kaplamaktadır. Peyzaj matrisi, peyzajın ana iskeletini oluşturur ve bu iskelet üzerinde peyzaj yama ve koridorları yer alır. Peyzaj yamaları, kendisini çevreleyen matristen farklı bir yapıda olan, kendi içerisinde nispeten homojen daha küçük birimlerdir. Peyzaj yamasının vejetasyon örtüsü, matrise göre farklılık arz eder. Tür kompozisyonlarındaki farklılaşmalar ile matristen ayrılır. Peyzaj koridorları, iki farklı peyzaj yamasını birbirine bağlayan, sucul veya karasal karakterdeki şerit halinde uzanan parçalardır (Odum ve Barrett, 2008). Koridorlar, yapı itibarı ile kendilerini çevreleyen yamalardan farklı özellik gösterirler. Bir dere yatağı peyzaj koridoruna örnek olarak verilebilir (Güngör, 2011). Aynı şekilde orman patika ve yolları da koridor özelliği taşımaktadırlar.



Şekil 2.9: Yama, koridor, matris modeli.

Peyzaj yapısından elde edilen parametreleri ve bu parametrelere dayanan göstergeleri kullanarak peyzaj deseni konumsal olarak incelenebilir. Yama düzeyinde kullanılan sayısal değerler kenar uzunluğu, çekirdek alan büyüklüğü ve en yakın komşuya mesafe gibi parametrelere ait değerlerdir. Daha sonra yama düzeyindeki bu sayısal değerler toplam kenar uzunluğu, toplam çekirdek alan büyüklüğü ve en yakın komşuya olan ortalama mesafe gibi toplam ve ortalama değerler olarak peyzaj düzeyinde kullanılabilir (Kurttila, 2001).

Literatürde farklı konumsal orman planlaması (kesim) stratejilerinin sonuçlarının peyzaj düzeyinde karşılaştırıldığı çalışmalar mevcuttur (Franklin ve Forman, 1987; Gustafson ve Crow, 1996). Kesim planlarının uygulanması ile peyzajda birtakım değişiklikler meydana gelir ve bu değişiklikler birkaç gösterge aracılığıyla ölçülebilir. Kesimlerin tahsisi genelde konumsal kurallar uygulayarak ancak optimizasyon kullanılmadan gerçekleştirilir. Bununla birlikte, bu stratejilerin sonuçları, alternatif faydalanma durumlarına göre ormanların konumsal yapısının nasıl değiştiğini göstermektedir (Kurttila, 2001).

Öhman ve Eriksson (1998) tarafından çekirdek alan kavramı, bir peyzajda doğal yaşlı ormanlardan bitişik alanlarının oluşturulması için bir kriter olarak test edilmiştir. Çalışma TB kullanılarak eşit uzunluklarda 10 periyottan fazla bir planlama ufku ve 200 meşcereden oluşan yapay bir peyzaj kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Burada amaç her bir periyotta istenilen büyüklükte çekirdek alan elde ederek orman yönetimi faaliyetinin NBD'sinin en üst düzeye

çıkarılmasıdır. Yaşam alanı yamalarının bağlantıları Sessions (1992) tarafından modellenmiştir. Burada amaç, yaban hayatı için tahsis edilen alanlar arasında bir nevi koridor vazifesi görecektir olan meşcereleri belirleyip onları hasat etmemektir. Williams (1998) korunan yaban hayatı yaşam alanı koridorlarının oluşturulmasında çok amaçlı programlamayı kullanmıştır. Williams (1998) koridorların oluşturulmasından doğan masrafları en aza indirmenin yanı sıra, koridor sistemi içindeki uygun olmayan araziye de en aza indirmiştir (Kurttila, 2001).

Pukkala ve diğ. (1997) tarafından yapılan ve Kangas ve Pukkala (1996)'nın çalışmasının bir uzantısı niteliğinde olan çalışmada, orman ve meşcere düzeyinde biyolojik çeşitlilik, optimizasyon için kullanılır hale getirilmiş ve taktiksel orman planlamasında açık bir amaç olarak kullanılmıştır. Orman seviyesindeki biyolojik çeşitliliğin kullanılır hale getirilmesinde ölü odun hacmi, geniş yapraklı ağaç hacmi ve doğal yaşlı ormanın alanı gibi konumsal olmayan, gösterge niteliğinde ve ölçülebilir özellikler kullanılmıştır (Kurttila, 2001).

Pukkala ve diğ. (1995) bir orman alanının hoşluk değerini; doğal güzellikleri ve rekreasyonel değeri için elde ettiği puanlara, meşcerelerinin görünürlüğüne ve erişilebilirliğine ve bir bütün olarak değişkenliğine bağlı olarak belirlemiştir. Burada gaye; ormanın hoşluk değerini çok amaçlı orman planlamada amaç değişkeni olarak kullanmak için işlevsel hale getirmektir. Çalışmada karar kriteri olarak kullanılmak üzere bir hoşluk indisi oluşturulmuştur. Daha sonra çalışma, hoşluk amacının meşcerelerin kesim planlamasına nasıl etki edeceğini görmek için bir örnek ormana uygulanmıştır.

De-Miguel ve diğ. (2014b) model tabanlı bir senaryo analizi yoluyla ormancılık faaliyeti yoğunluğunun peyzaj düzeyinde mantar verimliliği üzerine etkisini öngörmeyi amaçlamıştır. İlginç bir şekilde ormancılık faaliyeti yoğunluğu arttıkça mantar verimliliğinin de arttığı sonucuna varmışlardır. Marshalek ve diğ. (2014) TP modeli kullanarak peyzajların ekolojik özelliklerinin koruma sonuçlarını nasıl etkilediğini, özellikle tropik ormanları göz önüne alarak araştırmıştır. Jafari ve diğ. (2017) korunan alanların uygun maliyetli bir şekilde korumasını planlamak için çok dönemli bir KTP modeli önermiştir. Amaç, planlama ufkunun sonunda toplam koruma değerini en üst düzeye çıkarmaktır. Görüldüğü üzere peyzaj düzeyinde konumsal optimizasyonun kullanımı biyolojik çeşitliğin korunmasından, odun dışı orman ürünlerinin verimliliğine kadar uzanmaktadır.

2.3.4. Konumsal Planlama Problemleri

Orman amenajman planlamasındaki konumsal problemler kabaca iki kategoriye ayrılabilir: dağıtma (yayma) ve bir araya toplama problemleri. Bu iki ana kategoriye ek olarak, belirli bir yaban hayatı türünün gereksinimlerini karşılamak için ormanın konumsal yapısını düzenlemeyi gerektiren üçüncü bir konumsal planlama problem türü daha tanımlanabilir. Yaban hayatı türlerine özgü yaklaşımların geliştirilmesi hususu, Bettinger ve diğ. (1997), Hof ve diğ. (1997), Bevers ve Hof (1999) ve Hof ve diğ. (1999)'nin yaptığı çalışmalardan incelenebilir (Öhman, 2001).

2.3.4.1. Dağıtma (Yayma) Problemleri

Dağıtma problemleri; tıraşlama kesimi yapılacak meşcereler ve değişik yaban hayatı yaşam alanları gibi belirli özelliklere sahip konumsal öğelerin orman peyzajı içerisinde birbirinden belirli uzaklıklarda tutulmasına odaklanır (Öhman, 2001). Dağıtma problemlerinde amaç, belli özellikleri olan meşcereleri birbirinden ayrı tutmaktır. Temel dağıtma problemi tıraşlama kesim alanı ve tıraşlama kesimlerin zamanlaması için kısıtlar içermektedir (Brumelle ve diğ., 1998; Boston ve Bettinger 2001). Belirli büyüklükteki tıraşlama kesimler bitişik meşcerelerde olmamalıdır (Heinonen, 2007). Yani burada temel amaç, büyük alanlarda tıraşlama kesim yaparak biyolojik çeşitliliği ve yaban hayatı yaşam alanlarını olumsuz etkilememek için belirli bir yıl boyunca (örneğin 3-5 yıl) birbirine komşu olan meşcerelerde tıraşlama kesim yapmamaktır.

Komşuluk ve erteleme süresinin kısıt olarak kullanıldığı birçok çalışma burada örnek olarak verilebilir. Liu ve diğ. (2017) karbon tutumu ve emisyonunu dikkate alan konumsal aralama (ferahlandırma, seyreltme) kesimi probleminin modellendiği çalışmada yaban hayatı yaşama alanı ve ekolojik koruma için komşu iki meşcerede aynı anda seyreltme kesimi yapılmamasını bir kısıt olarak kullanmıştır. Qin ve diğ. (2017) orman karbonu ile orman yönetimi amaçları arasındaki dengeye karbon fiyatlarının etkilerinin değerlendirildiği çalışmada mevzuat ile müsaade edilen en yüksek tıraşlama kesimi büyüklüğünü aşmamak için komşuluk kısıtını kullanmıştır. Augustynczyk ve diğ. (2015) Taeda çamı ve okaliptüs türlerinin oluşturduğu 236 meşcereli bir orman için, klasik optimizasyon kısıtları ile birlikte AKM ve BKM kısıtlarını da kullanarak en uygun orman planı yapmayı amaçlamışlar ve mevzuata uygun en yüksek hasat alanı büyüklüğüne kadar tıraşlama kesime müsaade ederek daha yüksek kârlılık sağladığı için AKM yaklaşımının çalışmaları için en uygun kısıt olduğunu savunmuşlardır.

2.3.4.2. Bir Araya Toplama Problemleri

Bir araya toplama problemlerinde amaç, belli özellikleri olan meşcereleri bir araya toplamaktır. İskandinav ülkelerinde en çok kullanılan bir araya toplama problemi, ormanın parçalanmasının azaltılmasıdır (Öhman, 2000, Öhman ve Eriksson 2002). Ekolojik açıdan, doğal yaşlı ormanların bir araya toplanması faydalıdır. Bu, örneğin, toplam doğal yaşlı orman alanı ile toplam doğal yaşlı orman çekirdek alanı (Öhman, 2000) arasındaki farkın en aza indirilmesi veya bitişik doğal yaşlı orman meşcereleri arasındaki sınırın en üst düzeye çıkarılması yoluyla elde edilebilir. Demirci ve Bettinger (2015) aynı yıl bakım görececek bölmelerinin ağırlık merkezleri arasındaki toplam (DBM) ve ortalama mesafeleri (DOBM) hedef değer civarında tutarak bakım blokları oluşturmuştur.

Benzer bir çalışmada Augustynczyk ve diğ. (2016) bir ağaçlandırma sahasında kesilecek meşcereleri bir araya toplayarak kesim blokları oluşturmuştur. Bunun için iki farklı yöntem kullanmıştır. İlk yöntemle bir meşcere kesildiğinde çevresinde aynı yıl içerisinde kesilmeden kalacak meşcere sayısının toplamı en aza indirilmiştir. Böylece aynı yıl kesilecek komşu meşcere sayısı en fazla yapılmıştır. İkinci yöntemle de aynı yıl kesilecek bitişik meşcereleri birbirine bağlayan kenarların toplamı en fazla yapılmıştır. Her iki yöntem ilk olarak bir DP modeliyle çözülmüştür. Daha sonra bu yöntemler AP modelleriyle de çözülmüştür. Burada AP modeline NBD ilave edilmiştir. İlk AP modelinde hedef NBD'den ve kesilmeden kalacak meşcere sayısından olan sapmalar en aza indirilmiştir. İkinci AP modelinde ise NBD'den ve komşu meşcere sayılarından olan sapmalar en aza indirilmiştir.

Pascual ve diğ. (2016) uzaktan algılama yöntemlerinin orman ekosistemindeki farklılıkları tespit etme kapasitesinin artması nedeniyle, artık bölmelerin zamanla değişebilen ve yönetim hedeflerine bağlı olan geçici birimler olarak görülebileceğini savunmuş ve bu geçici birimlerin kullanıldığı dinamik işlem birimleri olarak adlandırılan bir metodoloji sunmuştur. Kompakt hasat blokları oluşturmak için yapılan bu çalışmada uzaktan algılama teknikleri, modelleme, simülasyon ve konumsal optimizasyon teknikleri kullanılmıştır. Bu çalışmada, kullanılan amaçlar; (i) üçüncü 10 yıllık dönemin sonunda servetin en üst düzeye çıkarılması, (ii) her 10 yıllık dönemde 10.000 m³'lük ürün elde edilmesi; (iii) kesilen komşu meşcerelerin sınırlarının en üst düzeye çıkarılması ve (iv) kesilmeyen komşu meşcerelerin sınırlarının en aza indirilmesidir. Kullanılan optimizasyon algoritması, belirlenmiş çevre içindeki aday çözümleri kontrol eden TB'dir.

Yoshimoto ve diğ. (2017) TP kullanarak hasat edilecek meşcereleri en uygun bir şekilde bir araya getiren bir formülasyon sunmaktadır. Çalışmada amaç fonksiyonu olarak planlama ufku boyunca hasat faaliyetlerinden elde edilen toplam kârın NBD'sinin en üst düzeye çıkarılması yer almaktadır. Kısıtlar arasında ise arazi kısıtı, hasat akışı ve aynı dönemde iki bitişik meşcerenin hasat edilmemesi için konumsal kısıtlar yer almaktadır. Çalışmada yer alan yaklaşım dört aşamadan oluşmaktadır: (i) meşcereleri bir araya toplamak için -çözüm araştırması başlamadan önce tanımlanmış olan- aday “*toplu birimlerin*” oluşturulması ve karar değişken matrisinin tanımlanması, (ii) temel ve toplu birimler kümesi için komşuluk kısıtlarının geliştirilmesi, (iii) temel ve toplu birimler arasında örtüşen bir ilişki getirerek arazi kısıtının geliştirilmesi ve (iv) meşcerelerin bir araya toplanmasını sağlayan problemin formüle edilmesi. Bu yaklaşım, yalnızca yönetimin verimliliğini artırmak için küçük üretim alanlarının bir araya toplanması için değil aynı zamanda yaban hayatı yaşam alanlarının korunması için doğal yaşlı orman gibi belirli bir vejetasyon özelliklerine sahip birimlerin bir araya toplanması için de uygulanabilir özelliktedir.

2.3.5. Konumsal Kısıtların Ekonomik Etkileri

Komşuluk ve erteleme süresi kısıtları konumsal planlamada en çok kullanılan kısıtlardır. Bu kısıtlar doğrudan tıraşlama kesim alanının büyüklüğüne etki ettiği için dolayısıyla planın ekonomik değerine de etki etmektedir. Araştırmalar, tıraşlama kesimi alanının büyüklüğü küçüldükçe orman planlarının ekonomik değerinin azalma eğiliminde olduğunu göstermektedir (Borges ve Hoganson, 1999). Daha büyük tıraşlama kesim alanı; orman idarecilerine, üretim faaliyetlerinin konumsal ve zamansal düzenlemesinde daha fazla esneklik sağlayarak daha yüksek ekonomik kazanç ve odun üretimi imkânı sunmaktadır. Bunun tersine, orman planı değerindeki azalmalar, en düşük hasat alanı boyutu kullanıldığında ortaya çıkabilir ve bu da uygun olmayan hasat seçeneklerinin planlanmasına sebep olabilir. Bu tür konumsal kısıtların maliyeti, genellikle, herhangi bir kısıtın kullanılmadığı potansiyel bir planın değerinin %3'ünden %20'sine kadar değişmektedir (Jamnick ve Walters, 1993; Bettinger ve diğ., 2017).

Diğer bazı çalışmalarda konumsal kısıtların ekonomik etkisi bu aralığın biraz dışına çıkmıştır. Örneğin Kanada'da üç farklı erteleme süresi (10, 20 ve 30 yıl), üç farklı tıraşlama kesim alanı büyüklüğü (20, 40 ve 80 ha) ve üç farklı idare süresi (80, 100 ve 120 yıl) kullanılarak farklı üretim kısıtlarının ekonomik maliyetleri karşılaştırılmıştır (Daust ve Nelson, 1993). En küçük tıraşlama kesim alanı büyüklüğü ve en uzun erteleme süresi, DP ile herhangi bir konumsal kısıt

kullanılmadan elde edilen en uygun sonuca nazaran üretilen odun hacminde %29'luk bir azalmaya sebep olmuştur. ABD'nin Oregon bölgesinde erteleme süresinin 20 yıldan 30 yıla çıkarılması NBD'nin %34-40 azalmasına sebep olmuştur (Yoshimoto ve Brodie, 1994). Yine ABD'de (Kaliforniya) yapılan diğer bir çalışmada 4 ha büyüklüğünde bit tıraşlama kesim alanı büyüklüğü için erteleme süresinin 10 yıldan 20 yıla çıkarılması NBD'yi %13 civarında düşürmüştür. Tıraşlama kesim alanı büyüklüğü 32 ha'a çıkarılınca erteleme süresinin artmasıyla oluşan fark da küçülmüştür (Barrett ve diğ., 1998). ABD'de (Georgia) nispeten kısa idare süresine sahip çam ağaçlandırma sahasında erteleme süresinin 3 yıldan 2 yıla indirilmesi NBD'yi çok az etkilemiştir (Boston ve Bettinger, 2001).

2.3.6. Konumsal Planlamanın Zorlukları

Konumsal planlamanın zorluklarını aşağıdaki şekilde özetleyebiliriz (Feunekes, 2017):

- Çok büyük veri setleri kullanılmaktadır.
- Çok çeşitli bilgi/veri gereksinimi vardır ve bunların entegrasyonu da zordur.
- Çoğunlukla çözülen problemler çok karmaşıktır ve bunların çözümü farklı disiplinlerden uzmanlık gerektirir.
- Zamansal meseleler: gelecek projeksiyonları ve gelecekteki belirsizlikler.

Bütün bunları birlikte değerlendirerek konumsal planlamanın çok zor ve karmaşık bir süreç olduğunu rahatlıkla söyleyebiliriz. Bununla birlikte şunu da fark etmeliyiz ki bazen bu zor ve karmaşık problemlerin çözümünde tek başına ne matematiksel optimizasyon yöntemleri yeterli olabilir ne de sezgisel yöntemler. Aslında optimizasyon kullanarak çözmeye çalıştığımız her bir model gerçek hayattaki bir problemin basitleştirilmiş halidir. Farkında olmamız gereken diğer bir husus da büyük bir modelin her şeyi çözemeyeceğidir. Matematiksel yöntemler çoğunlukla sezgisel yöntemlerden daha iyidir.

2.4. ORMAN PLANLAMADA KULLANILAN OPTİMİZASYON YÖNTEMLERİ

Orman düzeyinde optimizasyonda en çok kullanılan yöntemler ve bu yöntemleri kullanan araştırmalar aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- **KTP:** Nordström ve diğ., 2013; Garcia-Gonzalo ve diğ., 2014; Wei ve diğ., 2014; Wikström ve diğ., 2011; Korosuo ve diğ., 2011; Garcia-Gonzalo ve diğ., 2013; Strimbu ve diğ., 2010; Costa ve diğ., 2010; Kangas ve diğ., 2014a; Fonseca ve diğ., 2012; Kašpar ve diğ., 2015; Öhman ve diğ., 2011; Flisberg ve diğ., 2014; Öhman ve Eriksson, 2010; Moreira ve diğ., 2013; Tóth ve diğ., 2013; Tóth ve diğ., 2012; Manning ve McDill, 2012; Li ve diğ., 2010; Borges ve diğ., 2014.
- **DP:** Wikström ve diğ., 2011; Korosuo ve diğ., 2011; Garcia-Gonzalo ve diğ., 2013; Strimbu ve diğ., 2010; Chen ve Chang, 2014; Hahn ve diğ., 2014; Mäkelä ve diğ., 2011; Hennigar ve diğ., 2011; Ponce ve diğ., 2010; Borges ve diğ., 2014; Bergseng ve diğ., 2012; Lappi ve Lempinen, 2014; Aldea ve diğ., 2012; Augustynczyk ve diğ., 2016; Petridis ve diğ., 2017.
- **AP:** Garcia-Gonzalo ve diğ., 2013; Chen ve Chang, 2014; Maroto ve diğ., 2013; Aldea ve diğ., 2014; Silva ve diğ., 2010; Chen ve diğ., 2011; Marinescu ve Maness, 2010; Zengin ve diğ., 2015; Demirci ve Bettinger, 2015; Bagdon ve diğ., 2016.
- **Sezgisel yöntemler:** Kangas ve diğ., 2014a; Borges ve diğ., 2014; Zhai ve diğ., 2014; Konoshima ve diğ., 2010; Fotakis ve diğ., 2012; Kangas diğ., 2014b.
- **DOP:** Hahn ve diğ., 2014; Soltani ve diğ., 2015.
- **Diğer yöntemler:** Chen ve diğ., 2011; Neuner ve diğ., 2013; Sims, 2014

Bu tez çalışmasında DP'nin bir versiyonu olarak geliştirilen AP (Charnes ve diğ., 1955; Charnes ve Cooper, 1961) kullanılacağı için bu bölümde ağırlıklı olarak DP, KTP, TP, DOP ve AP modellerinden bahsedilecektir.

2.4.1. Doğrusal Programlama

2.4.1.1. Doğrusal Programlamanın Doğuşu ve İlk Uygulamalar

Aslında bir doğrusal eşitsizlik sisteminin çözümü Fransız matematikçi ve fizikçi Fourier (1826 ve 1827)'in çalışmalarına kadar dayanmaktadır. Genellikle, Fourier (1827)'in bu yayını DP hakkında yapılan ilk çalışma olarak kabul edilir. 1939'da Rus matematikçi Leonid Vitaliyevich Kantorovich kaynak dağılımı problemleri için çeşitli DP formasyonları sunarken, aynı dönemde Hollandalı ekonomist Tjalling Charles Koopmans, klasik Walrasian ekonomisinde ortaya çıkan sorunlar için DP modelleri geliştirmiştir. İkinci Dünya Savaşı sırasında askeri planlama problemleri için çeşitli DP modelleri tasarlanmış ve çözülmüştür. 1941'de Frank Lauren Hitchcock ulaştırma problemlerini doğrusal program modelleri olarak formüle etmiş ve daha sonraki yıllarda geliştirilecek olan Simpleks yöntemine çok benzer bir çözüm önermiştir (Schrijver, 1998). Nihayet 1947'de George Bernard Dantzig, DP'de etkili bir çözüm tekniği olan simpleks yöntemini geliştirmiştir (Murty, 2010). Simpleks yönteminin keşfinin bilgisayarın icadıyla aynı döneme denk gelmesi, hesaplamaların bilgisayar kullanılarak yapılabilmesini ve büyük ölçekli gerçek hayat problemlerinin çözümünde bu yöntemin kullanılmasını mümkün kılmıştır. O zamandan beri DP teoride ve uygulamada çok hızlı bir gelişim kaydetmiştir. 1960'ların sonunda, ilk yazılım paketleri de piyasaya çıkmaya başlamıştır. Günümüzde DP problemleri 1985'den yaklaşık 1.000.000 kat daha hızlı çözülebilmektedir. Dahası, 200.000'den fazla değişken ve kısıta sahip modeller günümüzde kolaylıkla çözülebilmektedir (Sierksma, 2001).

DP'nin orman planlamada ilk kullanımına Theiler (1959), Curtis (1962), Loucks (1964), Kidd ve diğ. (1966), Ware ve Clutter (1971) ve Navon (1971)'un çalışmaları örnek olarak verilebilir. Genel olarak bu çalışmalar en uygun meşcere (bakım ve gençleştirme) müdahalelerinin ve hasat programlarının sistematik olarak seçilmesine yardımcı olmak için geliştirilmiştir. Bu çalışmaların amaç fonksiyonunda ise nispeten uzun süreler boyunca NBD'nin ve hasat hacminin en üst düzeye çıkarılması ile maliyetin en aza indirilmesi yer almıştır (Hotvedt, 1983). DP'nin orman planlamada kullanılmaya başlamasının ilk yıllarında en çok bilinen DP tabanlı orman planlama sistemleri arasında ise Timber RAM (Navon, 1971), MaxMillion (Ware ve Clutter, 1971) ve FORPLAN (Hoekstra ve diğ., 1987) yer almaktadır (García, 1990).

2.4.1.2. Doğrusal Programlamanın Tanımı ve Matematiksel İfadesi

DP, orman amenajman planlamasında en yaygın kullanılan optimizasyon yöntemidir. DP'nin ana fikri, sınırlı kaynakları en iyi şekilde tahsis etmektir (Kangas ve diğ., 2015). Genel bir DP modeli bir amaç fonksiyonu, bir veya daha fazla kısıt ile hesaplama satırlarından oluşur (Bettinger ve diğ., 2009). Buradaki amaç fonksiyonu ve bütün kısıtlar doğrusaldır (Zhang ve diğ., 2015).

DP, “doğrusal denklemler ve eşitsizlikler kullanılarak ifade edilebilen problemlere en uygun çözümleri bulmak için kullanılan matematiksel bir teknik” olarak tanımlanabilir. Gerçek dünyadaki bir problem şayet doğrusal matematiksel denklemler ile düzgün bir şekilde gösterilebilirse, DP yöntemi problemin en iyi çözümünü bulacaktır (McDill, 1999).

DP yönteminde, bir planlama probleminin çözümünü en üst düzeye çıkaracak (veya en aza indirecek) olan ve amaç fonksiyonu aşağıdaki gibi yazılır (Kangas ve diğ., 2015):

$$\text{Max } Z = \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (2.4)$$

Denklem 2.4'teki amaç fonksiyonu belli kısıtlara tabidir. Bu kısıtlar Denklem 2.5'deki gibi çıktı kısıtları olabileceği gibi, Denklem 2.6'da gösterildiği gibi girdi kısıtları da olabilir:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \geq b_i, i = 1, \dots, q \quad (2.5)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i, i = q + 1, \dots, q \quad (2.6)$$

Kısıtlar genelde eşitsizlikler olarak ifade edilir, ancak eşitlik kısıtları (yani $\leq$ ya da $\geq$ yerine $=$ kullanılan kısıtlar) da kullanılabilir. Buna ek olarak, DP formülasyonu negatif olmama kısıtlarını da içermektedir:

$$x_j \geq 0, \forall j = 1, \dots, n \quad (2.7)$$

Yukarıdaki formüllerdeki her x_j , çözülecek bir karar değişkenidir. Orman planlama problemlerinde karar değişkeni x_j genellikle alan (ha) veya alternatif (faaliyet) j ile işlem gören alanın oranıdır. Katsayı c_j , bu alanın (genellikle bir meşcere) alternatif j ile muamele edildiğinde amaç değişkeni ne kadar ürettiğini ifade eder. Örneğin, eğer planlamada amaç, geliri en üst

düzeye çıkarmaksa ve müdahale alternatifleri de tıraşlama kesimi veya aralama kesimiye katsayı c_j , sırasıyla tıraşlama kesimi veya aralama ile hektar başına elde edilecek geliri (TL/ha) ifade eder. Şayet karar değişkeni bir oran ise c_j , mevcut alan başına elde edilecek olan para (TL) miktardır (Kangas ve diğ., 2015).

DP problemlerinde yer alan çıktı kısıtlarının (Denklem 2.5) sağ taraf sabiti (b_i), karar vericinin talep ettiği en az emtia i miktarını ifade eder. Çıktı kısıtlarına örnek olarak en az belli bir değerin üzerinde olması istenilen ağaç servetinin miktarı (m^3) verilebilir. Öte yandan, girdi kısıtlarının (Denklem 2.6) sağ taraf sabiti (b_i) ise, karar vericinin belirli bir girdiyi ne kadar çok kullanabileceğini veya kullanmaya istekli olduğunu gösterir. Girdi kısıtları için örnek olarak karar vericinin ormancılık faaliyetlerinde kullanmak istediği çalışma saatlerinin miktarı (adam/ay veya adam/gün) verilebilir. Denklem 2.5 ve 2.6'daki katsayı a_{ij} ise j faaliyeti (aralama, tıraşlama kesimi vb.) ile işlem gören alanın ne kadar emtia ürettiğini veya kullandığını ifade eder (Kangas ve diğ., 2015).

Orman amenajman planlaması problemlerinde en belirgin girdi kısıtı mevcut alanlardır ki farklı alternatiflerle işlem gören toplam alan miktarı, mevcut alana eşit olmalıdır (veya oranların toplamı 1 olmalıdır). Alan kısıtlarında eşitsizlik yerine eşitlik kullanılır. Son olarak, tüm karar değişkenlerinin negatif olmaması gerekir (Kangas ve diğ., 2015).

Tüm kısıtları karşılayan herhangi bir çözüm, “*uygun (makul)*” bir çözüm olarak adlandırılır. Uygun çözümler, kısıtlarla sınırlandırılan ve uygun bir bölge olarak adlandırılan bir bölgededir. Uygun çözümler arasında en iyi çözüm “*en uygun*” olarak adlandırılır. DP’de, benzersiz bir en uygun çözüm bulunuyorsa, bu her zaman uygun bölgede bir köşe noktasıdır (Kangas ve diğ., 2015). DP problemlerinde uygun çözüm birden çoktur. Fakat genelde en uygun çözüm bir tanedir (Bayraktar ve Çebi, 2003).

2.4.1.3. Doğrusal Programlamanın Varsayımları

DP ile tutarlı sonuçların elde edilmesi bazı varsayımlara bağlıdır. Bu varsayımlar gerçekleşmedikçe DP amaca uygun sonuç vermez (Gürdoğan, 1981). Bu varsayımları aşağıdaki şekilde özetleyebiliriz (Bayraktar ve Çebi, 2003; Bolayır, 2016):

- **Orantısallık (*Proportionality*):** Her bir karar değişkeninin amaç fonksiyonuna ve kısıt denklemlerinin sol tarafına yapacağı katkı karar değişkeninin değeri ile orantılıdır (Bayraktar ve Çebi, 2003).

- **Toplanabilirlik (Additivity):** Bu varsayım değişik üretim faaliyetlerine kaynak olan üretim faktörlerinin toplamının her bir işlem için ayrı ayrı kullanılan faktörlerin toplamına eşit olduğunu gösterir (Gürdoğan, 1981).
- **Bölünebilirlik (Divisibility):** Belirlilik varsayımı ile karar değişkenlerinin sürekli değerler alabileceği kabul edilir. Örneğin herhangi bir DP modelinin çözümünde 3,7 adet araba üretilceği gibi bir üretim sonucuna ulaşılabilir. En uygun çözüme ulaşıldıktan sonra kesirli değerler TP algoritmalarıyla tamsayılaştırılabilir (Bayraktar ve Çebi, 2003).
- **Belirlilik (Certainty):** Bir DP modelinde yer alan parametrelerin bilindiği ve değişmediği kabul edilir. Yani, birim başına kâr veya maliyetlerin, her faaliyet için gerekli olan kaynak miktarlarının ve mevcut kaynak miktarlarının sabit olduğu varsayılır (Bayraktar ve Çebi, 2003).
- **Doğrusallık (Linearity):** İşletmenin girdileriyle çıktıları arasında doğrusal bir ilişkinin bulunduğunu gösterir. Yani çıktı veya üretim seviyesi artırılınca, üretime giren girdilerin aynı oranda artması gerekir. Bu varsayım girdiler ve çıktılar arasındaki ilişkilerin doğrusal eşitlik veya eşitsizlikler halinde olması gerektiğini gösterir. (Gürdoğan, 1981). Bir DP modelinin amaç fonksiyonu ve kısıt denklemleri doğrusal olmalıdır. Bir başka deyişle x_j 'ler birinci dereceden olmalıdır (Bayraktar ve Çebi, 2003).
- **Negatif olmama (Non-negativity):** DP'deki tüm değişkenlerin negatif olmayan değerler alması gerekmektedir. Negatif üretimden söz edilemeyeceği için değişkenlerin pozitif ya da en azından sıfıra eşit olması gerekmektedir (Gürdoğan, 1981).
- **Sınırlılık (Finiteness):** Üretimde kullanılan kaynaklar sonsuz değildir. Sınırlılık varsayımı aslında üretim miktarının sınırlı olduğunu ve üretime giren faktörlerle veya girdilerle kısıtlandığını ifade etmektedir (Gürdoğan, 1981).

2.4.1.4. Genel Bir Doğrusal Programlama Modelinin Çözüm Yolları

Bir DP probleminin kısıt fonksiyonlarının hepsini birden sağlayan karar değişkenlerinin ($x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$) oluşturduğu kümeye “çözüm” denir. Negatif olmama koşulunu sağlayan çözüme ise “uygun çözüm” denir. Amaç fonksiyonuna en iyi değeri (en küçük veya en büyük) sağlayan çözüme de “en uygun çözüm” denir (Özden, 2015). Genel bir DP problemi için değişik çözüm teknikleri geliştirilmeye çalışılmıştır. Ancak temel olarak iki yoldan çözülebilir. Bunlar; grafik ve simpleks çözüm tekniğidir (Gürdoğan, 1981).

2.4.2. Karışık Tamsayılı Programlama

KTP aslında DP'nin bütün özelliklerine sahiptir. Tek fark KTP'de bazı değişkenlerin tamsayılı değer almasıdır. Örneğin, DP kullanılarak, herhangi bir alan ve odun hacmi kısıtı olmadan arazi sahibinin ormandan kazanabileceği en yüksek gelirin NBD'si 1.153.553 dolar olsun. Bu rakam elde edilirken bazı karar değişkenleri 0,35 gibi bir değer alabilir. Bu değer, o meşcerenin %35'inin kesileceği anlamına gelmektedir ki arazide bunu uygulamak mümkün değildir. Bu yüzden orman planlama problemlerinde bazı karar değişkenlerinin 0 (kesme) ve 1 (kes) gibi ikili tamsayı olması istenir. KTP'de tamsayılar 0, 1, 2, 3, 4, gibi genel tam sayılar da olabilir.

KTP'nin çözümünde yaygın olarak dal-sınır algoritması (Türkay, 2011) ve kesme düzlemi yöntemleri kullanılır (Bettinger ve diğ., 2009).

2.4.3. Tamsayılı Programlama

KTP'de olduğu gibi TP de DP'nin bütün özelliklerine sahiptir. TP'yi diğerlerinden ayıran özellik, bütün değişkenlerinin tamsayı olmasıdır. Yine KTP'de olduğu gibi TP'nin çözümünde de yaygın olarak dal-sınır algoritması ve kesme düzlemi yöntemleri kullanılır (Bettinger ve diğ., 2009).

2.4.4. Doğrusal Olmayan Programlama

DOP'da amaç fonksiyonu ve/veya kısıtlardan bazıları doğrusal değildir. Optimizasyon sonucunda amaç fonksiyonunu eniyileyecek karar değişkenleri, x , n boyutlu uzayda herhangi bir gerçek değeri alabilirler (Türkay, 2011):

$$Z_{max} = f(x) \quad (2.8)$$

$$s. t. \quad g(x) = 0 \quad (2.9)$$

$$h(x) \leq 0 \quad (2.10)$$

$$x \in \mathcal{R}^n \quad (2.11)$$

2.4.5. Amaç Programlama

2.4.5.1. Amaç Programlamanın Tanımı ve İlk Uygulamalar

Ekonomik açıdan en üst düzeyde gelir veya en alt düzeyde gider sağlayan bir model çözümü, diğer disiplinlerde olduğu gibi ormancılıkta da her zaman kabul görmüştür. Ormancılıkta en üst düzeyde faydalanma amacı; orman ekosisteminin dengesini bozmadan ve ormanın üretim kapasitesinde bir azalmaya neden olmadan var olan ormanlardan çok amaçlı yararlanma ilkesine göre olabildiğince sürekli bir şekilde yararlanmak olduğundan, orman işletmesi tek bir amacı en üst düzeye çıkaran veya en alt düzeye indiren çözümlere değil, birden fazla amacı birlikte sağlayan en uygun çözümlere yönelmiştir (Halaç, 1982). AP de çok amaçlı karar vermede kullanılan yöntemlerinin başında gelmektedir (Mısır, 2001).

TDK (2006) amacı “*ulaşmak istenilen sonuç, maksat*” olarak tanımlarken hedefi de “*varılacak yer, ulaşılabacak son nokta*” ve “*yapılması tasarlanan iş, amaç*” olarak tanımlamıştır. Tanımlardan da anlaşılacağı üzere dilimizde amaç ve hedef kelimeleri çoğu kez eş anlamlı olarak kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında “*hedef programlama*” yerine “*amaç programlama*” teriminin kullanılması tercih edilmiştir.

Literatürde AP ile ilgili birçok tanım mevcuttur. Bunlardan bir kısmı aşağıda sunulmuştur (Özkan, 2014):

- AP, belirlenen kısıtlar altında, amaç fonksiyonunu doğrudan en üst düzeye çıkarmaktan ve en alt düzeye indirmekten daha çok; hedeflerin kendi içinde sapmalarını en az kılmayı konu alan bir tekniktir.
- AP, hedefler ve bu hedefler arasındaki sapmaları en az yapmayı amaç edinen bir tekniktir.
- AP, çok sayıda hedefin veya amacın bulunduğu DP problemlerinin çözümü için geliştirilmiş bir tekniktir (Halaç, 2001).
- Çok amaçlı problemlerin çözümü için geliştirilen AP, birden fazla hedefin aynı anda ele alınmasına imkân sağlayan bir tekniktir (Akman, 2009).
- AP, çok sayıda hedef veya amaçların bulunduğu DP problemlerine uygulanan bir yöntemdir. Doğrudan amaçları optimize eden DP modelinden farklı olarak, hedef değerler ve gerçekleşmiş sonuçlar arasındaki sapmaları minimize ederek, çatışan amaçları yönetmek amacıyla kullanılır (Gülenç ve Karabulut, 2005).

Kısacası AP, olgun bir problem çözme tekniğidir. Bu tekniğin temel unsurları Charnes ve diğ. (1955) tarafından DP'ye bir alternatif olarak geliştirilmiştir. “*Amaç programlama*” terimi ilk olarak Charnes ve Cooper (1961) tarafından *Yönetim Modelleri ve Doğrusal Programlamanın Endüstriyel Uygulamaları* isimli ders kitabında kullanılmıştır. Charnes ve diğ. (1968a, 1969, 1971a ve 1971b) AP yaklaşımı kullanarak, ABD Deniz Kuvvetleri Sivil İşgücü Yönetimi Dairesi'nin iş gücü planlaması için bir model geliştirmiştir. Ijiri (1965)'nin Yönetim Hedefleri Kontrol Muhasebesi isimli yazısı ve Lee (1972)'nin Karar Analizi İçin AP isimli çalışması 1960'lı yılların sonlarında ve 1970'li yılların başlarında AP konusundaki ana referanslardan bazılarıdır. Charnes ve diğ. (1968b ve 1968c) AP'nin medya planlamasına uygulanması ile geliştirilmiş açıklayıcı bir örnek yayınlamıştır. Lee (1971) AP'nin televizyon montaj problemine farazi (hipotetik) uygulamasına basit bir örnek sunmuştur. Lee ve diğ. (1971) AP'yi akademik kurumların personel ihtiyaçları için sınırlı bütçelerin tahsisinde kullanmıştır. Lee ve Clayton (1972) ticari bankalar için etkin portföylerin seçiminde bu tekniği kullanmıştır. Courtney ve diğ. (1972) AP'yi bir metropoliten alanda nüfusun yerleşmesi problemine uygulamıştır.

2.4.5.2. Amaç Programlamanın Ormancılıkta Kullanılması Örnekleri

Literatür çalışmasından anlaşıldığına göre Rustagi (1973) ve Field (1973) tarafından yapılan çalışmalar AP'nin ormancılıkta kullanımına ilk örneklerdir. Rustagi (1973) doktora tezi olarak kereste üretimi için orman amenajman planlamasında AP yaklaşımının kullanımını çalışmıştır. Field (1973) AP modelinin teknik detaylarını ortaya koymuş, modelin yayınlanmış kullanımlarını yorumlamış ve modelin bir orman yönetim problemine uygulamasını göstermiştir. AP'nin ormancılıkta kullanımına öncülük eden diğer bazı çalışmalar şunlardır (Demirci ve Bettinger, 2015):

- Ağaç ıslahı programlarının verimliliğinin analizi (Porterfield, 1973 ve 1974).
- AP'nin orman endüstrisinde farazi bir muhasebe sorununa uygulanması (Lyon, 1974).
- AP'nin rekreasyon alanların ve kırların planlanmasında kullanımı (Romesburg, 1974).
- ABD Orman İdaresi tarafından yayınlanan AP kullanım kılavuzu (USDA Forest Service, 1974).
- ABD'de ulusal orman planlaması (Schuler ve Meadows, 1975) ve arazi kullanım planlaması kararlarının analizi (Bell, 1975).

- Bottoms ve Bartlett (1975) AP'yi çok amaçlı bir arazi kullanım planlamasına uygulamıştır (Yılmaz, 2004).
- Bell (1976) ulusal orman yönetim planlamasında hem DP'nin ve hem de AP'nin uygulanmasını incelemiştir.
- Bare ve Anholt (1976) üretim artıklarının bertarafı ve gençleştirme alternatiflerinin belirlenmesinde AP'yi kullanmıştır.
- Bartlett ve diğ. (1976) AP'nin arazi kullanım planlamasındaki alternatif stratejileri sınamadaki çok yönlülüğünün, bu tekniğin DP'den ayrılan özelliği olduğunu belirtmiştir. Çalışmada otlatma, madencilik, tarım ve rekreasyon gibi farklı arazi kullanımlarının entegre yönetimine dönük bir örnek ortaya konmuştur (Yılmaz, 2004).
- Schuler ve diğ. (1977) ABD'de Mount Hood ulusal ormanında 4.047 ha büyüklüğünde bir orman parçası için DP kullanarak bir orman amenajman planı hazırlamıştır.
- Dane ve diğ. (1977) çok amaçlı arazi kullanım planlamasına yönelik olarak büyük bir AP modeli (32 satır ve 785 sütun) geliştirmiştir. Çalışmada ele alınan hususlar; rekreasyon, avlanma, odun üretimi, otlatma ve sediment verimidir. Amaçlar, kısıtlar ve bunlara ait ağırlıklar değiştirilmek suretiyle çok sayıda alternatif arazi kullanım senaryosu geliştirilmiş ve farklı amaç önceliklerine göre arazi tahsisinin niçin ve nasıl değiştiğine yönelik değerlendirmeler yapılmıştır (Yılmaz, 2004).
- Kahalas ve Groves (1978) ormancılıkta toplumsal değerler ile kârın mukayesesi yapmıştır.
- Kao ve Brodie (1979) planlama kriterlerindeki orantısızlığın giderilmesi, NBD'nin en üst düzeye çıkarılması ve eşit miktarda odun üretimi amaçlarının en uygun çözümü için AP'yi kullanmıştır.
- Dress (1975) ile Field ve diğ. (1980) kamuya ait ormanların çok amaçlı planlanmasında AP'yi, DP'ye bir alternatif olarak kullanmışlardır.
- Hotvedt ve diğ. (1982) AP algoritmasının kullanıldığı bir kesim planı için sezgisel “yapılandırılmamış” ağırlık belirleme prosedürünü kullanmıştır.
- Hotvedt (1983) küçük bir kâğıt fabrikasının amaçlarını, kısıtlarını, yönetim rejimlerini ve orman yapısını kullanarak ağırlıklı doğrusal AP yardımıyla bir kesim planı modeli geliştirmiştir.

- Köse (1986) Trabzon Meryemana Araştırma Ormanında MERAPMO 1 ve MERAPMO 2 olmak üzere iki adet planlama modelini AP yöntemine göre tasarlanmış ve yazılımını geliştirmiştir (Kadioğulları, 2009).
- Kangas ve Pukkala (1992) bir ormancılık AP probleminin formüle edilmesine farklı bir yaklaşım getirmiştir. Bu yaklaşım normal AP prosedürüne göre amaç hedeflerinin düzeyinin belirlenmesi ve istenen bu düzeylerden olan sapmaların ağırlıkları bakımından farklılık göstermektedir.
- Arazi ve orman sahiplerine stratejik planlamada yardımcı olmak için tasarlanmış bilgisayar tabanlı bir analitik araç olan Spectrum, DP'nin yanı sıra ağırlıklı AP ile KTP seçeneklerini de sunmaktadır (USDA Forest Service, 1995).
- Diaz-Balteiro ve Romero (1998) ekonomik getiri, eşit ürün akışı politikası, alan kontrolü ve bitiş envanteri arasında denge kurarak mantıklı bir üretim programı yapmak için AP ve uzlaşık programlamanın nasıl kullanılabileceğini göstermiştir.
- Mısır (2001) nesne tabanlı bir programlama tekniği ile AP tekniğini kullanarak çok amaçlı bir orman amenajmanı planlama modeli geliştirmiştir (Kadioğulları, 2009).
- Bertomeu ve Romero (2001, 2002) çeşitli AP modelleri formüle ederek biyolojik çeşitliliğin orman yönetimi optimizasyon modeline entegrasyonunu çalışmıştır.
- Diaz-Balteiro ve Romero (2003) ağırlıklı AP yaklaşımının planlama ufku boyunca tutulan net karbonun hesaplanması gibi diğer çevresel kriterlere nasıl uygulanacağını ortaya koymuştur.
- Diaz-Balteiro ve Romero (2004) n sayıdaki orman planı alternatifinin, m sayıdaki sürdürülebilirlik göstergesine göre değerlendirileceği farz etmiş, buna ek olarak bir uzman panelinin kabul edilen bu sürdürülebilirlik göstergesi için bir hedef belirlediğini varsaymış ve bu problemi ayırık AP kullanılarak çözmüştür.
- Mısır ve Mısır (2007) orman fakültesi araştırma ormanında gerçekleştirilen çok amaçlı orman planlama süreci ve uygulamasında planlama modelinin geliştirilmesinde AP'yi kullanmıştır.
- Hossain ve Robak (2010) odun üretimi, doğal yaşlı orman ve estetik güzellik hedeflerinden olan sapmaları minimize eden peyzaj düzeyinde bir problemin çözümü için bir AP modeli geliştirmiştir.

- Marinescu ve Maness (2010) sürdürülebilir orman yönetimi kararlarını analiz etmek için bir hiyerarşik orman tahsis modeli geliştirmiştir. Bu modelde sürdürülebilirlik kriterleri olan kâr, istihdam, görsel kalite, rekreasyon ve yaban hayatı habitatı hedeflerinden olan negatif sapmayı minimize etmek amaçlanmıştır.
- Silva ve diğ. (2010) toprak, su kaynakları ve peyzaj gibi çevresel bileşenleri korumayı amaçlayan orta vadeli bir orman üretim problemine odaklanmıştır. Her bir çevresel bileşen için farklı çevresel koruma alternatiflerini ve orman şirketinin NBD'sini belirleyen bir matematiksel model geliştirilmiştir. Geliştirilen bu model sözlüksel AP yaklaşımına dayalı bir KTP modelidir.
- Gómez ve diğ. (2011) ekonomik ve çevresel hedefleri hesaba katarak bir plantasyon ormanının yönetimini planlamak için ikili değişkenleri içeren doğrusal olmayan bir AP modeli kullanmıştır.
- Chen ve diğ. (2011) odun üretimi, rekreasyon imkânları, avcılık ve yaban hayatı amaçları için belirlenmiş hedef değerlerden olan sapmaları minimize etmek için AP'yi kullanmıştır.
- Maroto ve diğ. (2013) AP'yi biyolojik çeşitlilik, iklim değişikliği azaltım faaliyetleri ve erozyon kontrolü önlemleri için belirlenmiş hedef değerlerden olan sapmaları minimize etmek için kullanmıştır.
- Garcia-Gonzalo ve diğ. (2013) farklı paydaşların peyzaj ve orman düzeyinde stratejik plan yapmalarına yardımcı olabilecek bir KDS geliştirmiştir. Bu sistem 4 modülden oluşmaktadır: bilgi yönetimi modülü, talimat üretim modülü, model üretim modülü ve sonuç ekranı modülü. Model üretim modülü; DP, KTP ve AP versiyonlarına haizdir.
- Aldea ve diğ. (2014) AP'yi ekonomik hedefler, tutulan karbon miktarı, üretilen odun hacmi ve mantar üretimi amaçlarından olan sapmaları minimize etmek için kullanmıştır.
- Chen ve Chang (2014) daha fazla karbon tutmaya ve ormanın kuruluşunu çeşitlendirmeye imkân sağlayan bir aralama kesim planı yapmak için çoklu-katsayılı AP'yi kullanmıştır.
- Zengin ve diğ. (2015) karışık tamsayılı AP kullanarak odun ve su üretimini maksimize ederken uygun gençleştirme periyodunu belirleyen ve her bir periyotta meşcerelerden alınacak ara ve son hâsılat miktarlarını hesaplayan bir model geliştirmiştir.
- Demirci ve Bettinger (2015) karışık tamsayılı AP kullanarak bakım blokları oluşturmuştur. Bakım blokları oluşturulurken işletme ve ulaşım giderlerini azaltmak

için bölmelerin ağırlık merkezleri arasındaki mesafeyi en aza indirmek ve odun üretimi sürekliliğini de sağlamak için her yıl eşit miktarda ürün elde etmek amaçlanmıştır.

- Augustynczyk ve diğ. (2016) bir ağaçlandırma sahasında kesilecek meşcereleri bir araya toplayarak kesim blokları oluşturmuştur.
- Bagdon ve diğ. (2016) çeşitli ekosistem hizmetlerinin en iyi şekilde yerine getirilebilmesi gayesiyle en uygun yönetim rejimlerinin belirlenmesi için AP ve simülasyon tekniklerini kombine etmiştir.

2.4.5.3. Amaç Programlamayla İlgili Temel Kavramlar

AP ile ilgili temel kavramlar aşağıda açıklanmıştır (Cinemre, 2011; Keskin, 2013):

a. Kısıtlar: AP’de iki tip kısıt vardır. Bunlar sistem kısıtları (DP’de olduğu gibi) ve ulaşılmak istenen hedef değerlerini gösteren hedef kısıtlarıdır. Sistem kısıtları kesin, kati, yani değişmez kısıtlardır. Hedef kısıtları ise katı olmayıp hedeflenen değerlerden sapmaların açıklanmasıyla ortaya çıkan fonksiyonlardır. Hedef kısıtları sistem kısıtlarından sonra gerçekleştirilir.

b. Sapmalar: Sapmalar hedeflenen başarı ile gerçekleşen başarı arasındaki farklara karşılık gelir. Hedef tam olarak gerçekleşmiş ise sapma değeri sıfır olur. Hedefe ulaşılamamışsa negatif sapma, hedefin üzerinde bir başarı sağlanmış ise pozitif sapma söz konusudur. Pozitif sapma d_i^+ , negatif sapma d_i^- sembolüyle gösterilir. Sapma değişkenleri (d_i^+, d_i^-) negatif olamaz. Diğer taraftan sapmalar ya istenirler ya da istenmezler. Tablo 2.5’de yer alan ilişkiler pek çok durumda geçerli olan ilişkilerdir.

Tablo 2.5: AP’de hedef kısıtları ile sapmalar arasındaki ilişki.

Hedef Kısıtı Tipi	İstenmeyen Sapmalar
$\geq$	d_i^-
$\leq$	d_i^+
$=$	d_i^+, d_i^-

c. Hedefin Önceliklendirilmesi: Karar verici hedefleri arasında yapacağı tercihe göre hedeflerini önceliklendirebilir. Hedef önceliklerinin belirlenmesinde kullanılan üç yaklaşım vardır. Bu yaklaşımlar aşağıda verilmiştir:

1. *Önem sırası*: Hedefler önem derecelerine göre listelenir. İlk sırada en önemli hedef, son sırada en az önemi olan hedef yer alır. Hedeflerin önem öncelik dereceleri P_i sembolü ile gösterilir ve önem sırasına göre $P_1, P_2, \dots, P_n$ şeklinde n tane hedef derecelendirilir. Birinci hedef önceliği P_1 gerçekleştirilmeden sonraki hedeflere geçilmez.
2. *Ağırlıklandırma*: İstenmeyen her bir sapmaya belirli bir ağırlık verilir. Bu ağırlıklar her bir sapmanın nispi önemini gösterir. Bu yaklaşım, özellikle sapmaların boyutları birbirinden farklı olduğunda önem kazanır (ha ve m³ gibi). Hedeflere ait ağırlıklar w_i sembolü ile gösterilir. Karar vericinin tercihini yansıtan w_i pozitif değerler alır.
3. *Karma sıralama*: Yukarıdakilerin birlikte kullanılması, belirli bir hedef için kullanılan sapmaların ikisinin birden istenmemeleri durumunda önem derecesine göre sıralamanın genişletilmiş bir biçimi olarak düşünülebilir.

d. Hedeflerin Boyutları: AP'nin amaç fonksiyonu, önemleri ölçüsünde ağırlıklandırılmış istenmeyen sapmalar toplamının en alt düzeye indirilmesi olarak tanımlanabilir. Sapmaların boyutları farklı olduğunda, amaç fonksiyonunu oluşturan toplam anlamlı bulunmaz. Boyut problemini çözebilmek için ağırlık kullanılması uygundur.

e. Hedef Oluşturma: Karar verici, için bir hedefe ulaşmak diğer bir hedefe ulaşmaktan daha önemli olabilir. Böyle bir durumda her bir hedef için öncelik ve/veya ağırlık belirlenebilir. AP, çözüm sürecinde belirlenen öncelikleri ve ağırlıkları dikkate alarak bir uzlaşık çözüm elde eder.

2.4.5.4. Amaç Programlamanın Yapısı ve Matematiksel Modeli

AP'nin yapısını oluşturan dört elaman vardır. Bunlar amaç fonksiyonu, karar değişkenleri, hedef kısıtları ve sitem kısıtlarıdır (Cinemre, 2011; Keskin, 2013).

1. Amaç fonksiyonu: AP'nin amaç fonksiyonu, istenmeyen sapmalar toplamının en küçük olması şeklinde kurulur. Amaç fonksiyonunun yapısı ağırlıklandırma sistemine bağlıdır. Hedef sayısına, önceliğine ve ağırlıklandırma şekline bağlı olarak; tek hedef varsa, istenmeyen sapma sayısı 1'e eşitse amaç fonksiyonu tek bir sapma değişkeninden (tek amaçlı problemler), çok sayıda hedef varsa ve önem sıralaması yapılmışsa amaç fonksiyonu hedef sayısı kadar sapma değişkeninden (çok amaçlı problem) oluşur. Hedefler aynı derecede önemli olduklarında, amaç fonksiyonu çok basit olarak istenmeyen sapmalar toplamının en küçüklenmesi olarak kurulur. Aynı zamanda, amaç fonksiyonu yukarıda ifade edilen *karma sıralama* dikkate alınarak da oluşturulabilir.

2. Karar değişkenleri: DP’de tanımlanan değişkenler ile aynıdır. Genleştirilecek alan büyüklüğü, üretilcek odun miktarı, ağaçlandırma giderleri, yatırımlar için kullanılan para miktarı ve istihdam edilecek işçi sayısı gibi değişkenlerdir. Karar değişkenleri X_i sembolü ile gösterilir ve kesinlikle negatif değer almazlar.

3. Hedef kısıtları: Ulaşılmak istenen hedef değerlerini gösteren fonksiyonlardır. Hedef kısıtlarının gerçekleştirilmesi sistem kısıtlarının gerçekleştirilmesinden sonra gelir. Bu kısıtlar Tablo 2.5’deki sapmaların birlikte yer aldığı kısıt fonksiyonlardan oluşur.

4. Sistem kısıtları: Kesin ve mutlak olan, değişmesine izin verilmeyen kısıtlardır. DP’deki kısıtlara karşılık gelir ve aynı şekilde formüle edilirler. Problem çözümünde, çözüm önceliği olan kısıtlardır.

Bir AP modeli aşağıdaki temel adımlar izlenerek oluşturulur (Cinemre, 2011; Keskin, 2013):

1. Karar değişkenlerinin tanımlanması ve bunların uygun sembollerle gösterilmesi,
2. Sistem kısıtlarının formülasyonu,
3. Sapma değişkenleri ile beraber hedeflerin belirlenmesi ve hedef kısıtlarının formülasyonu,
4. Hedeflerin önem derecesine göre sıralanması,
5. İstenmeyen sapma değişkenleri ve hedeflerin önem sırasını dikkate alarak amaç fonksiyonunun oluşturulması.

Yukarıda verilen bilgiler ışığında bir AP modelinin genel matematiksel gösterimini aşağıdaki şekilde sunabiliriz (Kwak ve diğ., 1991; Keskin, 2013):

$$\text{Min}Z = \sum_{i=1}^m w_i P_i (d_i^+ + d_i^-) \quad \text{Amaç Fonksiyonu} \quad (2.12)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij} X_{ij} + d_i^- - d_i^+ = b_i \quad \text{Hedef Kısıtları} \quad (2.13)$$

$$CX_{ij} \leq c \quad \text{Sistem Kısıtları} \quad (2.14)$$

$$X_{ij}, d_i^-, d_i^+ \geq 0 \quad \text{Negatif Olmama Şartı} \quad (2.15)$$

Burada,

- X_{ij} Karar değişkenleri,
 b_i i 'inci hedef düzeyi,
 d_i^- Negatif sapma değişkeni,
 d_i^+ Pozitif sapma değişkeni,
 w_i i 'inci hedefin sapma değişkenlerine verilen ağırlıklar,
 c Eldeki kaynak miktarı,
 C Sistem kısıtı ile ilgili matris katsayısı,
 a_{ij} Karar değişkeni sayısı,
 P_i i 'inci hedefin öncelik (önem) düzeyidir.

Birden fazla hedefin bulunduğu, AP problemlerinde hedefin tamamının karşılanması yerine hedeflere alt ve üst sınır verilebilir. Bu durumda sistem kısıtları aşağıdaki şekilde ifade edilir (Kwak ve diğ., 1991; Keskin, 2013):

$$\sum_{j=1}^n a_{jk}X_j \geq G_k \quad (2.16)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{jk}X_j \leq G_k \quad (2.17)$$

Yukarıdaki eşitsizliklerdeki G_k alt sınır veya üst sınır hedefi olarak tanımlanabilir. Eşitsizlik $\geq$ şeklinde iken G_k , k 'nci hedef değerinin alt sınırını ifade eder ve bu kısıtta sapma değişkenler (pozitif ve negatif sapma değişkenler) yer almaktadır. Bu sapma değişkenlerden sadece negatif sapmalı olan (istenmeyen) değişkenler amaç fonksiyonunda yer alır. Bunun nedeni k 'nci hedef değerinden küçük olan tüm sapma değişkenlerinin en küçük olmasının istenmesidir. Eğer eşitsizlik $\leq$ şeklinde ise G_k , k 'nci hedef değerinin üst sınırını ifade eder ve bu kısıtta da sapma değişkenler yer almaktadır. Amaç fonksiyonunda da sadece pozitif sapma değişkenler yer alır. Bunun nedeni de k 'nci hedef değerinden büyük olan tüm sapma değişkenlerinin en küçük olmasının istenmesidir.

2.4.5.5. Amaç Programlamanın Avantajları ve Dezavantajları

AP'nin avantajları ve dezavantajları aşağıdaki şekilde özetlenebilir (Alp, 2008):

Avantajları:

- Bu yöntemle iki ya da daha çok amaca sahip karar problemlerinin çözümü yapılabilir.
- AP kullanıcıya, amacın öncelikleri (üstünlükleri) bakımından etkin bir çözüm sunarken, birbirine zıt amaçların amaç fonksiyonunda yer almasına fırsat verir.
- Gevşek kısıtlara (mutlaka sağlanması zorunlu olmayan kısıtlara) izin verilir.
- Simpleks yöntemi AP problemlerinin çözümünde de kullanılır ve böylece hesaplamaların hızlı ve sonuçların etkin olması sağlanır.
- AP, DP'de “*uygun çözüm mevcut olmayan*” problemlere bir çözüm geliştirmede yardımcı bir teknik olarak kullanılabilir.

Dezavantajları:

- Amaç fonksiyonu çok sayıda başarı fonksiyonunun birleştirilmesi ile oluşturulur. Bu nedenle, karmaşık bir yapıya sahip olabilir.
- Hedef değerleri karar vericiler tarafından belirlendiği için sübjektif bir nitelik taşır.
- Karar vericiler ayrıca hedeflerin ağırlık ve öncelik seviyelerini belirlerler, bu da yine sübjektif bir durum oluşturur.
- Ağırlık ve öncelik seviyelerinin bağdaşık hale getirecek bir yol bulunmalıdır.
- Çözüm sonucunda bulunan sonucun karar vericiler tarafından her zaman tatmin edici olmasını garanti edemez.

3. MALZEME VE YÖNTEM

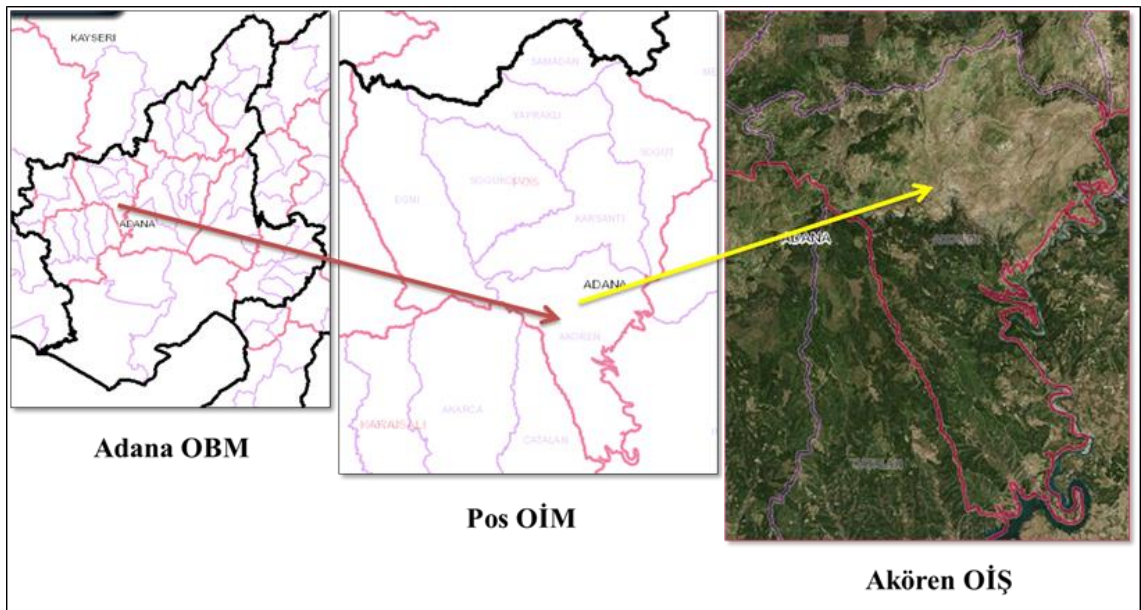
3.1. MALZEME

3.1.1. Çalışma Alanı ve Özellikleri

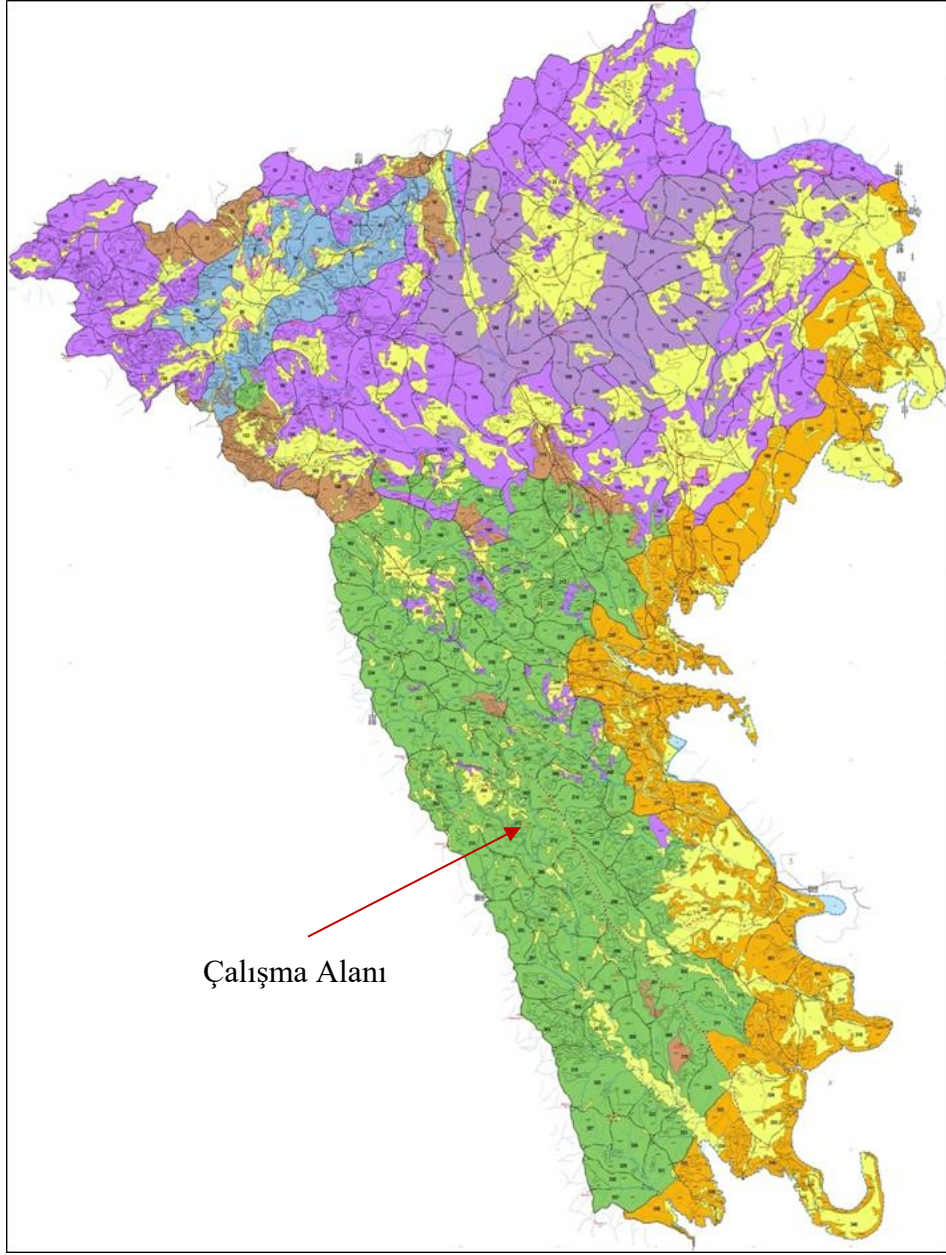
Orman planlamada karışık tamsayı AP'nin kullanılması imkânlarının araştırıldığı bu tez çalışmasında uygulama alanı olarak Akören Orman İşletme Şefliğinin “*En Yüksek Miktarda Endüstriyel Odun Üretme Amaçlı A- Kızılçam İşletme Sınıfı*” seçilmiştir. Çalışmada bu şefliğin seçilmesinde orman amenajman planının 2014 yılında yenilenmiş olması ve A- Kızılçam İşletme Sınıfında 1.777,0 hektar büyüklüğünde gençleştirme alanının olması etkili olmuştur. Kızılçam ağaç türünün seçilmesinin sebebi ise gençleştirme çalışmalarının tıraşlama kesimi yöntemiyle yapılacağını varsayılmasındandır.

3.1.1.1. Coğrafi Konumu ve Topoğrafik Yapısı

Akören Orman İşletme Şefliği (OİŞ), coğrafi olarak Doğu Akdeniz Bölgesi'nde yer almakta olup mülkî yönden Adana iline ve idari yönden ise Adana Orman Bölge Müdürlüğü, Pos Orman İşletme Müdürlüğüne bağlıdır. Akören OİŞ, 37°32'22"-37°18'33" kuzey enlemleri ile 35°17'36"-35° 30' 36" doğu boylamları arasında kalmaktadır (Şekil 3.1 ve Şekil 3.2). Akören OİŞ'nin orman alanı 16.100,2 ha olup, 5.096,4 ha ormansız açık alan ile birlikte toplam alanı, 21.196,6 ha'dır. Kızılçam işletme sınıfının orman alanı ise 5.379,8 ha'dır (OGM, 2014c).



Şekil 3.1: Akören Orman İşletme Şefliğinin konumu.



Şekil 3.2: Akören Orman İşletme Şefliği fonksiyon haritası ve çalışma alanı (yeşil).

Akören OİŞ ormanlarının en uzak yerinden, yakınındaki en büyük tüketim yeri olan Adana'ya yaklaşık 100 km'lik asfalt yol ile ulaşılmaktadır. İşletme şefliği alanı kuzeyden güneye doğru eğimli, kuzey kısmı çok engebeli ve kayalıktır. En alçak yeri 130 m olan güneybatıdaki baraj suyu sınırı, en yüksek yeri 1.789 m ile kuzeybatı sınırındaki Kaledağı'dır. Diğer önemli yükseltileri ise; Alıçkayası (1.544 m), Işıkturşu (1.535 m), Eşek (1.505 m), Çuldutmaz (1.422 m), Kavaklı (1.368 m), Mavrien (1.362 m) ve Kuyu (1.313 m) tepeleridir. Akören OİŞ'de yer alan dereler ise; İncirli, Karlık, Akören, Küncülü, Hacıveli, Taşpınar, Söğütlü, Yedigöz, Selimli, Bahçeli, Yumak ve Kuyu dereleridir (OGM, 2014c).

3.1.1.2. İklim ve Bitki Örtüsü

Çalışma alanı makro iklim tipleri açısından Akdeniz iklim kuşağında yer almaktadır. Şeflik alanının kuzeydeki yüksek kısımlarda Akdeniz dağ iklimi, güneyde ise Akdeniz iklimi egemendir. Yükseklerde hava yazın daha serindir. Güneyde yazlar kurak ve sıcak, kışlar ise ılık ve yağışlı geçer. Yıllık sıcaklık ortalaması 13,5 °C'dir. En yüksek sıcaklık 40,0 °C ve en düşük sıcaklık ise -36,4 °C ölçülmüştür. Yıllık yağış miktarı 540,0 mm olup bu miktarın 192,2 mm'lik kısmı vejetasyon süresinde düşmektedir. Ortalama nispi nem %59,1'dir. En çok yağış ocak, şubat ve mart aylarında görülmektedir. Ortalama karla örtülü gün sayısı 0,7'dir. Yörede genel olarak Kuzey, Kuzeydoğu yönlü rüzgârların etkili olduğu görülmektedir (OGM, 2014c).

Bitki coğrafyası bilimine göre dünya 37 ayrı "*flora bölgesine*" ayrılmıştır. Bu sınıflandırmaya göre üç farklı bitki coğrafyası bölgesi Türkiye sınırları içinde buluşur. Türkiye'de buluşan bitki coğrafyası bölgeleri şunlardır: İran-Turan Bölgesi, Akdeniz Bölgesi ve Avrupa-Sibirya Bölgesi (Demirci, 2010). Çalışma alanı Akdeniz flora bölgesinde kalmaktadır. Başlıca vejetasyon tipleri ve her birinin belirgin bitkileri aşağıda verilmiştir (OGM, 2014c).

Orman Vejetasyonu: Çalışma alanında en çok yayılış gösteren ağaç türü olan kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) bu vejetasyon tipinin başlıca türüdür. Bu ağaç türü bloklar halinde geniş alanlar kaplamaktadır. İşletme şefliği ormanlarında ayrıca karaçam (*Pinus nigra* Arnold.), göknar (*Abies cilicica* Carr.), sedir (*Cedrus libani* A. Rich.) ve ardıç (*Juniperus spp.*) saf ve karışık meşcereler oluşturmaktadır. Bu meşcerelerde karışıma girmeyecek oranda (%10'dan az) meşe (*Quercus spp.*), çınar (*Platanus orientalis* L.), andız (*Juniperus drupacea* Labill.), titrek kavak (*Populus tremula* L.), kayacık (*Ostrya carpinifolia* Scop.) ve dişbudak (*Fraxinus* L.) görülür.

Ağaççık ve Çalılar: Bölgede bulunan başlıca türler; pırnal meşesi (*Quercus ilex* L.), kermes meşesi (*Quercus coccifera* L.), sütleğen (*Euphorbia spp.*), laden (*Cistus spp.*), akçakesme (*Phillyrea latifolia* L.), katırtırnağı (*Spartium junceum* L.), sandal (*Arbutus andrachne* L.), erguvan (*Cercis siliquastrum* L.), defne (*Laurus nobilis* L.), menengiç (*Pistacia terebinthus* L.), zakkum (*Nerium oleander* L.), tesbih (*Styrax officinalis* L.) ve sakız (*Pistacia lentiscus* L.)'dır.

Otsu Bitkiler: Bölgede bulunan bazı otsu bitkiler şunlardır: Adi Eğrelti (*Polypodium vulgare* L.), geven (*Astragalus spp.*), kekik (*Thymus spp.*), adaçayı (*Salvia sp.*) sarı kantaron (*Hypericum perforatum* L.), ısırgan otu (*Urtica dioica* L.), çayır otları (*Gramineae*) ve süpürge çalılısı (*Erica verticillata* L.).

3.1.1.3. Çalışma Alanında Orman – Halk İlişkileri

Çalışma alanının da içinde bulunduğu bölgede 1900’lü yıllarda orman-halk ilişkileri olumsuz gelişmeler göstermiş, bu dönemde yoğun orman tahribatı olmuştur. Ekonomik gelişmeler, oduna alternatif yakacak ve yapacağın orman köylüleri tarafından da kullanılmaya başlanması ve özellikle kentlere yapılan göçler nedeniyle orman üzerindeki baskı azalmıştır. Plan ünitesi içinde kalan köyler ve bu köylerin nüfusu Tablo 3.1’de sunulmuştur.

Tablo 3.1: Akören plan ünitesindeki yerleşim yerleri ve nüfusları (TÜİK, 2017).

Yerleşim Yeri	Nüfus	
	2012	2016
Akören	1.127	996
Eğner	152	133
Yüksekören	120	91
Ceritler	976	1.031
Boztahta	275	255
Gireğiyeşiköy	250	293
Mazılık	93	95
Uzunkuyu	237	215

İşletme şefliği sınırları içerisindeki köylerde sürekli olarak ikamet edenler, biryandan tarım ve hayvancılıkla uğraşırken, diğer biryandan da civardaki maden işletmelerinde ve orman işlerinde çalışarak yaşamlarını sürdürmektedirler. Halk, ormandan yakacak odun ve kereste ihtiyaçlarını karşılamak, ormanın sunduğu estetik ve rekreasyon hizmetlerinden faydalanmak, ormancılık faaliyetlerinde işçi olarak çalışmak ve orman içinde ve civarında bulunan açık arazilerde tarım ve hayvancılık yapmak suretiyle yararlanmaktadır. Bölgede büyükbaş ve küçükbaş hayvan yetiştirilmekte ve köylerin etrafındaki meralarda ve ormanda düzensiz otlatma yapılmaktadır.

Halkın ormana olumlu ve olumsuz biçimde etkileri olmaktadır. Yerleşik halktan ormancılık çalışmaları ile uğraşanların ormanın korunmasında olumlu etkileri olurken, kaçak kesimlerle meşcereleri yıpratmaları, yer yer açma yaparak tarlalarını büyüttükleri, hayvancılıkla uğraşanların usulsüz otlatmalarla gençleştirme alanlarına zarar verdikleri gözlemlenmiştir. Geçici kullanımda bulunan halkın ise yine ormanın sunduğu estetik ve rekreasyon hizmetleri ile toplum sağlığına olumlu katkısı nedeniyle ormanı korudukları ancak piknik ateşleri sebebiyle yangın çıkararak ormana zarar verdikleri ve çöplerini rastgele orman içerisine ve yol kenarlarına atarak da çevre kirliliğine yol açtıkları saptanmıştır.

Plan ünitesindeki var olan nüfus, düzenli bir ormancılığı yapabilecek potansiyel iş gücüne sahiptir. Ancak parasal olarak üretim fiyatları köylüyü tatmin edici olmadığından, özellikle genç nüfus zorunlu olmadıkça ormancılık işlerinde çalışmamaktadırlar (OGM, 2014c).

3.1.4. Çalışma Alanı Plan Verileri

Akören OİŞ'nin ormanlarının tamamı devletin mülkiyeti altındadır. Toplam 21.196,6 ha şeflik alanının 16.100,2 ha'ı orman ve 5.096,4 ha'ı ise ormansız (taşlık-kayalık, iskân, ziraat vs.) sahalardan oluşmaktadır. Ormanların tamamı koru ormanı formundadır. Ormanların 9.912,2 ha'ı verimli (%61,57) ve 6.188,0 ha'ı ise verimsizdir (%38,43). Şeflik ormanlarının %52,7'sini kızılçam (8.486,3 ha) meşcereleri oluştururken %29,2'unu maki vejetasyonu oluşturmaktadır.

Toplam 340 bölmesi ve 56 meşcere tipi bulunan Akören OİŞ'nin ormanları ekonomik, ekolojik ve sosyokültürel fonksiyonlarına göre 7 adet işletme sınıfı (Tablo 3.2) altında 20 yıllığına planlanmıştır.

Tablo 3.2: Akören Orman İşletme Şefliğine ait İşletme Sınıfları (OGM, 2014c).

Sıra	İşletme Amaçları	İşletme Sınıfları
A	En Yüksek Miktarda Endüstriyel Odun Üretimi	Kızılçam
B	Doğayı Koruma	Ardıç + Kızılçam + Gökmar
C	Tohum Bahçesi	Kızılçam
D	Toprak Koruma	Kızılçam + Gökmar + Karaçam
E	Kullanma Suyu Koruma	Kızılçam
F	Estetik Görünüm	Gökmar + Karaçam
G	Rekreasyon (Piknik, Mesire, Festival vs.)	Karaçam

Çalışma alanı olarak belirlenen “*En Yüksek Miktarda Endüstriyel Odun Üretimi*” işletme amaçlı A- *Kızılçam İşletme Sınıfının* orman alanı ise 5.379,8 ha'dır. Bu alanın 5.366,5 ha'ı normal kapalı ve 13,3 ha'ı da boşluklu kapalıdır. Ormansız 230,4 ha alan ile birlikte çalışma alanının genel toplamı 5.610,2 ha'dır. Bu işletme sınıfı için plan süresi 20 yıl, gençleştirme süresi 10 yıl, bakım kesimleri dönüş süresi 10 yıl ve düzenleme süresi 60 yıldır.

Çalışma alanında kızılçam ormanları içerisinde meşcere oluşturmuş 36 ha karaçam meşceresi ile birlikte 27 ha ibrelili-yapraklı karışık meşceresi yer almaktadır. Normal kapalı ormanın büyük çoğunluğu (%55) II. bonitettedir. Bu tez çalışmasında bonitet farklılıkları ihmal edilmiştir.

Çalışma alanındaki normal kapalı koru ormanlarının serveti 559.006 m³ ve artımı da 22.422 m³'tür. Alan, servet ve artımın çağ ve yaş sınıflarına dağılımı Tablo 3.3'te ve meşcere tiplerine dağılımı da Tablo 3.4'te verilmiştir. Çalışma alanına ait çağ ve yaş sınıfları haritaları ise sırasıyla Şekil 3.3 ve 3.4'te sunulmuştur.

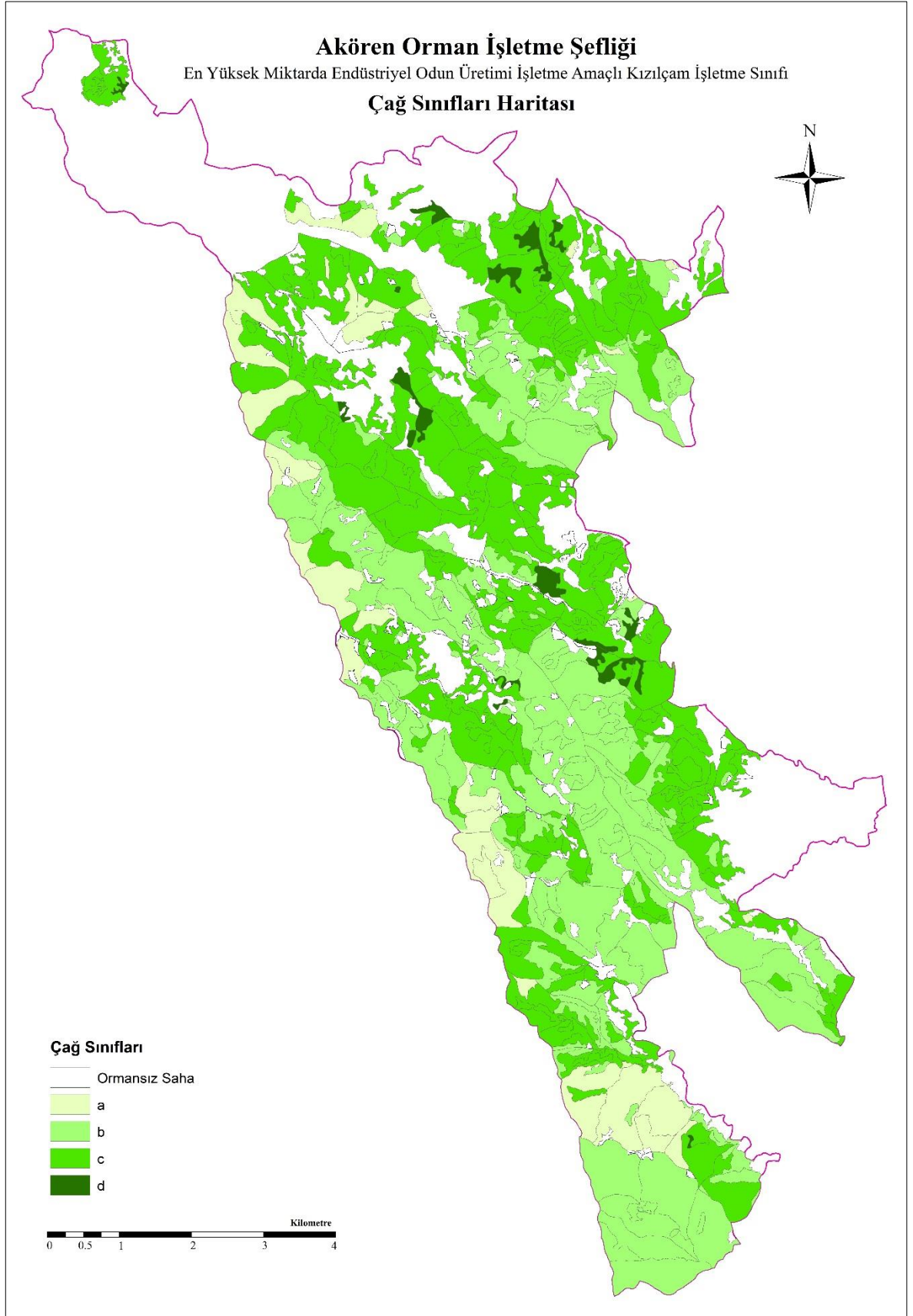
Tablo 3.3: Koru ormanlarında alan, servet ve artımın çağ ve yaş sınıflarına dağılışı.

	Orman Alanı (ha)	Servet		Artım	
		(m³)	(m³ha ⁻¹)	(m³yıl ⁻¹)	(m³yıl ⁻¹ ha ⁻¹)
Çağ Sınıfları					
a	540,5	0	0	0	0,0
b	2.424,8	90.804	37,4	6.844	2,8
c	2.308,0	451.755	195,7	15.181	6,6
d	93,2	16.447	176,5	397	4,3
Toplam	5.366,5	559.006		22.422	
Yaş Sınıfları*					
I	530,8	0	0,0	0	0,0
II	86,7	2.048	23,6	172	2,0
III	1.260,0	30.397	24,1	2.475	2,0
IV	1.049,4	53.716	51,2	3.948	3,8
V	35,4	4.323	122,1	229	6,5
VI	2.404,2	468.522	194,9	15.598	6,5
Toplam	5.366,5	559.006		22.422	

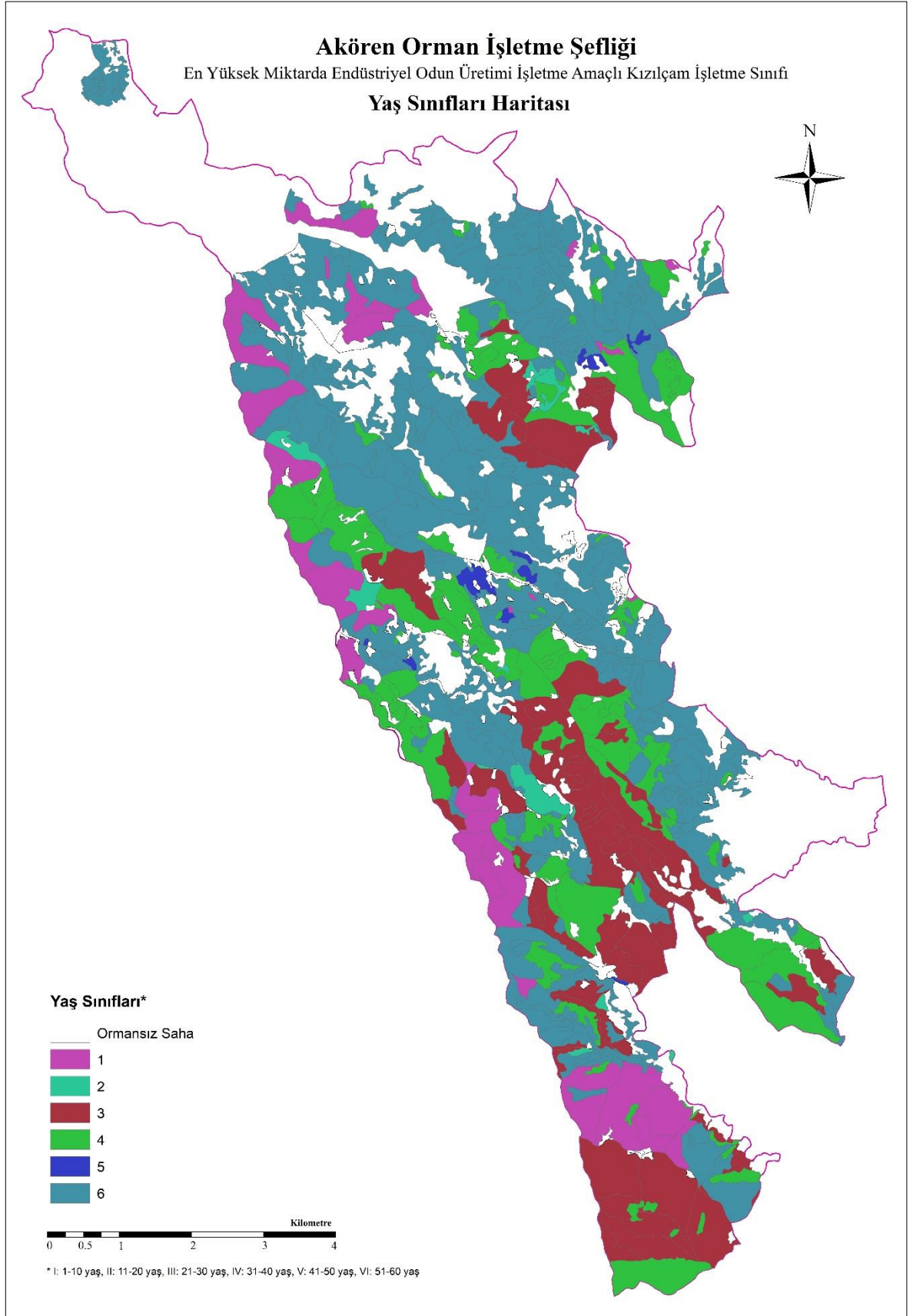
* I: 1-10 yaş, II: 11-20 yaş, III: 21-30 yaş, IV: 31-40 yaş, V: 41-50 yaş, VI: 51-60 yaş

Tablo 3.4: Koru ormanlarında meşcere tipleri itibariyle saha, servet ve artım tablosu.

Meşcere Tipi Sembolü	Orman Alanı (ha)	Hektardaki		Toplam	
		Servet (m ³ ha ⁻¹)	Artım (m ³ ha ⁻¹ yıl ⁻¹)	Servet (m ³)	Artım (m ³ yıl ⁻¹)
Çza0	226,1	0	0		
Çza	89,9	0	0		
Çza3	224,5	0	0		
Çzab2	303,9	11,167	0,8	3.394	244
Çzab3	871,2	21,826	1,7	19.015	1.493
Çzb2	93,7	27,146	2,3	2.544	216
Çzb3	878,3	41,936	3,8	36.832	3.332
Çzbc2	72,1	57,681	3,1	4.159	226
Çzbc3	205,6	120,915	6,5	24.860	1.333
Çzc3	397,0	160,187	7,1	63.594	2.800
Çzcd1	128,8	114,202	3,4	14.709	437
Çzcd2	636,7	155,198	5,0	98.815	3.200
Çzcd3	1.085,6	243,103	7,7	263.913	8.403
Çzd1	29,1	131,684	3,3	3.832	96
Çzd2	62,0	198,353	4,8	12.298	295
ÇzMc2	27,0	163,552	4,7	4.416	126
Çkcd2	8,2	157,013	4,1	1.288	33
Çkcd3	24,7	203,264	7,4	5.020	182
Çkd1	2,1	151,198	3,2	317	6
Toplam	5.366,5			559.006	22.422



Şekil 3.3: Çağ sınıfları haritası.



Şekil 3.4: Yaş sınıfları haritası.

3.1.4.1. Meşcere Bakımına Ait Veriler

Çalışma alanında gençleştirme alanları dışında kalan meşcerelerde bakım kesimleri uygulanmaktadır. Bu kesimler, genç meşcerelerde (b ve bc) gelişmeye katkı sağlamak, orta yaşlı ve yaşlı meşcerelerde de (c, cd ve d) meşcereyi gençleştirmeye hazırlamak için yapılır. Planda “a” ve “ab” meşcereleri için bakım etası kararlaştırılmamıştır. Ara hasılat kesim planları, zaman ve mekân düzeni uygulamacıya bırakılarak, b3 meşcerelerine beş yılda bir, diğerlerine on yılda bir kez müdahale edilecek şekilde düzenlenmiştir (OGM, 2014c).

Daha önce de ifade edildiği üzere çalışma alanında bakım kesimleri dönüş süresi 10 yıldır. Bu süre için bakım meşcerelerinden elde dılecek periyodik (10 yıllık) ara hasılat etası 26.279 m³tür. Ancak 10 yıllık ortalamanın tam sayı olması için 97 no.lu bölmenin Çkcd3-1 bölmeceği için belirlenmiş 692 m³ lük etaya 1 m³ ilave edilmiş ve periyodik ara hasılat etası 26.280 m³ olarak tespit edilmiştir. Diğer bir ifade ile çalışma alanın yıllık ara hasılat etası 2.628 m³tür.

Çalışma alanını oluşturan 5.366,5 ha normal kapalı ormanın 3.589,5 ha’lık bir bölümü meşcere bakımına konudur. Bu alanlardan eta tespit edilen meşcerelerin (a ve ab meşcerelerindeki sıklık bakımı hariç) toplamı 1.630,9 ha’dır. Periyodik ara hasılat etasının çağ sınıflarına ve yaş sınıflarına dağılımı Tablo 3.5’de ve meşcere tiplerine dağılımı Tablo 3.6’da verilmiştir. Buradaki alan miktarı, sadece bakım yapılacak meşcerelerin alanlarının toplamıdır.

Tablo 3.5: Periyodik ara hasılat etasının çağ sınıflarına ve yaş sınıflarına dağılımı.

	Orman Alanı (ha)	Eta	
		(m ³)	(m ³ ha ⁻¹)
Çağ Sınıfları			
a	0	0	0
b	1.023,4	12.928	12,6
c	600,1	13.247	22,1
d	7,4	105	14,2
Toplam	1.630,9	26.280	
Yaş Sınıfları*			
I	0	0	
II	27,2	326	12,0
III	264,7	3.210	12,1
IV	730,9	9.382	12,8
V	1,7	32	18,8
VI	606,4	13.330	22,0
Toplam	1.630,9	26.280	

* I: 1-10 yaş, II: 11-20 yaş, III: 21-30 yaş, IV: 31-40 yaş, V: 41-50 yaş, VI: 51-60 yaş

Çalışma alanında meşcere bakımı yapılması için eta tespit edilen toplam 1.630,9 ha ormanın büyük bir kısmını (1.023,4 ha) “b” çağındaki meşcereler oluşturmaktadır. Bu meşcereler için toplam 12.928 m³ bir eta öngörülmüştür. Burada hektara verilen eta miktarı 12,6 m³’tür. En çok eta “c” çağındaki meşcereler için verilmiştir (13.247 m³). Bu meşcerelerin ortalama hektar etası ise 22,1 m³ olmuştur.

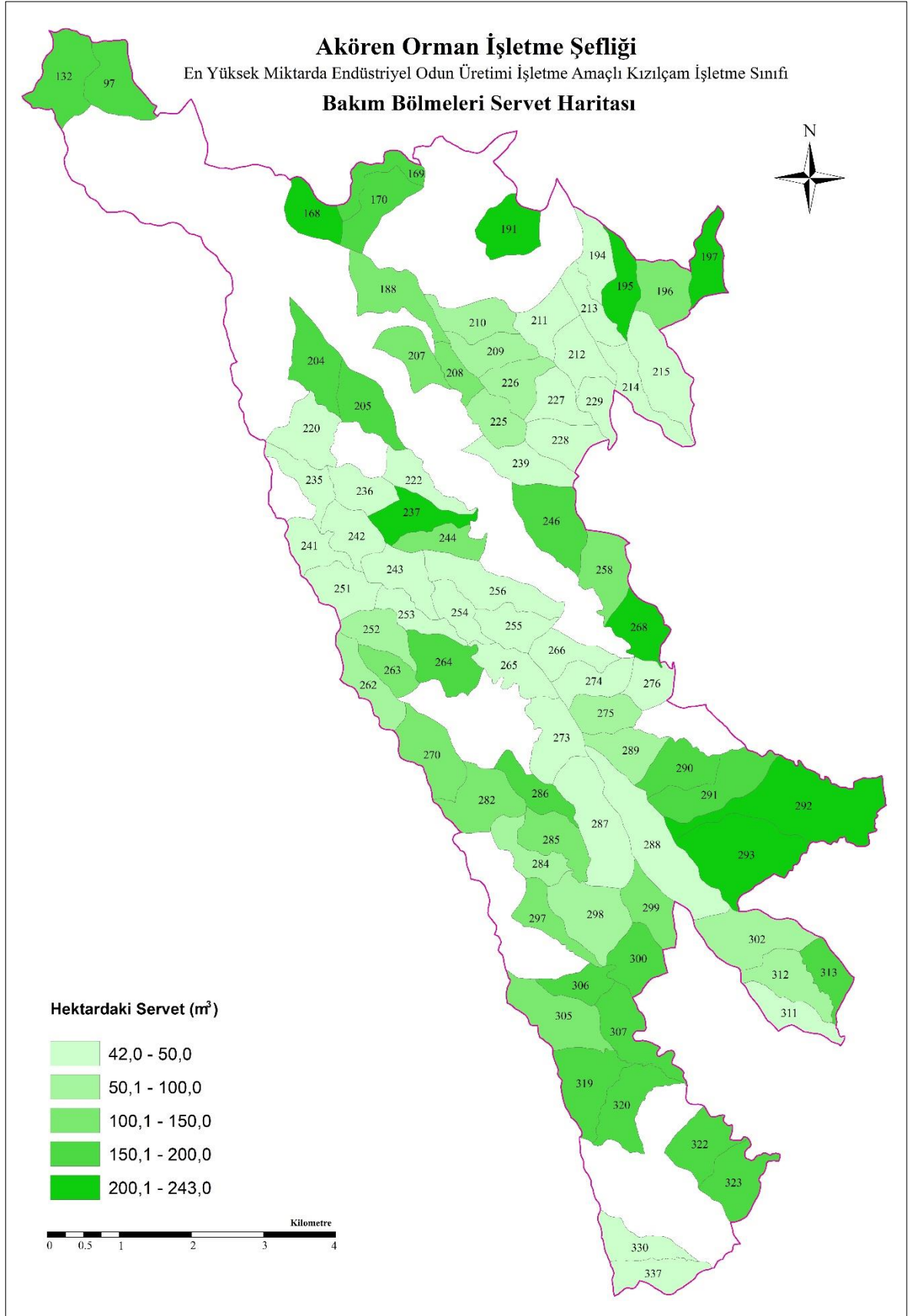
Etanın yaş sınıflarına dağılımı incelendiğinde, 730,9 ha ile en çok alanın IV. yaş sınıfında (31-40 yaş) olduğu görülmektedir. En çok eta ise VI. yaş sınıfı (13.329 m³) için verilmiştir. Bu yaş sınıfın ortalama hektardaki etası ise 22 m³’tür.

Tablo 3.6: Periyodik ara hasılat etasının meşcere tiplerine dağılımı.

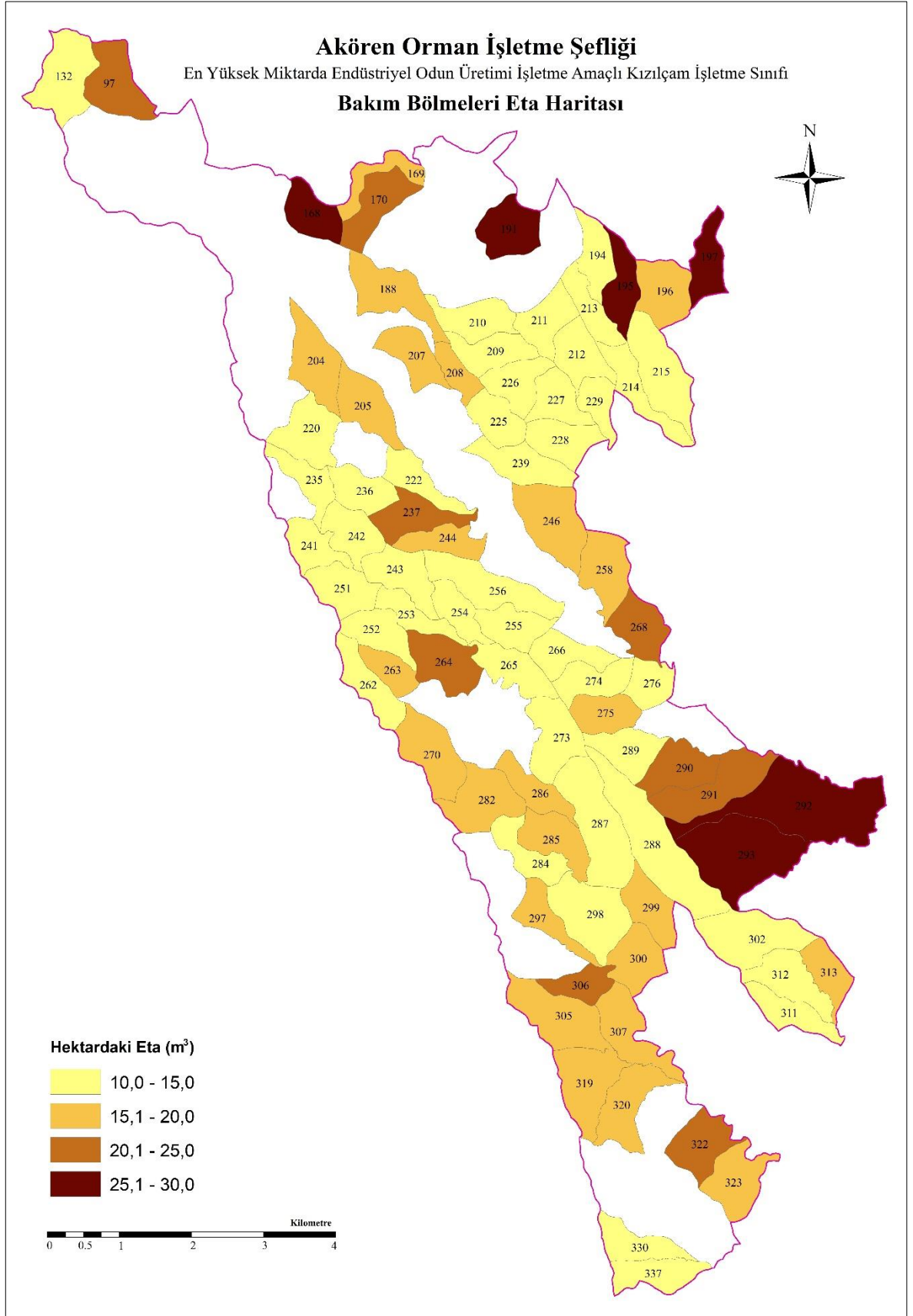
Meşcere Tipi Sembolü	Orman Alanı (ha)	Eta	
		(m ³)	(m ³ ha ⁻¹)
Çkcd2	8,2	82	10
Çkcd3	24,7	692	28
Çzb3	862,8	10.360	12
Çzbc3	160,6	2.568	16
Çzc3	205,8	4.116	20
Çzcd2	177,4	2.837	16
Çzcd3	184	5.521	30
Çzd2	7,4	104	14
Toplam	1.630,9	26.280	

Çalışma alanında normal kapalı ormanlara ait 19 adet meşcere tipinden sadece 8 tanesi için bakım kesimlerine dönük eta kararlaştırılmıştır (Tablo 3.6). Daha önce de ifade edildiği üzere “a” çağındaki (Çza0, Çza, Çza3, Çzab2, Çzab3) meşcereler için eta tespit edilmemiştir. Yapılan incelemede Çzb2 ve Çzbc2 meşcerelerinin yanı sıra Çzcd1, Çzd1, Çkd1 ve ÇzMcd2 için de bakım etası tespit edilmediği görülmüştür. Çalışma alanında en yüksek eta Çzcd3 meşcereleri için verilirken (30 m³), en az eta ise Çkcd2 meşcereleri için (10 m³) verilmiştir.

Çalışma alanında meşcere bakımı yapılacak bölmelerdeki hektar başına düşen ortalama servetin çalışma alanına dağılımını gösteren harita Şekil 3.5’de verilmiştir. Hektardaki periyodik ara hasılat etasının dağılımını gösteren harita ise Şekil 3.6’da verilmiştir.



Şekil 3.5: Bakım bölmelerinde hektar başına düşen ortalama servet miktarı.



Şekil 3.6: Bakım bölmelerinde hektar başına düşen ortalama eta miktarı.

3.1.4.2. Gençleştirme Çalışmalarına Ait Veriler

Aynı yaşlı ve maktalı ormanlarda uygulanmakta olan yaş sınıfı metodunun esası, aynı yaşlı ormanları kurmak gayesiyle bir idare müddeti süresinde ormanı eşit parçalara ayırarak en yaşlı ve olgunluk çağına gelmiş orman sahalarını öne alıp, belirli bir periyot içinde gençleştirme çalışmaları yapmak; geri kalan orman sahalarında ise gelişme çağlarına göre meşcerelerin bünyesine uygun bakım kesimleri yapmaktır. Gençleştirme çalışmaları ve periyotlar birbirini düzenli izlerse orman eşit hâsılat veren, sahaları birbirine yakın büyüklükte ve düzenli dağılıfta yaş sınıfları sahalarından meydana gelir.

Aynı yaşlı ve maktalı koru ormanları işletme sınıflarında uygulanması öngörülen yaş sınıfları metodu, *eşit hâsılatlı yaş sınıfları metodudur*. Bu metoda göre Normal Periyodik Saha (NPS) aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$NPS = \frac{Fr}{(U/n)} = \frac{Fr}{a}$$

$$NPS = \frac{5.358,5}{60/10} = \frac{5.358,5}{6} = 893,1$$
(3.1)

Bu formülde:

NPS : Normal periyodik saha (ha)

Fr : İşletme sınıfının redüksiyon sahası (ha)

U : İşletme sınıfının idare süresi (yıl)

n : Periyot uzunluğu (yıl)

a : Periyot sayısı

Yukarıdaki işlemten de anlaşılacağı üzere çalışma alanımızı oluşturan A-Kızılcım İşletme Sınıfında periyodik (10 yıllık) gençleştirme alanı 893,1 ha'dır. Amenajman planında, 20 yıl boyunca gençleştirilecek alan büyüklüğü 1.777 ha olarak belirlenmiştir. Bu tez çalışmasında gençleştirilecek alanların zaman-mekân düzenlemesi 20 yıl için ve 1.777 ha orman alanı için yapılacaktır. Gençleştirmeye konu olan bölmeciklerinin sayısı 166'dır. Bu bölmeciklerin toplam alanı 1.777,0 ha ve toplam son hasılat etası ise 467.000 m³'tür. Gençleştirme planı 20 yıl olarak düzenlendiği için yıllık olarak gençleştirilecek alan miktarı 88,85 ha ve elde edilecek odun ham maddesi miktarı (yıllık son hâsılat etası) ise 23.350 m³'tür.

Gençleştirmeye konu sahalar için alan, servet ve artımın çağ sınıflarına ve yaş sınıflarına dağılımı Tablo 3.7’de ve meşcere tiplerine dağılımı Tablo 3.8’de verilmiştir.

Tablo 3.7: Gençleştirme sahalarında alan, servet ve artımın çağ sınıflarına ve yaş sınıflarına dağılımı.

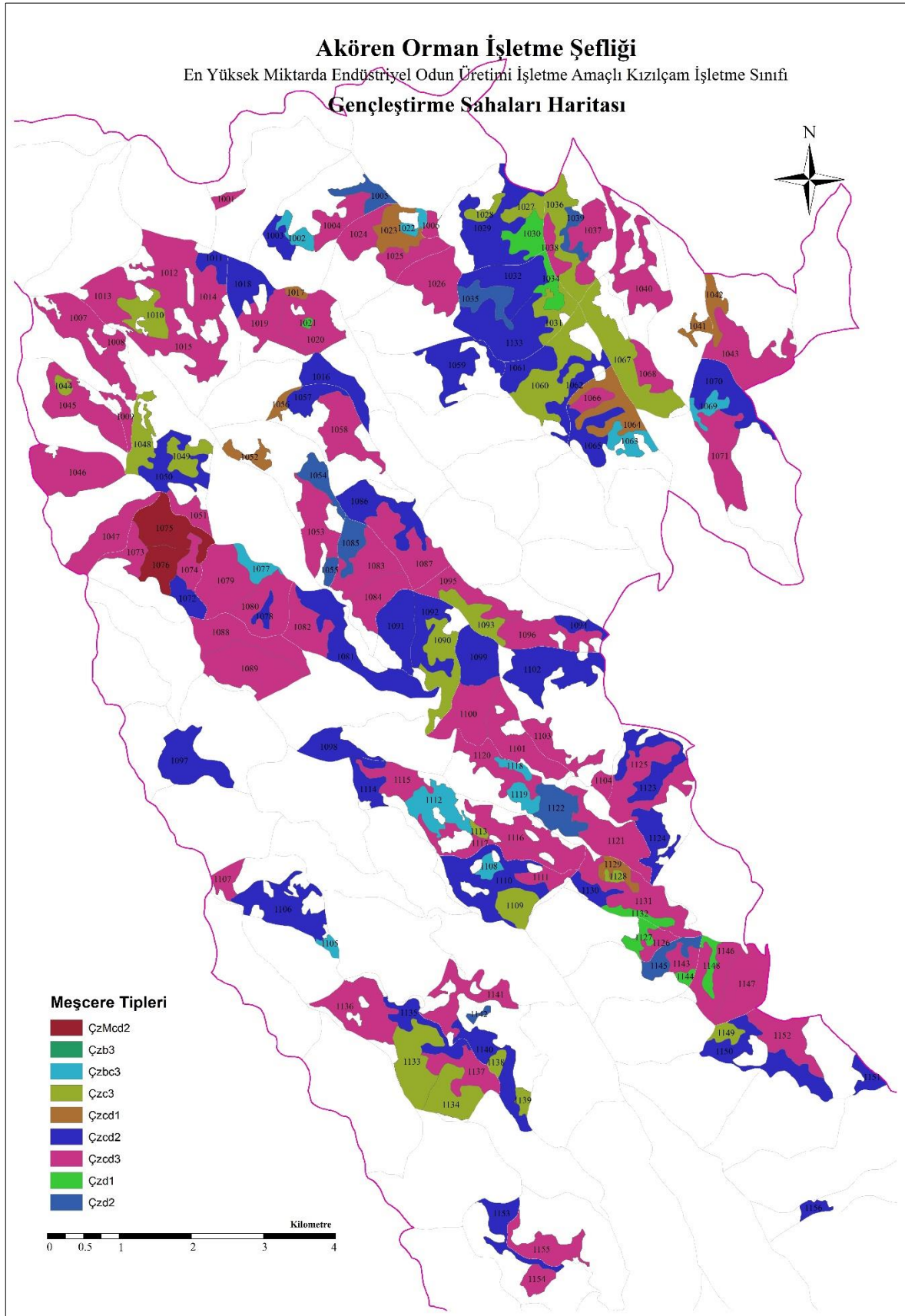
	Orman Alanı (ha)	Servet		Artım	
		(m ³)	(m ³ ha ⁻¹)	(m ³ yıl ⁻¹)	(m ³ yıl ⁻¹ ha ⁻¹)
Çağ Sınıfları					
a	0	0		0	
b	60,5	6.091	100,7	352	5,8
c	1.635,6	331.966	203,0	10.956	6,7
d	80,9	14.293	176,7	348	4,3
Toplam	1.777	352.350		11.656	
Yaş Sınıfları*					
I	0	0	0	0	0
II	0	0	0	0	0
III	0	0	0	0	0
IV	25,8	2.017	78,2	128	5,0
V	33,7	4.075	120,9	219	6,5
VI	1.717,5	346.258	201,6	11.309	6,6
Toplam	1.777	352.350		11.656	

* I: 1-10 yaş, II: 11-20 yaş, III: 21-30 yaş, IV: 31-40 yaş, V: 41-50 yaş, VI: 51-60 yaş

Tablo 3.8: Gençleştirme sahalarında alan, servet ve artımın meşcere tiplerine dağılımı.

Meşcere Tipi Sembolü	Orman Alanı (ha)	Servet		Artım	
		(m ³)	(m ³ ha ⁻¹)	(m ³ yıl ⁻¹)	(m ³ yıl ⁻¹ ha ⁻¹)
Çzb3	15,5	650	41,9	59	3,8
Çzbc3	45	5.441	120,9	293	6,5
Çzc3	191,2	30.629	160,2	1.349	7,1
Çzcd1	56,5	6.452	114,2	193	3,4
Çzcd2	459,3	71.285	155,2	2.309	5,0
Çzcd3	901,6	219.184	243,1	6.979	7,7
Çzd1	26,3	3.464	131,7	88	3,3
Çzd2	54,6	10.829	198,3	260	4,8
ÇzMcd2	27	4.416	163,6	126	4,7
Toplam	1.777	352.350		11.656	

Çalışma alanında gençleştirilmesi için karar verilen meşcerelerin %92’si (1.635,6 ha) “c” çağındadır. Meşcere tipleri incelendiğinde ise alan ve servet olarak “cd” meşcerelerinin daha çoğunlukta olduğu görülmektedir (Tablo 3.8 ve Şekil 3.7). Sonuç olarak gençleştirme sahalarında meşcereleri oluşturan bireylerin sayısal çoğunluğunun 20,0-35,9 cm göğüs çapında ve hacim üstünlüğünün ise 36,0-51,9 cm göğüs çapına sahip bireylerde olduğunu söyleyebiliriz.



Şekil 3.7: Gençleştirme sahalarını oluşturan meşcere tipleri.

3.2. YÖNTEM

3.2.1. Çalışma Alanı Verilerinin Derlenmesi ve İşlenmesi

Çalışma alanına ait gençleştirme bölmeciklerinin alan ve son hasılat etaları ile bakım bölmelerinin etaları OGM (2014b)’den ve OGM tarafından geliştirilen Amenajman Plan Yapım Programı (APP)’ndan temin edilmiştir. Gençleştirme bölmeciklerinin komşuluk durumları ile bakım bölmelerinin ve çalışma alanında belirlenen 10 adet farazi orman içi rampasının ağırlık merkezlerinin X ve Y koordinatları ise ArcMap 10.3 yazılımı kullanılarak temin edilmiştir.

3.2.1.1. Bakım Problemine İlişkin Verilerin İşlenmesi

Bakım bölmelerine ait alan, artım, servet ve eta bilgileri Akören OİŞ için yapılmış planın (OGM, 2014c) ekinde yer alan APP yazılımından elde edilmiştir. Öncelikle APP’de yer alan “Tablo 23” dosyası Excel’e aktarılmış, “A İşletme Sınıfına” ait olmayan veriler ve diğer detay bilgiler silinerek bölme numarası, meşcere tipi, alan, artım, servet, eta, yaş sınıfları ve çağ sınıfları bilgileri muhafaza edilmiştir. Bu işletme sınıfında bakım bölmelerinin sayısı 84 olup, bu bölmeler için öngörülmuş toplam eta miktarı 26.280 m³’tür (Tablo 3.9). Bakım planı 10 yıllık olacağı için, her yıl bu bölmelerin yaklaşık 1/10’unda bakım kesimi yapılması ve yıllık olarak 2.628 m³ odun hammaddesi (yıllık ara hasılat etası) elde edilmesi hedeflenmiştir.

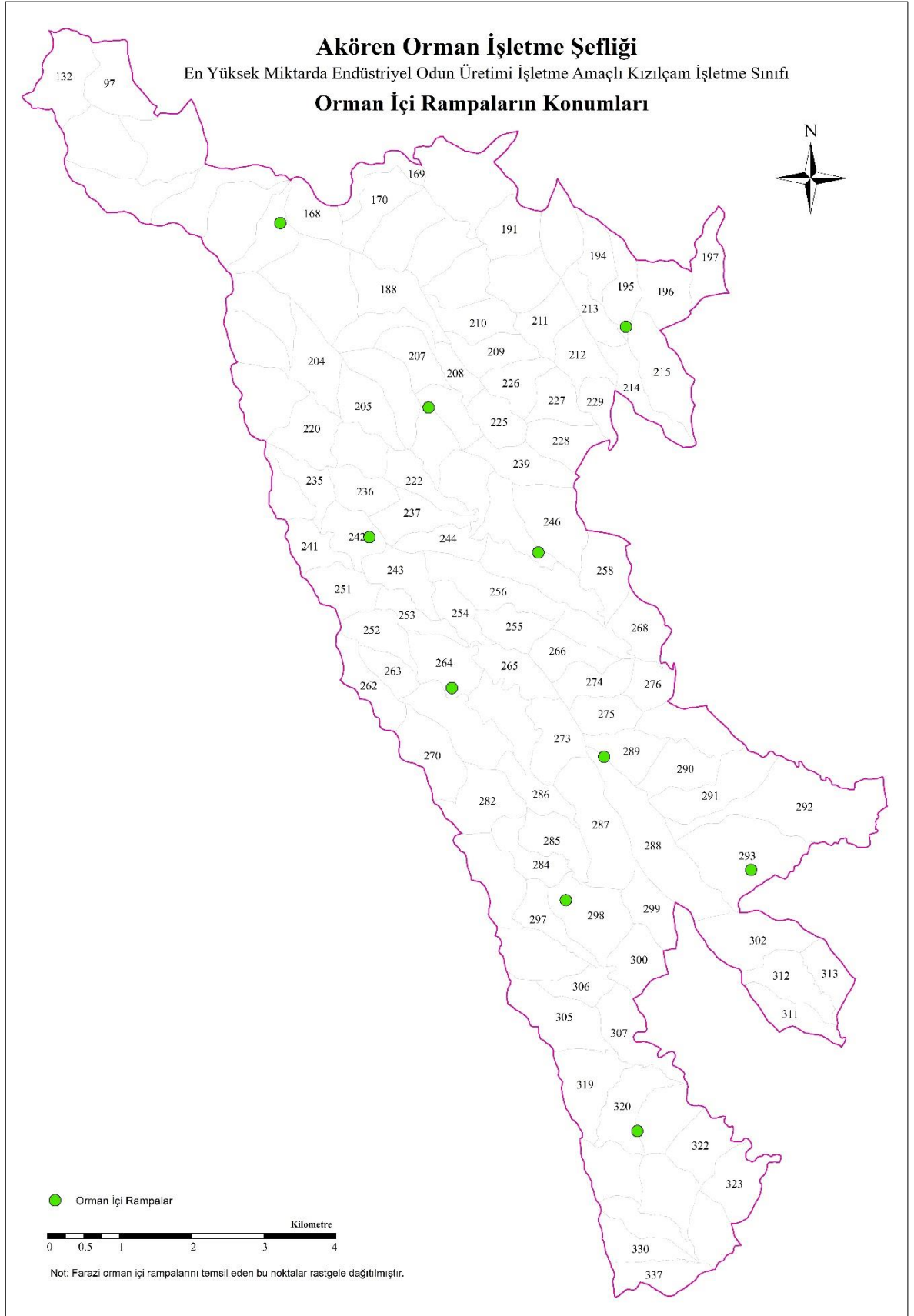
Tablo 3.9: Çalışma alanında meşcere bakımı yapılacak bölmeler ve eta miktarları.

Bölme No	Eta (m ³)	Bölme No	Eta (m ³)	Bölme No	Eta (m ³)	Bölme No	Eta (m ³)
97	766	215	288	255	48	290	857
132	8	220	180	256	28	291	529
168	123	222	32	258	16	292	102
169	59	225	574	262	305	293	992
170	187	226	526	263	471	297	353
188	43	227	364	264	491	298	78
191	39	228	560	265	58	299	417
194	84	229	116	266	294	300	22
195	904	235	154	268	735	302	730
196	230	236	18	270	804	305	155
197	156	237	1297	273	132	306	411
204	50	239	170	274	398	307	374
205	333	241	140	275	403	311	544
207	132	242	526	276	10	312	550
208	127	243	572	282	184	313	232
209	408	244	130	284	265	319	372
210	302	246	102	285	422	320	26
211	8	251	146	286	188	322	660
212	66	252	32	287	256	323	672
213	12	253	352	288	254	330	152
214	502	254	344	289	547	337	580

Bu çalışma ile her yıl bakıma alınan söz konusu bölmelerin, iş organizasyonunun kolaylığı ve ormancılık faaliyetlerinde kullanılan makine ve ekipmanların işletmenin bir yerinden diğer bir yerine nakliyesi gibi sebeplerle oluşacak iş ve zaman kaybının azaltılması açısından birbirine en yakın olacak şekilde aynı bakım bloğu içerisinde planlanması amaçlanmıştır. Bunun için öncelikli olarak çalışma alanında 10 adet farazi orman içi rampası belirlenmiştir (Şekil 3.8). Öncelikle bu noktaların ve bakım bölmelerinin ağırlık merkezlerinin X ve Y koordinatları, ArcMap 10.3'ün "*Calculate Geometry*" aracı kullanılarak elde edilmiştir. Daha sonra bu koordinat verileri kullanılarak, bakım bölmelerinin orman içi rampalarına olan uzaklıkları Bettinger (2014) tarafından geliştirilen Visual Basic tabanlı "*Centroid Processor*" isimli bir program kullanılarak hesaplanmıştır. İşlem sonucunda 84 bakım bölmesi ile 10 orman içi rampa arasında 840 adet mesafe kombinasyonu oluşmuştur.

Oluşturulacak model ile bakım bölmelerinin ağırlık merkezlerinin orman içi rampalarına olan uzaklıkları toplanacak ve elde edilen bu toplamların, belirlenen değerden olan sapmaları en aza indirilmek suretiyle bölmelerin kendilerine en yakın noktaların etrafında toplanması sağlanacaktır. Çalışmada kullanılacak mesafe hedef değerinin belirlenmesi için öncelikle ArcMap 10.3'de 9 bölmeden oluşan bir bakım bloğu oluşturulmuştur. Bu bölmelerin ağırlık merkezlerinin en yakın rampaya olan toplam mesafeleri 7,1 km olmuştur. Bu yüzden DBM için hedef değer 7 km olarak belirlenmiştir. Yani aynı yıl içerisinde bakıma alınan bölmelerin ağırlık merkezlerinin kendilerine en yakın rampaya olan toplam mesafeleri 7 km civarında olmalıdır (DBM). DOBM'de ise elde edilen bu toplam değer planlanan bölme sayısına bölünmesi ile oluşacak sayının 1 km civarında olması istenmiştir. Bu değer daha da küçük olması ya da 0 (sıfır) olarak da belirlenmesi mümkündür. Mesafe hedef değerinin 0 (sıfır) olarak belirlenmesi durumunda oluşacak sapmaların tamamı pozitif sapma olacaktır.

Bilindiği üzere orman planlamadaki konumsal problemleri dağıtma (yayma) ve bir araya toplama problemleri olarak kabaca iki kategoriye ayrılmaktadır. Çalışmada geliştirilen bakım modelleri ile aynı yıl bakım görececek bölmeler bir araya toplanmaya çalışılmıştır.



Şekil 3.8: Çalışma alanında farazi olarak oluşturulan orman içi rampaları.

3.2.1.2. Gençleştirme Problemine İlişkin Verilerin İşlenmesi

Gençleştirilecek bölmeciklere ait plan verileri Akören OİŞ Orman Amenajman Planının (OGM, 2014c) ekindeki APP yazılımından elde edilmiştir. Öncelikle APP’de yer alan “Tablo 28” dosyası Excel’e aktarılmış ve daha sonra “*A İşletme Sınıfına*” ait olmayan veriler ve diğer detay bilgileri silinerek bölme numarası, meşcere tipi, meşcere tipi sembolü, alan, artım, servet, yaş sınıfları ve çağ sınıfları bilgileri muhafaza edilmiştir. Bu işletme sınıfında gençleştirilecek bölmeciklerin toplam alanı 1.777,0 ha ve 20 yıl için son hasılat etası ise 467.000 m³’tür. Gençleştirme planı 20 yıl olarak düzenlendiği için yıllık olarak gençleştirilecek alan miktarı 88,85 ha ve elde edilecek odun ham maddesi miktarı (yıllık son hasılat etası) ise 23.350 m³’tür.

OGM tarafından yayınlanan Silvikültürel Uygulamaların Teknik Esasları Tebliğine (OGM, 2014b) göre maktalı olarak planlanan üretim fonksiyonlu ormanlarda yürütülecek gençleştirme çalışmalarında tıraşlama yapılacak alan 25,0 ha’dan daha büyük olmamalıdır. Orman amenajman planı yapılırken bu durum göz ardı edilmektedir. Bu büyük bölmeciklerde gençleştirme yapılırken bölmeciğin bölünmesi işi işletme şefliklerine bırakılmaktadır. Bu durum uygulamada sınır aplikasyonunun doğru olarak yapılamaması ve çalışma alanın büyüklüğünün tam olarak belirlenememesi gibi çeşitli sıkıntılara yol açmaktadır.

Mevzuat gereği 25,0 ha’dan daha büyük alanlarda tıraşlama kesimi yapılamadığı için planda bu rakamdan daha büyük olan bölmecikler ArcMap 10.3 yardımı ile kesilmiş ve aslına uygun olarak yeniden kodlanmıştır (Tablo 3.10). Daha sonra bölmeciklere numaralar verilmiştir. Çalışmamızın gençleştirme problemine konu olan bölmeciklerinin sayısı 166’dır.

Çalışmada erteleme süresi 5 yıl olarak belirlenmiştir. Bu süre zarfında, mevzuat ile belirlenen en büyük tıraşlama kesim alanı büyüklüğü olan 25,0 ha’dan daha büyük olanda tıraşlama kesimi yapmamak için, toplamaları bu değer üzerinde olan komşu iki bölmeciğin birlikte gençleştirilmesi istenmemiştir (Tablo 3.11). Yani 20,0 ha büyüklüğünde bir “A” meşceresi “T” yılında gençleştirildiğinde, buna komşu olan 10,0 ha büyüklüğündeki “B” meşceresinde en erken “T+5” yılında gençleştirme yapılabilecektir. Burada amaç 5 yıl boyunca 25.0 ha’dan daha büyük alan açmamaktır.

Gençleştirme çalışmasında çok küçük alanlarda çalışmaktan kaçındığımız için büyüklüğü 5,0 ha’dan küçük olan ve birbirine komşu olan bölmeciklerin aynı yıl gençleştirilmesi planlanmıştır (Tablo 3.12). Komşu bölmecik analizi de ArcMap 10.3 yardımı ile yapılmıştır.

Tablo 3.10: Bölünen bölmeciklerin eski ve yeni durumları.

PLAN			TEZ ÇALIŞMASI	
Bölme No	Meşcere Tipi	Alan	Meşcere Tipi	Alan
185	Çzcd3-1	25,1	Çzcd3-1	16,2
			Çzcd3-2	8,9
186	Çzcd3	65,3	Çzcd3-1	21,7
			Çzcd3-2	13,9
			Çzcd3-3	10,6
			Çzcd3-4	19,1
188	Çzcd3	30,2	Çzcd3-1	12,2
			Çzcd3-2	18,0
192	Çzcd2	40,5	Çzcd2-1	16,2
			Çzcd2-2	24,3
220	ÇzMcd2	27,0	ÇzMcd2-1	17,4
			ÇzMcd2-2	9,6
221	Çzcd3	35,6	Çzcd3-1	20,1
			Çzcd3-2	15,5
223	Çzcd3	27,3	Çzcd3	15,2
			Çzcd3	12,1
236	Çzcd3	42,4	Çzcd3-1	18,3
			Çzcd3-2	24,1
238	Çzcd2	26,9	Çzcd2-1	14,6
			Çzcd2-2	12,3
239	Çzcd3	26,6	Çzcd3-1	11,7
			Çzcd3-2	14,9
245	Çzcd3	35,1	Çzcd3-1	17,6
			Çzcd3-2	17,5
256	Çzcd3-2	29,0	Çzcd3-2	18,8
			Çzcd3-3	10,2
271	Çzc3	31,5	Çzc3-1	18,4
			Çzc3-2	13,1
276	Çzcd3	32,0	Çzcd3-1	13,5
			Çzcd3-2	18,5
296	Çzcd3	45,6	Çzcd3-1	15,9
			Çzcd3-2	16,8
			Çzcd3-3	12,9
Toplam		520,1	520,1	

Tablo 3.11: Toplamları 25,0 ha'dan büyük olan komşu bölmecik çiftleri.

Çift No	Bölmecik 1		Bölmecik 2		Çift No	Bölmecik 1		Bölmecik 2	
	No	Alan (ha)	No	Alan (ha)		No	Alan (ha)	No	Alan (ha)
1	1007	16,2	1008	8,9	41	1060	22,9	1061	8,8
2	1007	16,2	1013	13,9	42	1060	22,9	1062	9,6
3	1010	9,5	1012	21,7	43	1060	22,9	1067	24,4
4	1010	9,5	1015	19,0	44	1061	8,8	1033	24,4
5	1011	4,4	1012	21,7	45	1062	9,6	1067	24,4
6	1012	21,7	1013	13,9	46	1064	14,2	1067	24,4
7	1012	21,7	1014	10,6	47	1067	24,4	1068	7,1
8	1012	21,7	1015	19,0	48	1070	16,9	1071	18,9
9	1013	13,9	1015	19,0	49	1072	5,7	1079	20,1
10	1014	10,6	1015	19,0	50	1074	5,7	1079	20,1
11	1016	11,7	1020	17,9	51	1075	17,4	1076	9,6
12	1016	11,7	1058	16,3	52	1075	17,4	1079	20,1
13	1019	12,2	1020	17,9	53	1079	20,1	1080	15,5
14	1025	9,3	1026	17,6	54	1079	20,1	1088	18,3
15	1026	17,6	1032	16,2	55	1080	15,5	1082	12,4
16	1026	17,6	1035	8,6	56	1080	15,5	1088	18,3
17	1027	5,1	1029	23,5	57	1081	23,9	1082	12,4
18	1028	3,0	1029	23,5	58	1081	23,9	1090	15,7
19	1029	23,5	1030	8,1	59	1081	23,9	1091	14,6
20	1029	23,5	1032	16,2	60	1082	12,4	1088	18,3
21	1029	23,5	1034	4,9	61	1083	15,2	1084	12,1
22	1029	23,5	1036	13,5	62	1083	15,2	1086	15,8
23	1031	7,0	1060	22,9	63	1083	15,2	1087	19,0
24	1031	7,0	1067	24,4	64	1084	12,1	1087	19,0
25	1031	7,0	1033	24,4	65	1084	12,1	1091	14,6
26	1032	16,2	1033	24,4	66	1085	7,1	1087	19,0
27	1034	4,9	1033	24,4	67	1086	15,8	1087	19,0
28	1035	8,6	1033	24,4	68	1087	19,0	1091	14,6
29	1036	13,5	1037	12,6	69	1087	19,0	1092	12,3
30	1036	13,5	1060	22,9	70	1087	19,0	1095	11,7
31	1036	13,5	1067	24,4	71	1088	18,3	1089	24,1
32	1041	2,8	1043	22,9	72	1090	15,7	1092	12,3
33	1042	5,3	1043	22,9	73	1090	15,7	1099	13,9
34	1043	22,9	1070	16,9	74	1090	15,7	1100	17,6
35	1046	24,3	1048	10,0	75	1091	14,6	1092	12,3
36	1047	15,8	1050	13,1	76	1091	14,6	1095	11,7
37	1047	15,8	1075	17,4	77	1095	11,7	1096	14,9
38	1050	13,1	1075	17,4	78	1096	14,9	1102	22,7
39	1053	16,0	1083	15,2	79	1099	13,9	1100	17,6
40	1059	15,9	1033	24,4	80	1100	17,6	1101	17,5

Tablo 3.11 (devam): Toplamları 25,0 ha'dan büyük olan komşu bölmecik çiftleri.

Çift No	Bölmecik 1		Bölmecik 2		Çift No	Bölmecik 1		Bölmecik 2	
	No	Alan (ha)	No	Alan (ha)		No	Alan (ha)	No	Alan (ha)
81	1100	17,6	1120	11,6	100	1133	18,4	1136	20,4
82	1101	17,5	1103	9,2	101	1133	18,4	1137	11,4
83	1101	17,5	1120	11,6	102	1135	9,8	1136	20,4
84	1109	8,3	1110	22,2	103	1135	9,8	1141	15,2
85	1110	22,2	1111	5,0	104	1137	11,4	1140	14,1
86	1110	22,2	1117	10,2	105	1140	14,1	1141	15,2
87	1116	18,8	1117	10,2	106	1146	13,5	1147	18,5
88	1116	18,8	1122	12,1	107	1147	18,5	1150	18,4
89	1116	18,8	1131	19,7	108	1147	18,5	1152	14,4
90	1121	19,5	1122	12,1	109	1150	18,4	1152	14,4
91	1121	19,5	1124	10,3	110	1157	15,5	1159	15,9
92	1121	19,5	1125	21,0	111	1157	15,5	1160	16,8
93	1121	19,5	1131	19,7	112	1157	15,5	1161	12,8
94	1123	13,7	1125	21,0	113	1159	15,9	1160	16,8
95	1124	10,3	1125	21,0	114	1159	15,9	1161	12,8
96	1124	10,3	1131	19,7	115	1160	16,8	1165	16,4
97	1131	19,7	1145	6,8	116	1163	13,2	1165	16,4
98	1133	18,4	1134	13,1	117	1163	13,2	1166	15,8
99	1133	18,4	1135	9,8					

Tablo 3.12: Büyüklükleri 5,0 ha'dan küçük komşu bölmecik çiftleri.

Çift No	Bölmecik 1		Bölmecik 2	
	No	Alan (ha)	No	Alan (ha)
1	1006	2,3	1022	2,4
2	1034	4,9	1038	4,6
3	1126	4,1	1127	3,9
4	1126	4,1	1132	3,8
5	1127	3,9	1132	3,8
6	1128	1,4	1129	4,0
7	1130	4,6	1132	3,8
8	1143	4,5	1144	1,5
9	1143	4,5	1148	3,5

3.2.2. Amaç Programlama Modellerinin Matematiksel Formülasyonu

3.2.2.1. Doğrusal Bakım Modeli ve Doğrusal Olmayan Bakım Modeli

Geleneksel DP'nin bir modifikasyonu olan AP, çok amaçlı optimizasyonda yaygın olarak kullanılan bir araçtır. AP; amaç fonksiyonunu, karar değişkenlerini, kısıtları ve sapma değişkenlerini içerir. AP'de amaç fonksiyonu birden fazla amacı içerebilir. Hedef değerlerden sapmalar da genellikle en aza indirilir (ve ağırlıklandırılabilir).

Bu çalışmada geliştirilen AP modellerinin amaç satırlarında iki farklı amaç yer almaktadır. Bakım modellerinin amaç fonksiyonunda yer alan amaçlardan biri, ara hasılat etası için belirlenen hedef değerden olan sapmaların en aza indirilmesi ve diğeri de bölme ağırlık merkezlerinin orman içi rampalara olan toplam (DBM) ve ortalama (DOBM) mesafeleri için belirlenen hedef değerden sapmaların en aza indirilmesidir.

Bu modelde kullanılan ara hasılat etası hedef değeri 2.628 m^3 ve mesafe için belirlenen hedef değer DBM için 7 km, DOBM için ise 1 km'dir.

Araştırmanın bakım problemi için karışık tamsayılı doğrusal AP modeli ile karışık tamsayılı doğrusal olmayan AP modeli kullanılmıştır. Bu modellere uygun olarak Lingo 16'da koşturulabilecek komut dizini Microsoft Excel ve Microsoft Not Defteri kullanılarak yazılmıştır.

Karışık tamsayılı doğrusal AP modelinin matematiksel formülasyonu şöyledir:

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^{10} \sum_{j=1}^2 (w_{ij}^- d_{ij}^- + w_{ij}^+ d_{ij}^+) \quad (3.2)$$

Subject to

$$\sum_{i=1}^{10} (X_{ki}) = 1 \quad \forall k \quad (3.3)$$

$$\sum_{k=1}^K (V_{ki} X_{ki}) - VC_i = 0 \quad \forall i \quad (3.4)$$

$$X_{ki} - D_{kpi} \geq 0 \quad \forall i \quad (3.5)$$

$$\sum_{i=1}^{10} \sum_{p=1}^{10} (D_{kpi}) = 1 \quad \forall k \quad (3.6)$$

$$\sum_{i=1}^{10} (S_{kp} D_{kpi}) - SPR_i = 0 \quad \forall i \quad (3.7)$$

$$\sum_{k=1}^K (X_{ki}) - N_i = 0 \quad \forall i \quad (3.8)$$

$$N_i \geq 7 \quad \forall i \quad (3.9)$$

$$N_i \leq 10 \quad \forall i \quad (3.10)$$

$$VC_i + d_{i1}^- - d_{i1}^+ = VT_i \quad \forall i \quad (3.11)$$

$$SPR_i + d_{i2}^- - d_{i2}^+ = DT_i \quad \forall i \quad (3.12)$$

$$X_{ki} \in \{0,1\} \quad (3.13)$$

$$D_{kpi} \in \{0,1\} \quad (3.14)$$

Burada,

- i yıllar (1, 10),
- j amaçlar (1, 2) 1= odun hacmi, 2= bölmelerin orman içi rampasına uzaklığı,
- 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 plan ünitesindeki bölme sayısı,
- k plan ünitesindeki bölmeler,
- X_{ki} bölme k 'nin yıl i 'de kesilmesini temsil eden bir ikili (0, 1) karar değişkeni,
- V_{ki} bölme k 'nin yıl i 'de kesilmesi ile elde edilecek odun hacmi,
- VC_i yıl i 'de kesilecek toplam odun hacmi,
- p orman içi geçici rampa,
- D_{kpi} yıl i 'de bölme k 'nin ağırlık merkezinin orman içi geçici rampası p 'ye uzaklığını temsil eden bir ikili (0, 1) değişken,
- S_{kp} bölme k 'nin merkezi ile orman içi geçici rampası p arasındaki mesafe,

SPR_i yıl i için planlanan bölmelerin orman içi geçici rampası p 'ye olan toplam uzaklığı,

N_i yıl i için planlanan bölmelerin sayısı,

VT_i yıl i için odun hacmi hedefi,

DT_i yıl i için mesafe hedefidir.

Denklem (3.2), belirlenen odun hacminden ve mesafe hedefinden sapmaları en aza indiren amaç fonksiyonudur. Denklem (3.3), Denklem (3.13) ile birlikte, her bir bölmenin mutlaka kesilmesini sağlar. Denklem (3.4), planlanan odun hacmini toplayan hesaplama satırlarını ifade eder. Denklem (3.5), planlanan bir bölme ile orman içi geçici rampaların oluşturduğu çiftleri belirler. Denklem (3.6), Denklem (3.14) ile birlikte, planlanan bir bölme ile orman içi geçici rampaların oluşturduğu çiftlerin sadece bir tanesinin hesaba katılmasını sağlar. Denklem (3.7), planlanan bölmelerin orman içi geçici rampasına olan mesafelerini toplayan hesaplama satırlarını ifade eder. Denklem (3.8), planlanan bölmelerin sayısını belirler. Denklem (3.9 ve 3.10), her bir yıl için planlanan bölmelerin sayısını sınırlar. Bu kısıt, hem her yıl birbirine yakın sayıda üretim dosyası açılmasını sağlayarak yıllar arası iş dağılımını düzenlemekte ve hem de modelin çok büyük mesafe değerlerini kullanmasını önlenmektedir. Denklem (3.11) ile ifade edilen 10 eşitlik, odun hacmi hedefinden sapmaları belirler. Denklem (3.12) ile ifade edilen 10 eşitlik, mesafe hedefinden sapmaları belirler.

Yukarıdaki DBM'ye Denklem (3.15) eklenince DBM, DOBM'ye dönüşmüştür:

$$\left(\frac{SPR_i}{N_i} \right) - AVD_i = 0 \quad (3.15)$$

Burada,

AVD_i yıl i 'de, planlanan bölmeler ile orman içi rampası arasındaki ortalama uzaklıktır.

Bu DOBM'de AVD_i , Denklem (3.12)'deki SPR_i 'nin yerine geçer ve bu denklemdeki DT_i bölmeler ile orman içi rampası arasında hedeflenen ortalama uzaklığı temsil eder. Bu durumda modelin amaç satırında bölmeler ile rampalar arasındaki toplam mesafe yerine bu mesafenin planlanan bölme sayısına bölünmesi ile elde edilen (Denklem 3.15) ortalama mesafeden sapmalar yer alır.

3.2.2.2. Doğrusal Gençleştirme Modeli

Gençleştirme alanlarının (bölmeçiklerin) zaman ve mekân düzenlemesi için bir karışık tamsayılı doğrusal AP modeli geliştirilmiştir. Bu modelin amaç satırında iki farklı amaç yer almaktadır. Bunlar üretilecek orman ürünü miktarı ve gençleştirilecek alan büyüklüğü için belirlenen hedef değerlerden olan sapmaları en aza indirecek amaçlardır. Kısıtlar ise alan kısıtlarıdır. Bu kısıtlar daha önce de bahsedildiği üzere hem çok büyük alanda ve hem de küçük alanda çalışmayı engelleyen kısıtlardır.

Gençleştirme probleminin çözümü için tasarlanan karışık tamsayılı doğrusal AP modelinin matematiksel formülasyonu şöyledir:

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^{20} \sum_{j=1}^2 (w_{ij}^- d_{ij}^- + w_{ij}^+ d_{ij}^+) \quad (3.16)$$

Subject to

$$\sum_{i=1}^{20} (X_{ki}) = 1 \quad \forall k \quad (3.17)$$

$$\sum_{k=1}^K (A_{ki} X_{ki}) - AC_i = 0 \quad \forall i \quad (3.18)$$

$$\sum_{k=1}^K (V_{ki} X_{ki}) - VC_i = 0 \quad \forall i \quad (3.19)$$

$$X_{ki} + X_{mi} - 2 \times Pr_{pi} = 0 \quad \forall p \quad (3.20)$$

$$X_{ki} + \left(\sum_{i=4}^i X_{mi} + \sum_i^{i+4} X_{mi} \right) \leq 1 \quad \forall Pr_{pi} = 0 \text{ olan tüm } km \text{ çiftleri}, i - 4 > 0 \quad (3.21)$$

$$AC_i + d_{i1}^- - d_{i1}^+ = AT_i \quad \forall i \quad (3.22)$$

$$VC_i + d_{i2}^- - d_{i2}^+ = VT_i \quad \forall i \quad (3.23)$$

$$X_{ki} \in \{0,1\} \quad (3.24)$$

$$Pr_{pi} \in \{0,1\} \quad (3.25)$$

Burada,

- i yıllar (1, 20),
- 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 gençleştirilmesini temsil eden bir ikili (0, 1) karar değişkeni,
- X_{mi} bölme m 'nin yıl i 'de gençleştirilmesini 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 (3.16), belirlenen gençleştirilecek alan hedefinden ve kesilecek odun hacminden sapmaları en aza indiren amaç fonksiyonudur. Denklem (3.17), Denklem (3.24) ile birlikte her bir bölmenin mutlaka kesilmesini sağlar. Denklem (3.18), gençleştirilecek alanları toplayan hesaplama satırlarını ifade eder. Denklem (3.19), planlanan odun hacmini toplayan hesaplama satırlarını ifade eder. Denklem (3.20), Denklem (3.25) ile birlikte birbirine komşu olan 5 ha'dan küçük k ve m bölmeciklerinin aynı yıl gençleştirilmesini sağlar. Denklem (3.21), birbirine komşu olan k ve m bölmeciklerden biri gençleştirildiğinde diğerinin 5 yıl boyunca gençleştirilmemesini sağlar. Denklem (3.22) ile ifade edilen 20 eşitlik, gençleştirilecek alan hedefinden sapmaları belirler. Denklem (3.23) ile ifade edilen 20 eşitlik, kesilecek odun hacmi hedefinden sapmaları belirler.

3.2.3. Modellerin Komut Dizinlerinin Yazılması

Daha önce de ifade edildiği üzere modellere ait komut dizinleri, Lingo 16'da koşturulabilecek şekilde Microsoft Excel yardımıyla Microsoft Not Defteri'nde yazılmıştır. Bu çalışmada modeller açık formda yazılmıştır.

3.2.3.1. Bakım Modellerinin Komut Dizini

Bakım problemini çözmek için bir DBM ve bir de DOBM geliştirilmiştir. Bu modellerin komut dizinini yazmaya DBM'nin Denklem (3.2)'de verilen amaç fonksiyonu yazarak başlanmıştır. Amaç fonksiyonunda hedef değerlerden sapmalar en aza indirileceği için modelin başına İngilizce dilinde “*en aza indir*” anlamında olan “*minimize*” kelimesinin ilk üç harfi olan “*MIN*” yazılmıştır.

Değişkenlerin isimlendirilmesinde büyük ya da küçük harf kullanılabilir ancak bütün değişken isimleri bir harf (A-Z) ile başlamalıdır. Sonraki karakterler harf, rakam (0-9) veya altçizgi olabilir. İsimler en fazla 64 karakter uzunluğunda olabilir. İsimlendirmede İngilizcede olmayan Türkçe harfler (ğ, ü, ş, ı, ö ve ç) kesinlikle kullanılmamalıdır. Modelin amaç satırında yer alan değişken adları ve ne anlama geldikleri aşağıda açıklanmıştır:

- *NegVC*: Kesilecek odun hacmi hedefinden olan negatif sapma,
- *PosVC*: Kesilecek odun hacmi hedefinden olan pozitif sapma,
- *NegSPR*: Bölme merkezlerinin rampaya uzaklığı hedefinden olan negatif sapma,
- *PosSPR*: Bölme merkezlerinin rampaya uzaklığı hedefinden olan pozitif sapmadır.

Bu değişkenlerin sonlarındaki rakamlar değişkenin temsil ettiği yılı göstermektedir. Değişkenlerin önünde yer alan ondalık sayılar ise değişkenlere ait değerleri çarpmak için kullanılan 0-1 arasındaki ağırlık katsayılarıdır. Çalışma kapsamında geliştirilen üç modelin amaç satırlarındaki bu değişkenler, Tablo 3.13'teki katsayılar ile çarpılarak her bir model için 11 senaryo oluşturulmuştur. Bu ağırlıklar, amaç fonksiyon öğelerinin önem katsayısı değiştirildiğinde hacim, mesafe ve alan çıktılarındaki sapmaları gözlemlemek için seçilmiştir.

DBM'nin 3. senaryosuna ait amaç fonksiyonunun açık formda yazılışı Şekil 3.9'da verilmiştir. Görüldüğü gibi ağırlık değerleri (0,2 ve 0,8) ile değişken adları arasına çarpı (*) işareti konmuş ve bunlar toplanmıştır. Katsayılar ile “*” ve “+” işaretleri arasında birden fazla sayıda boşluk bırakılabilir. Her bir matematiksel işlemiş sonunda mutlaka “;” konmalıdır.

Tablo 3.13: Modellerin amaç fonksiyonlarındaki değişkenlerine ait ağırlık katsayıları.

Senaryolar	Ağırlıklar	
	Amaç 1	Amaç 2
Senaryo 1	1	0
Senaryo 2	0,9	0,1
Senaryo 3	0,8	0,2
Senaryo 4	0,7	0,3
Senaryo 5	0,6	0,4
Senaryo 6	0,5	0,5
Senaryo 7	0,4	0,6
Senaryo 8	0,3	0,7
Senaryo 9	0,2	0,8
Senaryo 10	0,1	0,9
Senaryo 11	0	1

$$\begin{aligned}
\text{MIN} = & 0.8 * \text{NegVC1} + 0.8 * \text{PosVC1} + 0.8 * \text{NegVC2} + 0.8 * \text{PosVC2} \\
& + 0.8 * \text{NegVC3} + 0.8 * \text{PosVC3} + 0.8 * \text{NegVC4} + 0.8 * \text{PosVC4} \\
& + 0.8 * \text{NegVC5} + 0.8 * \text{PosVC5} + 0.8 * \text{NegVC6} + 0.8 * \text{PosVC6} \\
& + 0.8 * \text{NegVC7} + 0.8 * \text{PosVC7} + 0.8 * \text{NegVC8} + 0.8 * \text{PosVC8} \\
& + 0.8 * \text{NegVC9} + 0.8 * \text{PosVC9} + 0.8 * \text{NegVC10} + 0.8 * \text{PosVC10} \\
& + 0.2 * \text{PosSPR1} + 0.2 * \text{NegSPR1} + 0.2 * \text{PosSPR2} + 0.2 * \text{NegSPR2} \\
& + 0.2 * \text{PosSPR3} + 0.2 * \text{NegSPR3} + 0.2 * \text{PosSPR4} + 0.2 * \text{NegSPR4} \\
& + 0.2 * \text{PosSPR5} + 0.2 * \text{NegSPR5} + 0.2 * \text{PosSPR6} + 0.2 * \text{NegSPR6} \\
& + 0.2 * \text{PosSPR7} + 0.2 * \text{NegSPR7} + 0.2 * \text{PosSPR8} + 0.2 * \text{NegSPR8} \\
& + 0.2 * \text{PosSPR9} + 0.2 * \text{NegSPR9} + 0.2 * \text{PosSPR10} + 0.2 * \text{NegSPR10};
\end{aligned}$$

Şekil 3.9: DBM'nin 3. senaryosuna ait amaç fonksiyonunun açık formda yazılışı.

Amaç satırından sonra Denklem (3.3)'de verilen arazi kısıtları yazılmıştır. Lingo için açık formda yazılan modellerde amaç fonksiyonu ile kısıtlar arasına “*subject to*” yazmaya gerek yoktur. Ayrıca denklemlere numara vermeye de gerek yoktur. Amaç fonksiyonundan sonra gelmek üzere Şekil 3.10'da gösterildiği üzere, plan ünitesinde bakıma konu 84 bölme için 84 adet arazi kısıtı yazılmıştır. Modele Denklem (3.13)'de verilen ikili tamsayı satırları ekleneceği için *S97Y1* (*stand 97, year 1*) gibi değişkenlerin değeri 0 (kesme) ya da 1 (kes) olacaktır. Her ne kadar bakım planlaması bölme düzeyinde yapılmış olsa da değişken isimlendirmesinde İngilizce dilinde meşçere anlamında olan *stand* kelimesinin ilk harfi kullanılmıştır.

Planda bakım kesimleri dönüş süresi 10 yıl olduğu için, bölmede bakımın bu süre içerisinde yapılması gerekmektedir. Bu yüzden her bir bölmeye 1'den 10'a kadar değişen değişken ismi verilmiştir (*S97Y1, S97Y2, ..., S97Y10*). Bilgisayar, modeli çözerken bu değişkenlerden sadece birisinin değeri 1'e eşit olacaktır. Plan döneminde bu bölmelerin tamamında sadece 1 kez kesim yapılması istendiğinden işlem 1'e eşitlenmiştir. Örneğin *S97Y7*'nin değeri 1 olmuş olsun. Bu durumda 97 no.lu bölme 7. yılda bakım kesimlerine tabi tutulur.

$$\begin{aligned}
&S97Y1 + S97Y2 + S97Y3 + S97Y4 + S97Y5 + S97Y6 + S97Y7 + S97Y8 + S97Y9 + S97Y10 = 1; \\
&S132Y1 + S132Y2 + S132Y3 + S132Y4 + S132Y5 + S132Y6 + S132Y7 + S132Y8 + S132Y9 + S132Y10 = 1; \\
&S168Y1 + S168Y2 + S168Y3 + S168Y4 + S168Y5 + S168Y6 + S168Y7 + S168Y8 + S168Y9 + S168Y10 = 1; \\
&S169Y1 + S169Y2 + S169Y3 + S169Y4 + S169Y5 + S169Y6 + S169Y7 + S169Y8 + S169Y9 + S169Y10 = 1; \\
&S170Y1 + S170Y2 + S170Y3 + S170Y4 + S170Y5 + S170Y6 + S170Y7 + S170Y8 + S170Y9 + S170Y10 = 1; \\
&\dots \\
&S204Y1 + S204Y2 + S204Y3 + S204Y4 + S204Y5 + S204Y6 + S204Y7 + S204Y8 + S204Y9 + S204Y10 = 1; \\
&S205Y1 + S205Y2 + S205Y3 + S205Y4 + S205Y5 + S205Y6 + S205Y7 + S205Y8 + S205Y9 + S205Y10 = 1; \\
&S207Y1 + S207Y2 + S207Y3 + S207Y4 + S207Y5 + S207Y6 + S207Y7 + S207Y8 + S207Y9 + S207Y10 = 1; \\
&S208Y1 + S208Y2 + S208Y3 + S208Y4 + S208Y5 + S208Y6 + S208Y7 + S208Y8 + S208Y9 + S208Y10 = 1; \\
&S209Y1 + S209Y2 + S209Y3 + S209Y4 + S209Y5 + S209Y6 + S209Y7 + S209Y8 + S209Y9 + S209Y10 = 1; \\
&\dots \\
&S236Y1 + S236Y2 + S236Y3 + S236Y4 + S236Y5 + S236Y6 + S236Y7 + S236Y8 + S236Y9 + S236Y10 = 1; \\
&S237Y1 + S237Y2 + S237Y3 + S237Y4 + S237Y5 + S237Y6 + S237Y7 + S237Y8 + S237Y9 + S237Y10 = 1; \\
&S239Y1 + S239Y2 + S239Y3 + S239Y4 + S239Y5 + S239Y6 + S239Y7 + S239Y8 + S239Y9 + S239Y10 = 1; \\
&S241Y1 + S241Y2 + S241Y3 + S241Y4 + S241Y5 + S241Y6 + S241Y7 + S241Y8 + S241Y9 + S241Y10 = 1; \\
&S242Y1 + S242Y2 + S242Y3 + S242Y4 + S242Y5 + S242Y6 + S242Y7 + S242Y8 + S242Y9 + S242Y10 = 1; \\
&\dots \\
&S282Y1 + S282Y2 + S282Y3 + S282Y4 + S282Y5 + S282Y6 + S282Y7 + S282Y8 + S282Y9 + S282Y10 = 1; \\
&S284Y1 + S284Y2 + S284Y3 + S284Y4 + S284Y5 + S284Y6 + S284Y7 + S284Y8 + S284Y9 + S284Y10 = 1; \\
&S285Y1 + S285Y2 + S285Y3 + S285Y4 + S285Y5 + S285Y6 + S285Y7 + S285Y8 + S285Y9 + S285Y10 = 1; \\
&S286Y1 + S286Y2 + S286Y3 + S286Y4 + S286Y5 + S286Y6 + S286Y7 + S286Y8 + S286Y9 + S286Y10 = 1; \\
&S287Y1 + S287Y2 + S287Y3 + S287Y4 + S287Y5 + S287Y6 + S287Y7 + S287Y8 + S287Y9 + S287Y10 = 1; \\
&\dots \\
&S320Y1 + S320Y2 + S320Y3 + S320Y4 + S320Y5 + S320Y6 + S320Y7 + S320Y8 + S320Y9 + S320Y10 = 1; \\
&S322Y1 + S322Y2 + S322Y3 + S322Y4 + S322Y5 + S322Y6 + S322Y7 + S322Y8 + S322Y9 + S322Y10 = 1; \\
&S323Y1 + S323Y2 + S323Y3 + S323Y4 + S323Y5 + S323Y6 + S323Y7 + S323Y8 + S323Y9 + S323Y10 = 1; \\
&S330Y1 + S330Y2 + S330Y3 + S330Y4 + S330Y5 + S330Y6 + S330Y7 + S330Y8 + S330Y9 + S330Y10 = 1; \\
&S337Y1 + S337Y2 + S337Y3 + S337Y4 + S337Y5 + S337Y6 + S337Y7 + S337Y8 + S337Y9 + S337Y10 = 1;
\end{aligned}$$

Şekil 3.10: Bakım modellerinde arazi kısıtının açık formda yazılışı.

Arazi kısıtlarından sonra, Denklem (3.4)'de verilen ve her bir yılda üretilecek odun hacmini hesaplayan 10 adet hesaplama satırı yazılmıştır. Şekil 3.11'de planın 1. yılında üretilecek odun hacmini hesaplayan satır örnek olarak verilmiştir. Diğer yıllar için sadece Y 'den ve VC 'den sonra gelen rakam değişecek, diğer bütün sayılar aynı kalacaktır. Burada $S97Y1$ 'in karşısındaki 767 sayısı, 97 no.lu bölmenin etasını göstermektedir. Modelin çözümünde eğer $S97Y1$ 'nin değeri 1'e eşit olursa, 767 sayısı 1 ile çarpılarak toplama dahil edilecektir. Burada kullanılan $VC1$ (*volume cut*) değişkeni 1. yılda kesilecek ağaçların hacminin toplamını veren sağ taraf değeridir. AP modellerinde sağ taraf değerinin sayı olması gerektiğinden $VC1$, eşitliğin soluna geçirilmiş ve işareti de değiştirilmiştir.

$$\begin{aligned}
&767 * S97Y1 + 8 * S132Y1 + 123 * S168Y1 + 59 * S169Y1 + 187 * S170Y1 + 43 * S188Y1 \\
&+ 39 * S191Y1 + 84 * S194Y1 + 904 * S195Y1 + 230 * S196Y1 + 156 * S197Y1 + 50 * S204Y1 \\
&+ 333 * S205Y1 + 132 * S207Y1 + 127 * S208Y1 + 408 * S209Y1 + 302 * S210Y1 + 8 * S211Y1 \\
&+ 66 * S212Y1 + 12 * S213Y1 + 502 * S214Y1 + 288 * S215Y1 + 180 * S220Y1 + 32 * S222Y1 \\
&+ 574 * S225Y1 + 526 * S226Y1 + 364 * S227Y1 + 560 * S228Y1 + 116 * S229Y1 + 154 * S235Y1 \\
&+ 18 * S236Y1 + 1297 * S237Y1 + 170 * S239Y1 + 140 * S241Y1 + 526 * S242Y1 + 572 * S243Y1 \\
&+ 130 * S244Y1 + 102 * S246Y1 + 146 * S251Y1 + 32 * S252Y1 + 352 * S253Y1 + 344 * S254Y1 \\
&+ 48 * S255Y1 + 28 * S256Y1 + 16 * S258Y1 + 305 * S262Y1 + 471 * S263Y1 + 491 * S264Y1 \\
&+ 58 * S265Y1 + 294 * S266Y1 + 735 * S268Y1 + 804 * S270Y1 + 132 * S273Y1 + 398 * S274Y1 \\
&+ 403 * S275Y1 + 10 * S276Y1 + 184 * S282Y1 + 265 * S284Y1 + 422 * S285Y1 + 188 * S286Y1 \\
&+ 256 * S287Y1 + 254 * S288Y1 + 547 * S289Y1 + 857 * S290Y1 + 529 * S291Y1 + 102 * S292Y1 \\
&+ 992 * S293Y1 + 353 * S297Y1 + 78 * S298Y1 + 417 * S299Y1 + 22 * S300Y1 + 730 * S302Y1 \\
&+ 155 * S305Y1 + 411 * S306Y1 + 374 * S307Y1 + 544 * S311Y1 + 550 * S312Y1 + 232 * S313Y1 \\
&+ 372 * S319Y1 + 26 * S320Y1 + 660 * S322Y1 + 672 * S323Y1 + 152 * S330Y1 + 580 * S337Y1 - VC1 = 0;
\end{aligned}$$

Şekil 3.11: Bakım modellerinde 1. yılda üretilecek odun hacmini veren hesaplama satırının yazılışı.

Dördüncü olarak, Denklem (3.5) ile gösterilen ve planlanan bir bölme ile orman içi geçici rampaların oluşturduğu çiftleri belirleyen 840 adet satır yazılmıştır. Şekil 3.12’de planın 1. yılı ile 1 no.lu geçici rampa arasında oluşan çiftlere ilişkin satırlar verilmiştir. Burada örneğin *D97T1Y1*, 97 no.lu bölmenin ağırlık merkezinin planın 1. yılında 1 no.lu orman içi rampasına olan uzaklığını temsil eden değişkenin adıdır. Planın diğer yılları ile de diğer rampalar eşleştirilmiştir. Bu sistem ile hangi rampa etrafında hangi yıla ait bakım bloğunun oluşturulacağı kolaylıkla kararlaştırılabilir.

S97Y1	-	D97T1Y1	>= 0;	S255Y1	-	D255T1Y1	>= 0;
S132Y1	-	D132T1Y1	>= 0;	S256Y1	-	D256T1Y1	>= 0;
S168Y1	-	D168T1Y1	>= 0;	S258Y1	-	D258T1Y1	>= 0;
S169Y1	-	D169T1Y1	>= 0;	S262Y1	-	D262T1Y1	>= 0;
S170Y1	-	D170T1Y1	>= 0;	S263Y1	-	D263T1Y1	>= 0;
S188Y1	-	D188T1Y1	>= 0;	S264Y1	-	D264T1Y1	>= 0;
S191Y1	-	D191T1Y1	>= 0;	S265Y1	-	D265T1Y1	>= 0;
S194Y1	-	D194T1Y1	>= 0;	S266Y1	-	D266T1Y1	>= 0;
S195Y1	-	D195T1Y1	>= 0;	S268Y1	-	D268T1Y1	>= 0;
S196Y1	-	D196T1Y1	>= 0;	S270Y1	-	D270T1Y1	>= 0;
S197Y1	-	D197T1Y1	>= 0;	S273Y1	-	D273T1Y1	>= 0;
S204Y1	-	D204T1Y1	>= 0;	S274Y1	-	D274T1Y1	>= 0;
S205Y1	-	D205T1Y1	>= 0;	S275Y1	-	D275T1Y1	>= 0;
S207Y1	-	D207T1Y1	>= 0;	S276Y1	-	D276T1Y1	>= 0;
S208Y1	-	D208T1Y1	>= 0;	S282Y1	-	D282T1Y1	>= 0;
S209Y1	-	D209T1Y1	>= 0;	S284Y1	-	D284T1Y1	>= 0;
S210Y1	-	D210T1Y1	>= 0;	S285Y1	-	D285T1Y1	>= 0;
S211Y1	-	D211T1Y1	>= 0;	S286Y1	-	D286T1Y1	>= 0;
S212Y1	-	D212T1Y1	>= 0;	S287Y1	-	D287T1Y1	>= 0;
S213Y1	-	D213T1Y1	>= 0;	S288Y1	-	D288T1Y1	>= 0;
S214Y1	-	D214T1Y1	>= 0;	S289Y1	-	D289T1Y1	>= 0;
S215Y1	-	D215T1Y1	>= 0;	S290Y1	-	D290T1Y1	>= 0;
S220Y1	-	D220T1Y1	>= 0;	S291Y1	-	D291T1Y1	>= 0;
S222Y1	-	D222T1Y1	>= 0;	S292Y1	-	D292T1Y1	>= 0;
S225Y1	-	D225T1Y1	>= 0;	S293Y1	-	D293T1Y1	>= 0;
S226Y1	-	D226T1Y1	>= 0;	S297Y1	-	D297T1Y1	>= 0;
S227Y1	-	D227T1Y1	>= 0;	S298Y1	-	D298T1Y1	>= 0;
S228Y1	-	D228T1Y1	>= 0;	S299Y1	-	D299T1Y1	>= 0;
S229Y1	-	D229T1Y1	>= 0;	S300Y1	-	D300T1Y1	>= 0;
S235Y1	-	D235T1Y1	>= 0;	S302Y1	-	D302T1Y1	>= 0;
S236Y1	-	D236T1Y1	>= 0;	S305Y1	-	D305T1Y1	>= 0;
S237Y1	-	D237T1Y1	>= 0;	S306Y1	-	D306T1Y1	>= 0;
S239Y1	-	D239T1Y1	>= 0;	S307Y1	-	D307T1Y1	>= 0;
S241Y1	-	D241T1Y1	>= 0;	S311Y1	-	D311T1Y1	>= 0;
S242Y1	-	D242T1Y1	>= 0;	S312Y1	-	D312T1Y1	>= 0;
S243Y1	-	D243T1Y1	>= 0;	S313Y1	-	D313T1Y1	>= 0;
S244Y1	-	D244T1Y1	>= 0;	S319Y1	-	D319T1Y1	>= 0;
S246Y1	-	D246T1Y1	>= 0;	S320Y1	-	D320T1Y1	>= 0;
S251Y1	-	D251T1Y1	>= 0;	S322Y1	-	D322T1Y1	>= 0;
S252Y1	-	D252T1Y1	>= 0;	S323Y1	-	D323T1Y1	>= 0;
S253Y1	-	D253T1Y1	>= 0;	S330Y1	-	D330T1Y1	>= 0;

Şekil 3.12: Planın 1. yılında kesilecek bölmeler ile 1 no.lu geçici rampa arasında oluşan çiftler.

Beşinci olarak, Denklem (3.6) ile verilen ve planlanan bir bölme ile orman içi geçici rampaların oluşturduğu çiftlerin sadece bir tanesinin hesaba katılmasını sağlayan 84 adet eşitlik yazılmıştır (Şekil 3.13). Burada kullanılan değişkenlerin 0 veya 1 gibi ikili tamsayı değerler alabilmesi için modelin sonuna ikili tamsayı satırları ilave edilmiştir.

D97T1Y1 + D97T2Y2 + D97T3Y3 + D97T4Y4 + D97T5Y5 + D97T6Y6 + D97T7Y7 + D97T8Y8 + D97T9Y9 + D97T10Y10 = 1;
 D132T1Y1 + D132T2Y2 + D132T3Y3 + D132T4Y4 + D132T5Y5 + D132T6Y6 + D132T7Y7 + D132T8Y8 + D132T9Y9 + D132T10Y10 = 1;
 D168T1Y1 + D168T2Y2 + D168T3Y3 + D168T4Y4 + D168T5Y5 + D168T6Y6 + D168T7Y7 + D168T8Y8 + D168T9Y9 + D168T10Y10 = 1;
 D169T1Y1 + D169T2Y2 + D169T3Y3 + D169T4Y4 + D169T5Y5 + D169T6Y6 + D169T7Y7 + D169T8Y8 + D169T9Y9 + D169T10Y10 = 1;
 D170T1Y1 + D170T2Y2 + D170T3Y3 + D170T4Y4 + D170T5Y5 + D170T6Y6 + D170T7Y7 + D170T8Y8 + D170T9Y9 + D170T10Y10 = 1;
 ...
 D212T1Y1 + D212T2Y2 + D212T3Y3 + D212T4Y4 + D212T5Y5 + D212T6Y6 + D212T7Y7 + D212T8Y8 + D212T9Y9 + D212T10Y10 = 1;
 D213T1Y1 + D213T2Y2 + D213T3Y3 + D213T4Y4 + D213T5Y5 + D213T6Y6 + D213T7Y7 + D213T8Y8 + D213T9Y9 + D213T10Y10 = 1;
 D214T1Y1 + D214T2Y2 + D214T3Y3 + D214T4Y4 + D214T5Y5 + D214T6Y6 + D214T7Y7 + D214T8Y8 + D214T9Y9 + D214T10Y10 = 1;
 D215T1Y1 + D215T2Y2 + D215T3Y3 + D215T4Y4 + D215T5Y5 + D215T6Y6 + D215T7Y7 + D215T8Y8 + D215T9Y9 + D215T10Y10 = 1;
 D220T1Y1 + D220T2Y2 + D220T3Y3 + D220T4Y4 + D220T5Y5 + D220T6Y6 + D220T7Y7 + D220T8Y8 + D220T9Y9 + D220T10Y10 = 1;
 ...
 D244T1Y1 + D244T2Y2 + D244T3Y3 + D244T4Y4 + D244T5Y5 + D244T6Y6 + D244T7Y7 + D244T8Y8 + D244T9Y9 + D244T10Y10 = 1;
 D246T1Y1 + D246T2Y2 + D246T3Y3 + D246T4Y4 + D246T5Y5 + D246T6Y6 + D246T7Y7 + D246T8Y8 + D246T9Y9 + D246T10Y10 = 1;
 D251T1Y1 + D251T2Y2 + D251T3Y3 + D251T4Y4 + D251T5Y5 + D251T6Y6 + D251T7Y7 + D251T8Y8 + D251T9Y9 + D251T10Y10 = 1;
 D252T1Y1 + D252T2Y2 + D252T3Y3 + D252T4Y4 + D252T5Y5 + D252T6Y6 + D252T7Y7 + D252T8Y8 + D252T9Y9 + D252T10Y10 = 1;
 D253T1Y1 + D253T2Y2 + D253T3Y3 + D253T4Y4 + D253T5Y5 + D253T6Y6 + D253T7Y7 + D253T8Y8 + D253T9Y9 + D253T10Y10 = 1;
 ...
 D287T1Y1 + D287T2Y2 + D287T3Y3 + D287T4Y4 + D287T5Y5 + D287T6Y6 + D287T7Y7 + D287T8Y8 + D287T9Y9 + D287T10Y10 = 1;
 D288T1Y1 + D288T2Y2 + D288T3Y3 + D288T4Y4 + D288T5Y5 + D288T6Y6 + D288T7Y7 + D288T8Y8 + D288T9Y9 + D288T10Y10 = 1;
 D289T1Y1 + D289T2Y2 + D289T3Y3 + D289T4Y4 + D289T5Y5 + D289T6Y6 + D289T7Y7 + D289T8Y8 + D289T9Y9 + D289T10Y10 = 1;
 D290T1Y1 + D290T2Y2 + D290T3Y3 + D290T4Y4 + D290T5Y5 + D290T6Y6 + D290T7Y7 + D290T8Y8 + D290T9Y9 + D290T10Y10 = 1;
 D291T1Y1 + D291T2Y2 + D291T3Y3 + D291T4Y4 + D291T5Y5 + D291T6Y6 + D291T7Y7 + D291T8Y8 + D291T9Y9 + D291T10Y10 = 1;
 ...
 D320T1Y1 + D320T2Y2 + D320T3Y3 + D320T4Y4 + D320T5Y5 + D320T6Y6 + D320T7Y7 + D320T8Y8 + D320T9Y9 + D320T10Y10 = 1;
 D322T1Y1 + D322T2Y2 + D322T3Y3 + D322T4Y4 + D322T5Y5 + D322T6Y6 + D322T7Y7 + D322T8Y8 + D322T9Y9 + D322T10Y10 = 1;
 D323T1Y1 + D323T2Y2 + D323T3Y3 + D323T4Y4 + D323T5Y5 + D323T6Y6 + D323T7Y7 + D323T8Y8 + D323T9Y9 + D323T10Y10 = 1;
 D330T1Y1 + D330T2Y2 + D330T3Y3 + D330T4Y4 + D330T5Y5 + D330T6Y6 + D330T7Y7 + D330T8Y8 + D330T9Y9 + D330T10Y10 = 1;
 D337T1Y1 + D337T2Y2 + D337T3Y3 + D337T4Y4 + D337T5Y5 + D337T6Y6 + D337T7Y7 + D337T8Y8 + D337T9Y9 + D337T10Y10 = 1;

Şekil 3.13: Planlanan bir bölme ile orman içi geçici rampaların oluşturduğu çiftlerin sadece bir tanesinin hesaba katılmasını sağlayan eşitlikler.

Altıncı olarak, Denklem (3.7) ile gösterilen ve planlanan bölmelerin ağırlık merkezlerinin orman içi geçici rampalarına olan mesafelerini toplayan 10 adet hesaplama satırı yazılmıştır. Şekil 3.14’de bu hesaplama satırlarından planın 1. yılına ait olanı verilmiştir. Diğer yıllar için T ve Y ’den sonra gelen rakamlar aynı olacak şekilde değiştirilecektir. Burada örneğin $D132T1Y1$ ’in karşısında yer alan 3,6 sayısı, 132 no.lu bölmenin ağırlık merkezinin 1 no.lu orman içi geçici rampasına olan uzaklığını ifade etmektedir. Kullanılan uzaklık birimi km’dir.

3	*	D97T1Y1	+ 3.6	*	D132T1Y1	+ 0.5	*	D168T1Y1	+ 1.5	*	D169T1Y1	+ 1.4	*	D170T1Y1
+ 1.8	*	D188T1Y1	+ 3.2	*	D191T1Y1	+ 4.4	*	D194T1Y1	+ 4.8	*	D195T1Y1	+ 5.4	*	D196T1Y1
+ 6	*	D197T1Y1	+ 2	*	D204T1Y1	+ 2.8	*	D205T1Y1	+ 2.6	*	D207T1Y1	+ 3.2	*	D208T1Y1
+ 3.4	*	D209T1Y1	+ 3	*	D210T1Y1	+ 3.9	*	D211T1Y1	+ 4.5	*	D212T1Y1	+ 4.5	*	D213T1Y1
+ 5.5	*	D214T1Y1	+ 5.7	*	D215T1Y1	+ 3	*	D220T1Y1	+ 4.1	*	D222T1Y1	+ 4.1	*	D225T1Y1
+ 4	*	D226T1Y1	+ 4.6	*	D227T1Y1	+ 4.9	*	D228T1Y1	+ 5.1	*	D229T1Y1	+ 3.6	*	D235T1Y1
+ 3.9	*	D236T1Y1	+ 4.5	*	D237T1Y1	+ 4.8	*	D239T1Y1	+ 4.5	*	D241T1Y1	+ 4.4	*	D242T1Y1
+ 5.2	*	D243T1Y1	+ 5	*	D244T1Y1	+ 5.6	*	D246T1Y1	+ 5.2	*	D251T1Y1	+ 5.9	*	D252T1Y1
+ 5.7	*	D253T1Y1	+ 5.9	*	D254T1Y1	+ 6.5	*	D255T1Y1	+ 5.8	*	D256T1Y1	+ 6.6	*	D258T1Y1
+ 6.5	*	D262T1Y1	+ 6.4	*	D263T1Y1	+ 6.5	*	D264T1Y1	+ 7	*	D265T1Y1	+ 7.2	*	D266T1Y1
+ 7.5	*	D268T1Y1	+ 7.7	*	D270T1Y1	+ 8.1	*	D273T1Y1	+ 7.7	*	D274T1Y1	+ 8.2	*	D275T1Y1
+ 8.2	*	D276T1Y1	+ 8.5	*	D282T1Y1	+ 9.4	*	D284T1Y1	+ 9.4	*	D285T1Y1	+ 8.6	*	D286T1Y1
+ 9.4	*	D287T1Y1	+ 10.1	*	D288T1Y1	+ 8.8	*	D289T1Y1	+ 9.4	*	D290T1Y1	+ 9.9	*	D291T1Y1
+ 10.9	*	D292T1Y1	+ 10.8	*	D293T1Y1	+ 10.3	*	D297T1Y1	+ 10.5	*	D298T1Y1	+ 10.8	*	D299T1Y1
+ 11.4	*	D300T1Y1	+ 11.9	*	D302T1Y1	+ 11.7	*	D305T1Y1	+ 11.4	*	D306T1Y1	+ 12.2	*	D307T1Y1
+ 13.1	*	D311T1Y1	+ 12.7	*	D312T1Y1	+ 12.9	*	D313T1Y1	+ 12.7	*	D319T1Y1	+ 13.2	*	D320T1Y1
+ 14.1	*	D322T1Y1	+ 14.7	*	D323T1Y1	+ 15	*	D330T1Y1	+ 15.5	*	D337T1Y1	- SPR1	= 0;	

Şekil 3.14: Planın 1. yılı için planlanan bölmelerin ağırlık merkezlerinin 1 no.lu orman içi geçici rampasına olan mesafelerini toplayan hesaplama satırı.

Yedinci olarak, Denklem (3.8) ile verilen ve planlanan bölmelerin sayısını belirleyen 10 adet hesaplama satırı yazılmıştır. Şekil 3.15’de bu hesaplama satırlarından planın 1. yılına ait olanı verilmiştir. Diğer yıllar için sadece *Y*’den sonra gelen rakamlar değişecektir. Burada kullanılan *NumSCY1* değişkeni planın 1. yılında kesilecek bölmelerin sayısını ifade etmektedir. Görüldüğü gibi eşitliğin sağ tarafında sayı olmasını sağlamak için bu değişken eşitliğin sol kısmına işaret değiştirerek geçmiştir.

$$\begin{aligned}
 & S97Y1 + S132Y1 + S168Y1 + S169Y1 + S170Y1 + S188Y1 + S191Y1 + S194Y1 + S195Y1 + S196Y1 \\
 & + S197Y1 + S204Y1 + S205Y1 + S207Y1 + S208Y1 + S209Y1 + S210Y1 + S211Y1 + S212Y1 + S213Y1 \\
 & + S214Y1 + S215Y1 + S220Y1 + S222Y1 + S225Y1 + S226Y1 + S227Y1 + S228Y1 + S229Y1 + S235Y1 \\
 & + S236Y1 + S237Y1 + S239Y1 + S241Y1 + S242Y1 + S243Y1 + S244Y1 + S246Y1 + S251Y1 + S252Y1 \\
 & + S253Y1 + S254Y1 + S255Y1 + S256Y1 + S258Y1 + S262Y1 + S263Y1 + S264Y1 + S265Y1 + S266Y1 \\
 & + S268Y1 + S270Y1 + S273Y1 + S274Y1 + S275Y1 + S276Y1 + S282Y1 + S284Y1 + S285Y1 + S286Y1 \\
 & + S287Y1 + S288Y1 + S289Y1 + S290Y1 + S291Y1 + S292Y1 + S293Y1 + S297Y1 + S298Y1 + S299Y1 \\
 & + S300Y1 + S302Y1 + S305Y1 + S306Y1 + S307Y1 + S311Y1 + S312Y1 + S313Y1 + S319Y1 + S320Y1 \\
 & + S322Y1 + S323Y1 + S330Y1 + S337Y1 - NumSCY1 = 0;
 \end{aligned}$$

Şekil 3.15: Planın 1. yılı için planlanan bölmelerin sayısını veren hesaplama satırı.

Sekizinci olarak, Denklem (3.9 ve 3.10) ile verilen ve her bir yıl için planlanan bölmelerin sayısını sınırlayan kısıtlar yazılmıştır (Şekil 3.16). Bu kısıtlar, hem her yıl birbirine yakın sayıda bölmenin planlanması ve hem de modelin uçlardaki değerleri kullanmasını önlenmek için düşünülmüştür. Bu kısıtlar kullanılmadığı zaman, model istenilen sayıda yinelemeyi daha kısa bir süre içerisinde tamamlayacaktır.

$$\begin{array}{ll}
 NUMSCY1 >= 7; & NUMSCY1 <= 10; \\
 NUMSCY2 >= 7; & NUMSCY2 <= 10; \\
 NUMSCY3 >= 7; & NUMSCY3 <= 10; \\
 NUMSCY4 >= 7; & NUMSCY4 <= 10; \\
 NUMSCY5 >= 7; & NUMSCY5 <= 10; \\
 NUMSCY6 >= 7; & NUMSCY6 <= 10; \\
 NUMSCY7 >= 7; & NUMSCY7 <= 10; \\
 NUMSCY8 >= 7; & NUMSCY8 <= 10; \\
 NUMSCY9 >= 7; & NUMSCY9 <= 10; \\
 NUMSCY10 >= 7; & NUMSCY10 <= 10;
 \end{array}$$

Şekil 3.16: Her bir yıl için planlanan bölmelerin sayısını sınırlayan kısıtlar.

Dokuzuncu olarak, Denklem (3.11 ve 3.12) ile ifade edilen ve odun hacmi hedefinden ve mesafe hedefinden sapmaları belirleyen 20 adet eşitlik yazılmıştır. Şekil 3.17’de görüldüğü üzere bakım kesimleri ile üretilen odun hacmi hedefi 2.628 m³’tür. Bakım bloğuna ait bölmeler ile o bakım bloğu içerisinde yer alan orman içi rampa arasında oluşacak uzaklığa ait hedef ise 7 km’dir. Modelin amaç fonksiyonunda kullanılan ve toplamaları en aza indirilmeye çalışılan *NegVC*, *PosVC*, *NegSPR* ve *PosSPR* değişkenleri değerlerini modelin bu kısmından almaktadır.

VC1	+	NegVC1	-	PosVC1	=	2628;
VC2	+	NegVC2	-	PosVC2	=	2628;
VC3	+	NegVC3	-	PosVC3	=	2628;
VC4	+	NegVC4	-	PosVC4	=	2628;
VC5	+	NegVC5	-	PosVC5	=	2628;
VC6	+	NegVC6	-	PosVC6	=	2628;
VC7	+	NegVC7	-	PosVC7	=	2628;
VC8	+	NegVC8	-	PosVC8	=	2628;
VC9	+	NegVC9	-	PosVC9	=	2628;
VC10	+	NegVC10	-	PosVC10	=	2628;
SPR1	-	PosSPR1	+	NegSPR1	=	7;
SPR2	-	PosSPR2	+	NegSPR2	=	7;
SPR3	-	PosSPR3	+	NegSPR3	=	7;
SPR4	-	PosSPR4	+	NegSPR4	=	7;
SPR5	-	PosSPR5	+	NegSPR5	=	7;
SPR6	-	PosSPR6	+	NegSPR6	=	7;
SPR7	-	PosSPR7	+	NegSPR7	=	7;
SPR8	-	PosSPR8	+	NegSPR8	=	7;
SPR9	-	PosSPR9	+	NegSPR9	=	7;
SPR10	-	PosSPR10	+	NegSPR10	=	7;

Şekil 3.17: Odun hacmi ve mesafe hedeflerinden sapmaları belirleyen eşitlikler.

DBM’de en son olarak, Denklem (3.13 ve 3.14) ile ifade edilen ve X_{ki} ile D_{kpi} değişkenlerinin ikili tamsayı değer (0 veya 1) almasını sağlayan toplam 1.680 adet satır yazılmıştır. Şekil 3.18’de bu satırlardan bir kısmı örnek olarak verilmiştir.

@BIN(S97Y1);	@BIN(D97T1Y1);
@BIN(S97Y2);	@BIN(D132T1Y1);
@BIN(S97Y3);	@BIN(D168T1Y1);
...	...
@BIN(S132Y7);	@BIN(D282T1Y1);
@BIN(S132Y8);	@BIN(D284T1Y1);
@BIN(S132Y9);	@BIN(D285T1Y1);
...	...
@BIN(S197Y5);	@BIN(D227T6Y6);
@BIN(S197Y6);	@BIN(D228T6Y6);
@BIN(S197Y7);	@BIN(D229T6Y6);
...	...
@BIN(S215Y2);	@BIN(D292T9Y9);
@BIN(S215Y3);	@BIN(D293T9Y9);
@BIN(S215Y4);	@BIN(D297T9Y9);
...	...
@BIN(S337Y8);	@BIN(D323T10Y10);
@BIN(S337Y9);	@BIN(D330T10Y10);
@BIN(S337Y10);	@BIN(D337T10Y10);

Şekil 3.18: X_{ki} ve D_{kpi} değişkenlerinin ikili tamsayı değer almasını sağlayan satırlar.

Yukarıda detaylı bir şekilde verilen DBM’ye, Denklem (3.15) ile ifade edilen 10 adet eşitlik eklenince model DOBM’ye dönüşmüştür (Şekil 3.19). Burada *AvDis* planlanan bölmeler ile orman içi rampası arasındaki ortalama mesafedir. DBM’de Denklem (3.12) ile ifade edilen eşitliklerde kullanılan *SPR* değişkeninin yerine *AvDis* değişkeni kullanılır (Şekil 3.20). Burada sapma değişkenleri de *PosAvDis* ve *NegAvDis* ismini almıştır. DOBM’nin amaç satırı da Şekil 3. 21’deki gibi olmuştur.

$$\begin{aligned}
(\text{SPR1} / \text{NUMSCY1}) - \text{AvDis1} &= 0; \\
(\text{SPR2} / \text{NUMSCY2}) - \text{AvDis2} &= 0; \\
(\text{SPR3} / \text{NUMSCY3}) - \text{AvDis3} &= 0; \\
(\text{SPR4} / \text{NUMSCY4}) - \text{AvDis4} &= 0; \\
(\text{SPR5} / \text{NUMSCY5}) - \text{AvDis5} &= 0; \\
(\text{SPR6} / \text{NUMSCY6}) - \text{AvDis6} &= 0; \\
(\text{SPR7} / \text{NUMSCY7}) - \text{AvDis7} &= 0; \\
(\text{SPR8} / \text{NUMSCY8}) - \text{AvDis8} &= 0; \\
(\text{SPR9} / \text{NUMSCY9}) - \text{AvDis9} &= 0; \\
(\text{SPR10} / \text{NUMSCY10}) - \text{AvDis10} &= 0;
\end{aligned}$$

Şekil 3.19: DBM’yi DOBM’ye dönüştüren ve ortalama mesafeyi veren eşitlikler.

$$\begin{aligned}
\text{AvDis1} - \text{PosAvDis1} + \text{NegAvDis1} &= 1; \\
\text{AvDis2} - \text{PosAvDis2} + \text{NegAvDis2} &= 1; \\
\text{AvDis3} - \text{PosAvDis3} + \text{NegAvDis3} &= 1; \\
\text{AvDis4} - \text{PosAvDis4} + \text{NegAvDis4} &= 1; \\
\text{AvDis5} - \text{PosAvDis5} + \text{NegAvDis5} &= 1; \\
\text{AvDis6} - \text{PosAvDis6} + \text{NegAvDis6} &= 1; \\
\text{AvDis7} - \text{PosAvDis7} + \text{NegAvDis7} &= 1; \\
\text{AvDis8} - \text{PosAvDis8} + \text{NegAvDis8} &= 1; \\
\text{AvDis9} - \text{PosAvDis9} + \text{NegAvDis9} &= 1; \\
\text{AvDis10} - \text{PosAvDis10} + \text{NegAvDis10} &= 1;
\end{aligned}$$

Şekil 3.20: DOBM’de ortalama mesafe hedefinden sapmaları hesaplayan eşitlikler.

$$\begin{aligned}
\text{MIN} &= 0.8 * \text{NegVC1} + 0.8 * \text{PosVC1} + 0.8 * \text{NegVC2} + 0.8 * \text{PosVC2} \\
&+ 0.8 * \text{NegVC3} + 0.8 * \text{PosVC3} + 0.8 * \text{NegVC4} + 0.8 * \text{PosVC4} \\
&+ 0.8 * \text{NegVC5} + 0.8 * \text{PosVC5} + 0.8 * \text{NegVC6} + 0.8 * \text{PosVC6} \\
&+ 0.8 * \text{NegVC7} + 0.8 * \text{PosVC7} + 0.8 * \text{NegVC8} + 0.8 * \text{PosVC8} \\
&+ 0.8 * \text{NegVC9} + 0.8 * \text{PosVC9} + 0.8 * \text{NegVC10} + 0.8 * \text{PosVC10} \\
&+ 0.2 * \text{PosAvDis1} + 0.2 * \text{NegAvDis1} + 0.2 * \text{PosAvDis2} + 0.2 * \text{NegAvDis2} \\
&+ 0.2 * \text{PosAvDis3} + 0.2 * \text{NegAvDis3} + 0.2 * \text{PosAvDis4} + 0.2 * \text{NegAvDis4} \\
&+ 0.2 * \text{PosAvDis5} + 0.2 * \text{NegAvDis5} + 0.2 * \text{PosAvDis6} + 0.2 * \text{NegAvDis6} \\
&+ 0.2 * \text{PosAvDis7} + 0.2 * \text{NegAvDis7} + 0.2 * \text{PosAvDis8} + 0.2 * \text{NegAvDis8} \\
&+ 0.2 * \text{PosAvDis9} + 0.2 * \text{NegAvDis9} + 0.2 * \text{PosAvDis10} + 0.2 * \text{NegAvDis10};
\end{aligned}$$

Şekil 3.21: DOBM’nin amaç satırı.

3.2.3.2. Gençleştirme Modelinin Komut Dizini

Gençleştirme probleminin çözümü için DGM geliştirilmiştir. Bu modelin komut dizinini yazmaya da diğer modellerde olduğu gibi amaç fonksiyonu yazarak başlanmıştır. Denklem (3.16)’ya uygun olarak yazılan modelinin 3. senaryosuna ait amaç fonksiyonunun açık formda yazılışı Şekil 3.22’de verilmiştir. Gençleştirme çalışmaları 20 yıllık plan süresi içerisinde yapılacağı için DGM de 20 yıla uygun tasarlanmıştır.

Amaç satırından sonra Denklem (3.17)’de verilen arazi kısıtları yazılmıştır. Şekil 3.23’de gösterildiği üzere, çalışmamızın gençleştirme problemine konu olan 166 bölmecik için 166 adet arazi kısıtı yazılmıştır. Bakım modellerinde olduğu gibi burada da modele ikili tamsayı (Denklem 3.24) satırları eklenmiş ve eşitlik 1’e eşitlenmiştir. Böylece çalışma alanında yer alan bütün bölmeciklerin plan süresi boyunca kesin olarak gençleştirilecek şekilde planlanması sağlanmıştır.

$$\begin{aligned}
\text{MIN} = & 0.2 * \text{NegVC1} + 0.2 * \text{PosVC1} + 0.2 * \text{NegVC2} + 0.2 * \text{PosVC2} \\
& + 0.2 * \text{NegVC3} + 0.2 * \text{PosVC3} + 0.2 * \text{NegVC4} + 0.2 * \text{PosVC4} \\
& + 0.2 * \text{NegVC5} + 0.2 * \text{PosVC5} + 0.2 * \text{NegVC6} + 0.2 * \text{PosVC6} \\
& + 0.2 * \text{NegVC7} + 0.2 * \text{PosVC7} + 0.2 * \text{NegVC8} + 0.2 * \text{PosVC8} \\
& + 0.2 * \text{NegVC9} + 0.2 * \text{PosVC9} + 0.2 * \text{NegVC10} + 0.2 * \text{PosVC10} \\
& + 0.2 * \text{NegVC11} + 0.2 * \text{PosVC11} + 0.2 * \text{NegVC12} + 0.2 * \text{PosVC12} \\
& + 0.2 * \text{NegVC13} + 0.2 * \text{PosVC13} + 0.2 * \text{NegVC14} + 0.2 * \text{PosVC14} \\
& + 0.2 * \text{NegVC15} + 0.2 * \text{PosVC15} + 0.2 * \text{NegVC16} + 0.2 * \text{PosVC16} \\
& + 0.2 * \text{NegVC17} + 0.2 * \text{PosVC17} + 0.2 * \text{NegVC18} + 0.2 * \text{PosVC18} \\
& + 0.2 * \text{NegVC19} + 0.2 * \text{PosVC19} + 0.2 * \text{NegVC20} + 0.2 * \text{PosVC20} \\
& + 0.8 * \text{NegAC1} + 0.8 * \text{PosAC1} + 0.8 * \text{NegAC2} + 0.8 * \text{PosAC2} \\
& + 0.8 * \text{NegAC3} + 0.8 * \text{PosAC3} + 0.8 * \text{NegAC4} + 0.8 * \text{PosAC4} \\
& + 0.8 * \text{NegAC5} + 0.8 * \text{PosAC5} + 0.8 * \text{NegAC6} + 0.8 * \text{PosAC6} \\
& + 0.8 * \text{NegAC7} + 0.8 * \text{PosAC7} + 0.8 * \text{NegAC8} + 0.8 * \text{PosAC8} \\
& + 0.8 * \text{NegAC9} + 0.8 * \text{PosAC9} + 0.8 * \text{NegAC10} + 0.8 * \text{PosAC10} \\
& + 0.8 * \text{NegAC11} + 0.8 * \text{PosAC11} + 0.8 * \text{NegAC12} + 0.8 * \text{PosAC12} \\
& + 0.8 * \text{NegAC13} + 0.8 * \text{PosAC13} + 0.8 * \text{NegAC14} + 0.8 * \text{PosAC14} \\
& + 0.8 * \text{NegAC15} + 0.8 * \text{PosAC15} + 0.8 * \text{NegAC16} + 0.8 * \text{PosAC16} \\
& + 0.8 * \text{NegAC17} + 0.8 * \text{PosAC17} + 0.8 * \text{NegAC18} + 0.8 * \text{PosAC18} \\
& + 0.8 * \text{NegAC19} + 0.8 * \text{PosAC19} + 0.8 * \text{NegAC20} + 0.8 * \text{PosAC20};
\end{aligned}$$

Şekil 3.22: DGM'nin 3. senaryosuna ait amaç fonksiyonunu.

$$\begin{aligned}
& S1001Y1 + S1001Y2 + S1001Y3 + S1001Y4 + S1001Y5 + S1001Y6 + S1001Y7 + S1001Y8 + S1001Y9 + S1001Y10 \\
& + S1001Y11 + S1001Y12 + S1001Y13 + S1001Y14 + S1001Y15 + S1001Y16 + S1001Y17 + S1001Y18 + S1001Y19 + S1001Y20 = 1; \\
& S1002Y1 + S1002Y2 + S1002Y3 + S1002Y4 + S1002Y5 + S1002Y6 + S1002Y7 + S1002Y8 + S1002Y9 + S1002Y10 \\
& + S1002Y11 + S1002Y12 + S1002Y13 + S1002Y14 + S1002Y15 + S1002Y16 + S1002Y17 + S1002Y18 + S1002Y19 + S1002Y20 = 1; \\
& S1003Y1 + S1003Y2 + S1003Y3 + S1003Y4 + S1003Y5 + S1003Y6 + S1003Y7 + S1003Y8 + S1003Y9 + S1003Y10 \\
& + S1003Y11 + S1003Y12 + S1003Y13 + S1003Y14 + S1003Y15 + S1003Y16 + S1003Y17 + S1003Y18 + S1003Y19 + S1003Y20 = 1; \\
& \dots \\
& S1041Y1 + S1041Y2 + S1041Y3 + S1041Y4 + S1041Y5 + S1041Y6 + S1041Y7 + S1041Y8 + S1041Y9 + S1041Y10 \\
& + S1041Y11 + S1041Y12 + S1041Y13 + S1041Y14 + S1041Y15 + S1041Y16 + S1041Y17 + S1041Y18 + S1041Y19 + S1041Y20 = 1; \\
& S1042Y1 + S1042Y2 + S1042Y3 + S1042Y4 + S1042Y5 + S1042Y6 + S1042Y7 + S1042Y8 + S1042Y9 + S1042Y10 \\
& + S1042Y11 + S1042Y12 + S1042Y13 + S1042Y14 + S1042Y15 + S1042Y16 + S1042Y17 + S1042Y18 + S1042Y19 + S1042Y20 = 1; \\
& S1043Y1 + S1043Y2 + S1043Y3 + S1043Y4 + S1043Y5 + S1043Y6 + S1043Y7 + S1043Y8 + S1043Y9 + S1043Y10 \\
& + S1043Y11 + S1043Y12 + S1043Y13 + S1043Y14 + S1043Y15 + S1043Y16 + S1043Y17 + S1043Y18 + S1043Y19 + S1043Y20 = 1; \\
& \dots \\
& S1100Y1 + S1100Y2 + S1100Y3 + S1100Y4 + S1100Y5 + S1100Y6 + S1100Y7 + S1100Y8 + S1100Y9 + S1100Y10 \\
& + S1100Y11 + S1100Y12 + S1100Y13 + S1100Y14 + S1100Y15 + S1100Y16 + S1100Y17 + S1100Y18 + S1100Y19 + S1100Y20 = 1; \\
& S1101Y1 + S1101Y2 + S1101Y3 + S1101Y4 + S1101Y5 + S1101Y6 + S1101Y7 + S1101Y8 + S1101Y9 + S1101Y10 \\
& + S1101Y11 + S1101Y12 + S1101Y13 + S1101Y14 + S1101Y15 + S1101Y16 + S1101Y17 + S1101Y18 + S1101Y19 + S1101Y20 = 1; \\
& S1102Y1 + S1102Y2 + S1102Y3 + S1102Y4 + S1102Y5 + S1102Y6 + S1102Y7 + S1102Y8 + S1102Y9 + S1102Y10 \\
& + S1102Y11 + S1102Y12 + S1102Y13 + S1102Y14 + S1102Y15 + S1102Y16 + S1102Y17 + S1102Y18 + S1102Y19 + S1102Y20 = 1; \\
& S1103Y1 + S1103Y2 + S1103Y3 + S1103Y4 + S1103Y5 + S1103Y6 + S1103Y7 + S1103Y8 + S1103Y9 + S1103Y10 \\
& + S1103Y11 + S1103Y12 + S1103Y13 + S1103Y14 + S1103Y15 + S1103Y16 + S1103Y17 + S1103Y18 + S1103Y19 + S1103Y20 = 1; \\
& \dots \\
& S1164Y1 + S1164Y2 + S1164Y3 + S1164Y4 + S1164Y5 + S1164Y6 + S1164Y7 + S1164Y8 + S1164Y9 + S1164Y10 \\
& + S1164Y11 + S1164Y12 + S1164Y13 + S1164Y14 + S1164Y15 + S1164Y16 + S1164Y17 + S1164Y18 + S1164Y19 + S1164Y20 = 1; \\
& S1165Y1 + S1165Y2 + S1165Y3 + S1165Y4 + S1165Y5 + S1165Y6 + S1165Y7 + S1165Y8 + S1165Y9 + S1165Y10 \\
& + S1165Y11 + S1165Y12 + S1165Y13 + S1165Y14 + S1165Y15 + S1165Y16 + S1165Y17 + S1165Y18 + S1165Y19 + S1165Y20 = 1; \\
& S1166Y1 + S1166Y2 + S1166Y3 + S1166Y4 + S1166Y5 + S1166Y6 + S1166Y7 + S1166Y8 + S1166Y9 + S1166Y10 \\
& + S1166Y11 + S1166Y12 + S1166Y13 + S1166Y14 + S1166Y15 + S1166Y16 + S1166Y17 + S1166Y18 + S1166Y19 + S1166Y20 = 1;
\end{aligned}$$

Şekil 3.23: DGM'de arazi kısıtının açık formda yazılışı.

DGM'de üçüncü olarak, Denklem (3.18) ile ifade edilen ve geliştirilecek alanları toplayan 20 adet hesaplama satırı yazılmıştır. Şekil 3.24'te planın 1. yılında geliştirilecek bölmeciklerin alanlarını hesaplayan satır örnek olarak verilmiştir. Diğer yıllar için sadece Y 'den ve VC 'den sonra gelen sayılar değişecek, diğer bütün sayılar aynı kalacaktır. Burada, $S1001Y1$ 'in karşısındaki 210 sayısı, 1001 no.lu bölmeciğin alanını göstermektedir. Modelin daha iyi sonuç vermesi için modelde kullanılan alan birimi hektardan ara çevrilmiştir. Burada kullanılan $AC1$ (area cut) değişkeni ise 1. yılda geliştirilecek bölmeciklerin alanın toplamını veren sağ taraf değeridir.

210 * S1001Y1 + 410 * S1002Y1 + 500 * S1003Y1 + 970 * S1004Y1 + 610 * S1005Y1
 + 230 * S1006Y1 + 1620 * S1007Y1 + 890 * S1008Y1 + 360 * S1009Y1 + 950 * S1010Y1
 + 440 * S1011Y1 + 2170 * S1012Y1 + 1390 * S1013Y1 + 1060 * S1014Y1 + 1910 * S1015Y1
 + 1170 * S1016Y1 + 140 * S1017Y1 + 1090 * S1018Y1 + 1220 * S1019Y1 + 1800 * S1020Y1
 + 60 * S1021Y1 + 240 * S1022Y1 + 910 * S1023Y1 + 960 * S1024Y1 + 930 * S1025Y1
 + 1760 * S1026Y1 + 510 * S1027Y1 + 300 * S1028Y1 + 2350 * S1029Y1 + 810 * S1030Y1
 + 700 * S1031Y1 + 1620 * S1032Y1 + 2430 * S1033Y1 + 490 * S1034Y1 + 860 * S1035Y1
 + 1350 * S1036Y1 + 1260 * S1037Y1 + 460 * S1038Y1 + 420 * S1039Y1 + 2120 * S1040Y1
 + 280 * S1041Y1 + 530 * S1042Y1 + 2290 * S1043Y1 + 180 * S1044Y1 + 1790 * S1045Y1
 + 2430 * S1046Y1 + 1580 * S1047Y1 + 1000 * S1048Y1 + 700 * S1049Y1 + 1310 * S1050Y1
 + 560 * S1051Y1 + 410 * S1052Y1 + 1600 * S1053Y1 + 640 * S1054Y1 + 220 * S1055Y1
 + 240 * S1056Y1 + 670 * S1057Y1 + 1630 * S1058Y1 + 1590 * S1059Y1 + 2290 * S1060Y1
 + 880 * S1061Y1 + 960 * S1062Y1 + 600 * S1063Y1 + 1420 * S1064Y1 + 980 * S1065Y1
 + 420 * S1066Y1 + 2440 * S1067Y1 + 710 * S1068Y1 + 400 * S1069Y1 + 1690 * S1070Y1
 + 1890 * S1071Y1 + 570 * S1072Y1 + 640 * S1073Y1 + 570 * S1074Y1 + 1740 * S1075Y1
 + 960 * S1076Y1 + 480 * S1077Y1 + 240 * S1078Y1 + 2010 * S1079Y1 + 1550 * S1080Y1
 + 2390 * S1081Y1 + 1240 * S1082Y1 + 1520 * S1083Y1 + 1210 * S1084Y1 + 710 * S1085Y1
 + 1580 * S1086Y1 + 1900 * S1087Y1 + 1830 * S1088Y1 + 2410 * S1089Y1 + 1570 * S1090Y1
 + 1460 * S1091Y1 + 1230 * S1092Y1 + 890 * S1093Y1 + 380 * S1094Y1 + 1170 * S1095Y1
 + 1490 * S1096Y1 + 1750 * S1097Y1 + 1000 * S1098Y1 + 1390 * S1099Y1 + 1760 * S1100Y1
 + 1750 * S1101Y1 + 2270 * S1102Y1 + 920 * S1103Y1 + 290 * S1104Y1 + 190 * S1105Y1
 + 2000 * S1106Y1 + 490 * S1107Y1 + 270 * S1108Y1 + 830 * S1109Y1 + 2220 * S1110Y1
 + 500 * S1111Y1 + 1270 * S1112Y1 + 120 * S1113Y1 + 760 * S1114Y1 + 970 * S1115Y1
 + 1880 * S1116Y1 + 1020 * S1117Y1 + 230 * S1118Y1 + 410 * S1119Y1 + 1160 * S1120Y1
 + 1950 * S1121Y1 + 1210 * S1122Y1 + 1370 * S1123Y1 + 1030 * S1124Y1 + 2100 * S1125Y1
 + 410 * S1126Y1 + 390 * S1127Y1 + 140 * S1128Y1 + 400 * S1129Y1 + 460 * S1130Y1
 + 1970 * S1131Y1 + 380 * S1132Y1 + 1840 * S1133Y1 + 1310 * S1134Y1 + 980 * S1135Y1
 + 2040 * S1136Y1 + 1140 * S1137Y1 + 230 * S1138Y1 + 230 * S1139Y1 + 1410 * S1140Y1
 + 1520 * S1141Y1 + 110 * S1142Y1 + 450 * S1143Y1 + 150 * S1144Y1 + 680 * S1145Y1
 + 1350 * S1146Y1 + 1850 * S1147Y1 + 350 * S1148Y1 + 340 * S1149Y1 + 1840 * S1150Y1
 + 430 * S1151Y1 + 1440 * S1152Y1 + 940 * S1153Y1 + 490 * S1154Y1 + 1170 * S1155Y1
 + 270 * S1156Y1 + 1550 * S1157Y1 + 310 * S1158Y1 + 1590 * S1159Y1 + 1680 * S1160Y1
 + 1290 * S1161Y1 + 890 * S1162Y1 + 1320 * S1163Y1 + 280 * S1164Y1 + 1640 * S1165Y1
 + 1580 * S1166Y1 - AC1 = 0;

Şekil 3.24: DGM’de 1. yılda gençleştirilecek alanı veren hesaplama satırı.

DGM’de dördüncü olarak, Denklem (3.19) ile ifade edilen ve her bir yıl için gençleştirilen sahalardan elde edilecek odun hacmini hesaplayan 20 adet hesaplama satırı yazılmıştır. Şekil 3.25’de planın 1. yılında gençleştirme sahalarında üretilecek odun hacmini hesaplayan satır örnek olarak verilmiştir.

Modelde beşinci olarak, Denklem (3.20) ile tanımlanan ve birbirine komşu olan 5 ha’dan küçük bölmeciklerin aynı yıl gençleştirilmesini sağlayan kısıtlar yazılmıştır. Burada 9 adet komşu bölmecik çifti için toplam 180 eşitlik yazılmıştır. Şekil 3.26’da 1006 ve 1022 no.lu komşu bölmeciklerin oluşturduğu çifte ilişkin eşitlikler örnek olarak verilmiştir. Burada kullanılan değişkenlerin ikili tamsayı değerler alabilmesi için modele ikili tamsayı satırları eklenmiştir.

DGM’de altıncı olarak, Denklem (3.21) ile ifade edilen ve birbirine komşu olan toplam 25 ha’dan büyük bölmeciklerden biri gençleştirildiğinde diğerinin 5 yıl boyunca gençleştirilmemesini sağlayan kısıtlar yazılmıştır. Burada 117 adet komşu bölmecik çifti için toplam 2.340 adet satır yazılmıştır. Şekil 3.27’de 1007 ve 1008 no.lu komşu bölmeciklerin oluşturduğu çifte ilişkin eşitlikler örnek olarak verilmiştir.

527 * S1001Y1 + 523 * S1002Y1 + 801 * S1003Y1 + 2433 * S1004Y1 + 1239 * S1005Y1
 + 577 * S1006Y1 + 4063 * S1007Y1 + 2233 * S1008Y1 + 903 * S1009Y1 + 1589 * S1010Y1
 + 705 * S1011Y1 + 5444 * S1012Y1 + 3486 * S1013Y1 + 2659 * S1014Y1 + 4791 * S1015Y1
 + 1875 * S1016Y1 + 165 * S1017Y1 + 1747 * S1018Y1 + 3061 * S1019Y1 + 4515 * S1020Y1
 + 81 * S1021Y1 + 306 * S1022Y1 + 1070 * S1023Y1 + 2408 * S1024Y1 + 2333 * S1025Y1
 + 4415 * S1026Y1 + 853 * S1027Y1 + 502 * S1028Y1 + 3765 * S1029Y1 + 1094 * S1030Y1
 + 1170 * S1031Y1 + 2596 * S1032Y1 + 3894 * S1033Y1 + 661 * S1034Y1 + 1747 * S1035Y1
 + 2258 * S1036Y1 + 3161 * S1037Y1 + 1154 * S1038Y1 + 853 * S1039Y1 + 5318 * S1040Y1
 + 330 * S1041Y1 + 623 * S1042Y1 + 5744 * S1043Y1 + 301 * S1044Y1 + 4491 * S1045Y1
 + 6095 * S1046Y1 + 3963 * S1047Y1 + 1673 * S1048Y1 + 1170 * S1049Y1 + 2099 * S1050Y1
 + 1404 * S1051Y1 + 482 * S1052Y1 + 4014 * S1053Y1 + 1300 * S1054Y1 + 446 * S1055Y1
 + 282 * S1056Y1 + 1074 * S1057Y1 + 4089 * S1058Y1 + 2548 * S1059Y1 + 3830 * S1060Y1
 + 1410 * S1061Y1 + 1538 * S1062Y1 + 764 * S1063Y1 + 1670 * S1064Y1 + 1570 * S1065Y1
 + 1054 * S1066Y1 + 4081 * S1067Y1 + 1781 * S1068Y1 + 510 * S1069Y1 + 2708 * S1070Y1
 + 4741 * S1071Y1 + 914 * S1072Y1 + 1606 * S1073Y1 + 1430 * S1074Y1 + 2927 * S1075Y1
 + 1615 * S1076Y1 + 611 * S1077Y1 + 384 * S1078Y1 + 5042 * S1079Y1 + 3888 * S1080Y1
 + 3829 * S1081Y1 + 3110 * S1082Y1 + 3812 * S1083Y1 + 3036 * S1084Y1 + 1442 * S1085Y1
 + 2531 * S1086Y1 + 4766 * S1087Y1 + 4590 * S1088Y1 + 6046 * S1089Y1 + 2626 * S1090Y1
 + 2339 * S1091Y1 + 1971 * S1092Y1 + 1489 * S1093Y1 + 609 * S1094Y1 + 2936 * S1095Y1
 + 3737 * S1096Y1 + 2804 * S1097Y1 + 1602 * S1098Y1 + 2227 * S1099Y1 + 4415 * S1100Y1
 + 4390 * S1101Y1 + 3637 * S1102Y1 + 2308 * S1103Y1 + 727 * S1104Y1 + 242 * S1105Y1
 + 3205 * S1106Y1 + 1229 * S1107Y1 + 344 * S1108Y1 + 1389 * S1109Y1 + 3557 * S1110Y1
 + 1255 * S1111Y1 + 1618 * S1112Y1 + 200 * S1113Y1 + 1218 * S1114Y1 + 2433 * S1115Y1
 + 4715 * S1116Y1 + 2559 * S1117Y1 + 293 * S1118Y1 + 523 * S1119Y1 + 2910 * S1120Y1
 + 4892 * S1121Y1 + 2458 * S1122Y1 + 2195 * S1123Y1 + 1651 * S1124Y1 + 5268 * S1125Y1
 + 1029 * S1126Y1 + 527 * S1127Y1 + 234 * S1128Y1 + 471 * S1129Y1 + 737 * S1130Y1
 + 4941 * S1131Y1 + 513 * S1132Y1 + 3077 * S1133Y1 + 2191 * S1134Y1 + 1570 * S1135Y1
 + 5117 * S1136Y1 + 2859 * S1137Y1 + 384 * S1138Y1 + 384 * S1139Y1 + 2259 * S1140Y1
 + 3813 * S1141Y1 + 223 * S1142Y1 + 1129 * S1143Y1 + 203 * S1144Y1 + 1381 * S1145Y1
 + 3387 * S1146Y1 + 4640 * S1147Y1 + 473 * S1148Y1 + 569 * S1149Y1 + 2948 * S1150Y1
 + 689 * S1151Y1 + 3612 * S1152Y1 + 1506 * S1153Y1 + 1229 * S1154Y1 + 2935 * S1155Y1
 + 433 * S1156Y1 + 709 * S1157Y1 + 519 * S1158Y1 + 3988 * S1159Y1 + 4214 * S1160Y1
 + 3236 * S1161Y1 + 1489 * S1162Y1 + 1552 * S1163Y1 + 449 * S1164Y1 + 4114 * S1165Y1
 + 3963 * S1166Y1 - VC1 = 0;

Şekil 3.25: DGM’de 1. yılda üretilecek odun hacmini veren hesaplama satırı.

S1006Y1 + S1022Y1 - 2 * Pr1Y1 = 0;
 S1006Y2 + S1022Y2 - 2 * Pr1Y2 = 0;
 S1006Y3 + S1022Y3 - 2 * Pr1Y3 = 0;
 S1006Y4 + S1022Y4 - 2 * Pr1Y4 = 0;
 S1006Y5 + S1022Y5 - 2 * Pr1Y5 = 0;
 S1006Y6 + S1022Y6 - 2 * Pr1Y6 = 0;
 S1006Y7 + S1022Y7 - 2 * Pr1Y7 = 0;
 S1006Y8 + S1022Y8 - 2 * Pr1Y8 = 0;
 S1006Y9 + S1022Y9 - 2 * Pr1Y9 = 0;
 S1006Y10 + S1022Y10 - 2 * Pr1Y10 = 0;
 S1006Y11 + S1022Y11 - 2 * Pr1Y11 = 0;
 S1006Y12 + S1022Y12 - 2 * Pr1Y12 = 0;
 S1006Y13 + S1022Y13 - 2 * Pr1Y13 = 0;
 S1006Y14 + S1022Y14 - 2 * Pr1Y14 = 0;
 S1006Y15 + S1022Y15 - 2 * Pr1Y15 = 0;
 S1006Y16 + S1022Y16 - 2 * Pr1Y16 = 0;
 S1006Y17 + S1022Y17 - 2 * Pr1Y17 = 0;
 S1006Y18 + S1022Y18 - 2 * Pr1Y18 = 0;
 S1006Y19 + S1022Y19 - 2 * Pr1Y19 = 0;
 S1006Y20 + S1022Y20 - 2 * Pr1Y20 = 0;

Şekil 3.26: 1006 ve 1022 no.lu komşu bölmeciklerin aynı yıl gençleştirilmesini sağlayan eşitlikler.

Modelde yedinci olarak, Denklem (3.22 ve 3.23) ile ifade edilen ve hedef değerlerden sapmaları veren toplam 40 adet eşitlik yazılmıştır. Şekil 3.28’de gençleştirilecek alan hedefinden sapmaları hesaplayan eşitlikler ile gençleştirilecek sahalardan elde edilecek odun hacmi hedefinden sapmaları hesaplayan eşitlikler sunulmuştur.

$$\begin{aligned}
&S1007Y1 + S1008Y1 + S1008Y2 + S1008Y3 + S1008Y4 + S1008Y5 \leq 1; \\
&S1007Y2 + S1008Y1 + S1008Y2 + S1008Y3 + S1008Y4 + S1008Y5 + S1008Y6 \leq 1; \\
&S1007Y3 + S1008Y1 + S1008Y2 + S1008Y3 + S1008Y4 + S1008Y5 + S1008Y6 + S1008Y7 \leq 1; \\
&S1007Y4 + S1008Y1 + S1008Y2 + S1008Y3 + S1008Y4 + S1008Y5 + S1008Y6 + S1008Y7 + S1008Y8 \leq 1; \\
&S1007Y5 + S1008Y1 + S1008Y2 + S1008Y3 + S1008Y4 + S1008Y5 + S1008Y6 + S1008Y7 + S1008Y8 + S1008Y9 \leq 1; \\
&S1007Y6 + S1008Y2 + S1008Y3 + S1008Y4 + S1008Y5 + S1008Y6 + S1008Y7 + S1008Y8 + S1008Y9 + S1008Y10 \leq 1; \\
&S1007Y7 + S1008Y3 + S1008Y4 + S1008Y5 + S1008Y6 + S1008Y7 + S1008Y8 + S1008Y9 + S1008Y10 + S1008Y11 \leq 1; \\
&S1007Y8 + S1008Y4 + S1008Y5 + S1008Y6 + S1008Y7 + S1008Y8 + S1008Y9 + S1008Y10 + S1008Y11 + S1008Y12 \leq 1; \\
&S1007Y9 + S1008Y5 + S1008Y6 + S1008Y7 + S1008Y8 + S1008Y9 + S1008Y10 + S1008Y11 + S1008Y12 + S1008Y13 \leq 1; \\
&S1007Y10 + S1008Y6 + S1008Y7 + S1008Y8 + S1008Y9 + S1008Y10 + S1008Y11 + S1008Y12 + S1008Y13 + S1008Y14 \leq 1; \\
&S1007Y11 + S1008Y7 + S1008Y8 + S1008Y9 + S1008Y10 + S1008Y11 + S1008Y12 + S1008Y13 + S1008Y14 + S1008Y15 \leq 1; \\
&S1007Y12 + S1008Y8 + S1008Y9 + S1008Y10 + S1008Y11 + S1008Y12 + S1008Y13 + S1008Y14 + S1008Y15 + S1008Y16 \leq 1; \\
&S1007Y13 + S1008Y9 + S1008Y10 + S1008Y11 + S1008Y12 + S1008Y13 + S1008Y14 + S1008Y15 + S1008Y16 + S1008Y17 \leq 1; \\
&S1007Y14 + S1008Y10 + S1008Y11 + S1008Y12 + S1008Y13 + S1008Y14 + S1008Y15 + S1008Y16 + S1008Y17 + S1008Y18 \leq 1; \\
&S1007Y15 + S1008Y11 + S1008Y12 + S1008Y13 + S1008Y14 + S1008Y15 + S1008Y16 + S1008Y17 + S1008Y18 + S1008Y19 \leq 1; \\
&S1007Y16 + S1008Y12 + S1008Y13 + S1008Y14 + S1008Y15 + S1008Y16 + S1008Y17 + S1008Y18 + S1008Y19 + S1008Y20 \leq 1; \\
&S1007Y17 + S1008Y13 + S1008Y14 + S1008Y15 + S1008Y16 + S1008Y17 + S1008Y18 + S1008Y19 + S1008Y20 \leq 1; \\
&S1007Y18 + S1008Y14 + S1008Y15 + S1008Y16 + S1008Y17 + S1008Y18 + S1008Y19 + S1008Y20 \leq 1; \\
&S1007Y19 + S1008Y15 + S1008Y16 + S1008Y17 + S1008Y18 + S1008Y19 + S1008Y20 \leq 1; \\
&S1007Y20 + S1008Y16 + S1008Y17 + S1008Y18 + S1008Y19 + S1008Y20 \leq 1;
\end{aligned}$$

Şekil 3.27: 1007 ve 1008 no.lu komşu bölmeciklerin 5 yıl boyunca aynı yıl birlikte gençleştirilmemesini sağlayan eşitlikler.

$$\begin{aligned}
&AC1 + NegAC1 - PosAC1 = 8885; & VC1 + NegVC1 - PosVC1 = 23350; \\
&AC2 + NegAC2 - PosAC2 = 8885; & VC2 + NegVC2 - PosVC2 = 23350; \\
&AC3 + NegAC3 - PosAC3 = 8885; & VC3 + NegVC3 - PosVC3 = 23350; \\
&AC4 + NegAC4 - PosAC4 = 8885; & VC4 + NegVC4 - PosVC4 = 23350; \\
&AC5 + NegAC5 - PosAC5 = 8885; & VC5 + NegVC5 - PosVC5 = 23350; \\
&AC6 + NegAC6 - PosAC6 = 8885; & VC6 + NegVC6 - PosVC6 = 23350; \\
&AC7 + NegAC7 - PosAC7 = 8885; & VC7 + NegVC7 - PosVC7 = 23350; \\
&AC8 + NegAC8 - PosAC8 = 8885; & VC8 + NegVC8 - PosVC8 = 23350; \\
&AC9 + NegAC9 - PosAC9 = 8885; & VC9 + NegVC9 - PosVC9 = 23350; \\
&AC10 + NegAC10 - PosAC10 = 8885; & VC10 + NegVC10 - PosVC10 = 23350; \\
&AC11 + NegAC11 - PosAC11 = 8885; & VC11 + NegVC11 - PosVC11 = 23350; \\
&AC12 + NegAC12 - PosAC12 = 8885; & VC12 + NegVC12 - PosVC12 = 23350; \\
&AC13 + NegAC13 - PosAC13 = 8885; & VC13 + NegVC13 - PosVC13 = 23350; \\
&AC14 + NegAC14 - PosAC14 = 8885; & VC14 + NegVC14 - PosVC14 = 23350; \\
&AC15 + NegAC15 - PosAC15 = 8885; & VC15 + NegVC15 - PosVC15 = 23350; \\
&AC16 + NegAC16 - PosAC16 = 8885; & VC16 + NegVC16 - PosVC16 = 23350; \\
&AC17 + NegAC17 - PosAC17 = 8885; & VC17 + NegVC17 - PosVC17 = 23350; \\
&AC18 + NegAC18 - PosAC18 = 8885; & VC18 + NegVC18 - PosVC18 = 23350; \\
&AC19 + NegAC19 - PosAC19 = 8885; & VC19 + NegVC19 - PosVC19 = 23350; \\
&AC20 + NegAC20 - PosAC20 = 8885; & VC20 + NegVC20 - PosVC20 = 23350;
\end{aligned}$$

Şekil 3.28: Gençleştirilecek alan ve üretilecek odun hedeflerinden sapmaları hesaplayan eşitlikler.

DGM’de en son olarak, Denklem (3.24 ve 3.25) ile ifade edilen ve X_{ki} ile Pr_{pi} değişkenlerinin ikili tamsayı değer (0 veya 1) almasını sağlayan toplam 3.500 adet satır yazılmıştır. Şekil 3.29’da bu satırlardan bir kısmı örnek olarak verilmiştir. DGM için toplam 6.267 adet satır yazılmıştır.

$$\begin{aligned}
&@BIN(S1001Y1); & @BIN(S1061Y15); & @BIN(PR1Y1); & @BIN(PR3Y1); \\
&@BIN(S1002Y1); & @BIN(S1062Y15); & @BIN(PR1Y2); & @BIN(PR3Y2); \\
&@BIN(S1003Y1); & @BIN(S1063Y15); & @BIN(PR1Y3); & @BIN(PR3Y3); \\
&@BIN(S1004Y1); & @BIN(S1064Y15); & @BIN(PR1Y4); & @BIN(PR3Y4); \\
&\dots & \dots & \dots & \dots \\
&@BIN(S1152Y6); & @BIN(S1163Y20); & @BIN(PR1Y17); & @BIN(PR9Y17); \\
&@BIN(S1153Y6); & @BIN(S1164Y20); & @BIN(PR1Y18); & @BIN(PR9Y18); \\
&@BIN(S1154Y6); & @BIN(S1165Y20); & @BIN(PR1Y19); & @BIN(PR9Y19); \\
&@BIN(S1155Y6); & @BIN(S1166Y20); & @BIN(PR1Y20); & @BIN(PR9Y20);
\end{aligned}$$

Şekil 3.29: X_{ki} ve Pr_{pi} değişkenlerinin ikili tamsayı değer almasını sağlayan satırlar.

3.2.4. Modellerin Lingo 16’da Koşturulması

Bakım bloklarının oluşturulması ve geliştirme alanlarında zaman-mekân düzenlemesi için geliştirilen modeller, tez projesi kapsamında alınan 16 GM RAM kapasiteli 2.60 GHz Intel® Core™ i7 işlemcili taşınabilir bir bilgisayarda (Tablo 3.14), Lingo 16 isimli bir optimizasyon yazılımı (Tablo 3.15) kullanılarak koşturulmuştur. Bakım problemi için geliştirilen modellerin koşturulmasında 100 milyon yineleme (*iteration*) kullanılırken geliştirme problemi için geliştirilen modelin koşturulmasında 500 milyon yineleme kullanılmıştır. Bakım modellerinde 100 milyondan fazla yineleme kullanılması durumunda amaç değerinde önemli bir değişikliğin olmadığı görülmüştür. Bu 3 modelin her biri için 11 senaryo oluşturulmuş ve böylece modelde koşturulmak üzere toplam 33 farklı model elde edilmiştir. Deneme ve iyileştirme koşturmaları ile birlikte Lingo 16’da 200’den fazla koşturma yapılmıştır. İşlem sürelerinin modellere ve senaryolara göre değişimi kullanılan yineleme sayısı ile birlikte Tablo 3.16’da verilmiştir.

Tablo 3.14: Çalışmada kullanılan taşınabilir bilgisayarın bazı teknik özellikleri.

İşlemci Markası	Intel
İşlemci Teknolojisi	Core i7
İşlemci Hızı	2.6 GHz Turbo İle 3.5 GHz
İşlemci Ön Bellek	6 MB
RAM Kapasitesi	16 GB
RAM Tipi	DDR4
Disk Kapasitesi	1 TB HDD + 128 GB SSD
İşletim Sistemi	Windows 10

Tablo 3.15: Çalışmada kullanılan optimizasyon yazılımının özellikleri.

Yazılım Adı	Lingo 16.0
Versiyon	Extended Lingo
Windows Versiyonu	64 bit
Doğrusal Olmayan Problemleri Çözme Opsiyonu	Var
Çözebileceği Toplam Değişken Sayısı	Sınırsız
Çözebileceği Toplam Tamsayı Değişken Sayısı	Sınırsız
Çözebileceği Toplam Doğrusal Olmayan Değişken Sayısı	Sınırsız
Çözebileceği Toplam Kısıt Sayısı	Sınırsız

Tablo 3.16: Modellere ve senaryolara göre yineleme sayıları ve işlem süreleri (sn.).

Senaryolar	DBM		DOBM		DGM	
	Yineleme Sayısı	İşlem Süresi	Yineleme Sayısı	İşlem Süresi	Yineleme Sayısı	İşlem Süresi
Senaryo 1	36.327	2,22	535.166	8,43	500.000.001	28.684
Senaryo 2	100.000.001	10.704	100.016.293	1.322	500.000.000	120.315
Senaryo 3	100.000.001	36.088	100.001.658	1.432	500.000.000	25.414
Senaryo 4	100.000.001	12.589	100.007.747	1.289	500.000.001	128.342
Senaryo 5	100.000.001	6.984	100.006.066	1.422	500.000.001	116.094
Senaryo 6	100.000.001	7.734	100.000.146	1.869	500.000.000	21.132
Senaryo 7	100.000.001	7.818	100.003.010	1.201	500.000.001	109.875
Senaryo 8	100.000.001	9.650	100.002.673	1.657	500.000.000	19.680
Senaryo 9	100.000.001	8.338	100.002.271	1.766	500.000.000	20.556
Senaryo 10	100.000.001	9.147	100.000.006	1.390	500.000.001	110.213
Senaryo 11	873	0,24	486123	5,32	500.000.001	73.706

Bakım modelleri, DGM'ye göre daha kolay bir problem içermektedir. Örneğin toplam değişken sayısı DBM'de 1.750 iken DGM'de 3.620'dir. Yine aynı şekilde toplam kısıt sayısı DBM'de 1.079 iken DGM'de 2.767'dir. Benzer şekilde DBM'nin açık formda yazımında 2.759 adet satır kullanılırken, DGM 6.267 adet satır kullanılarak yazılmıştır (Tablo 3.17). Bu durum hem işlem süreleri üzerinde hem de küresel en uygun sonucun bulunmasında etkili olmuştur. DBM senaryo 1 ve 11 (referans senaryoları) için çok kısa bir süre içerisinde küresel en uygun sonuç elde edilmiştir. En kısa işlem süresi 0,24 saniye ile DBM'nin 11. senaryosuna aittir. En uzun işlem süresi ise 35 saat 39 dakika 2 saniye ile DGM'nin 4. senaryosuna aittir.

Tablo 3.17: Modellerde kullanılan kısıt, değişken ve satır sayıları.

	DBM	DOBM	DGM
Toplam değişken sayısı	1.750	1.760	3.620
Doğrusal olmayan değişken sayısı	0	20	0
Tamsayı değişken sayısı	1.680	1.680	3.500
Toplam kısıt sayısı	1.079	1.089	2.767
Doğrusal olmayan kısıt sayısı	0	10	0
Modelde kullanılan satır sayısı	2.759	2.769	6.267

4. BULGULAR

4.1. BAKIM PROBLEMİNE İLİŞKİN BULGULAR

Meşcerelerin bakım kesimlerine olan gereksinimlerinin öncelik ve ivedilik derecesi, yol ve transport tesislerinin durumu ile ürünlerin değerlendirme olanakları dikkate alınmak suretiyle yıllık bakım blokları, yıllar itibariyle sıraya konur ve bir kesim planı düzenlenir. Ancak orman işletmeleri, yıllık bütçelerini düzenleyebilmeleri ve piyasanın gereksinimlerini karşılamak amacı ile gerekli düzenlemeleri yapabilmeleri için, yıllık ara hasılat miktarlarının her yıl az çok birbirine eşit olmasını isterler (Eraslan, 1982).

Meşcere bakımı yapılacak bölmelerin iş organizasyonunun kolaylığı açısından aynı yıl birbirine en yakın bölmelerin aynı bakım bloğu içerisinde planlanması ve her yıl az çok birbirine eşit miktarda ara hasılat etası elde edilmesi için karışık tamsayılı AP kullanılmıştır. Bu amaçla geliştirilen modellerin amaç satırında iki farklı amaç yer almıştır. Bunlardan birincisi ara hasılat etası için belirlenen hedef değerden sapmanın en aza indirilmesi ve diğeri de bölme ağırlık merkezlerinin orman içi rampalara olan toplam (DBM) mesafeleri için belirlenen hedef değerden sapmaların en aza indirilmesidir. DOBM’de ise aynı bakım bloğu içerisinde yer alan bölmelerin ağırlık merkezlerinin rampaya olan ortalama mesafeleri için belirlenen hedef değerden olan sapmaların en aza indirilmesidir.

Bu çalışma ile plan ünitesinde oluşturulan 10 adet farazi orman içi rampasına en yakın bölmelerde aynı yıl bakım yapılması planlanmış ve elde edilen odun hammaddesi miktarının hedef değerden olan sapması da en aza indirilmiştir. Araştırma bu yönü ile Demirci ve Bettinger (2015) tarafından yapılan çalışmadan farklılık arz eder. Demirci ve Bettinger (2015), aynı yıl bakım görececek bölmeler arasındaki toplam uzaklığın hedef değerden olan sapmasını en aza indirmeye çalışarak bakım blokları oluşturmuştur. Bu çalışmanın en önemli özelliği ise oluşturulan rampaların yerine orman içi köylerin konulabilmesi ile yol ağının ve işgücü olanaklarının da modele dahil edilebilme imkânının olmasıdır.

Bu çalışmada ara hasılat etası için belirlenen yıllık hedef değer 2.628 m^3 ve aynı bakım bloğundaki bölmelerin ağırlık merkezlerinin blok içerisindeki farazi rampaya olan toplam mesafeleri için belirlenen hedef değer DBM için 7 km, DOBM için ise ortalama 1 km’dir.

4.1.1. Doğrusal Bakım Modeli ile Elde Edilen Sonuçlar

Lingo 16, DBM'yi kullanarak, 11 yönetim senaryosunun her biri için belirtilen planlama problemi için uygun bir çözüm üretmeyi başarmıştır. Senaryo 1 ve 11, hacim sapmalarına (senaryo 1) ve mesafe sapmalarına (senaryo 11) uygulanan en büyük ağırlıkları temsil ettiklerinden, sırasıyla hacim ve mesafe için referans senaryolarıdır.

Hacim referans senaryosu (senaryo 1) için hedef değerden toplam sapma 0 m³ ve mesafe referans senaryosu (senaryo 11) için hedef değerden toplam sapma 25,7 km olarak gerçekleşmiştir. Senaryo 1'e ek olarak senaryo 2 ve 3'te de hedef değerden sapma olmamıştır. Hacim ve mesafe sapmaları birlikte değerlendirildiği takdirde en iyi sonucu 5. senaryo vermiştir. Hacim ve mesafe sapmaları münferit olarak değerlendirildiğinde; hacim için en iyi sonucu sırasıyla 1, 2, 3 ve 4. senaryolar verirken mesafe için en iyi sonucu 11, 10, 9 ve 8. senaryolar vermiştir (Tablo 4.1). En iyi sonucu veren 5. senaryonun hacim ağırlığı 0,6 ve mesafe ağırlığı ise 0,4'dür.

Tablo 4.1: DBM'nin çözümüyle elde edilen sonuçlar.

Senaryolar	Hedef Değerden Sapmalar		Bölmeler Arasındaki Ortalama Mesafe (km)
	Hacim (m ³)	Toplam Mesafe (km)	
1	0,0	354,9	5,12
2	0,0	83,9	1,84
3	0,0	75,0	1,74
4	4,0	76,8	1,74
5	6,0	59,7	1,55
6	4,0	72,0	1,70
7	14,0	59,8	1,55
8	22,0	50,2	1,44
9	24,0	49,3	1,44
10	42,0	48,3	1,43
11	5.669,0	25,7	1,16

DBM kullanarak elde edilen hacim değerlerinin senaryolar itibariyle yıllara dağılımı Tablo 4.2'de ve hacim için belirlenen hedef değerden (2.628 m³) sapmalar da Tablo 4.3'te sunulmuştur. Mesafe referans senaryosu (senaryo 11) haricindeki senaryolar ile elde edilen hacim değerlerinin hedeften olan sapmaları grafik olarak Şekil 4.1'de gösterilmiştir.

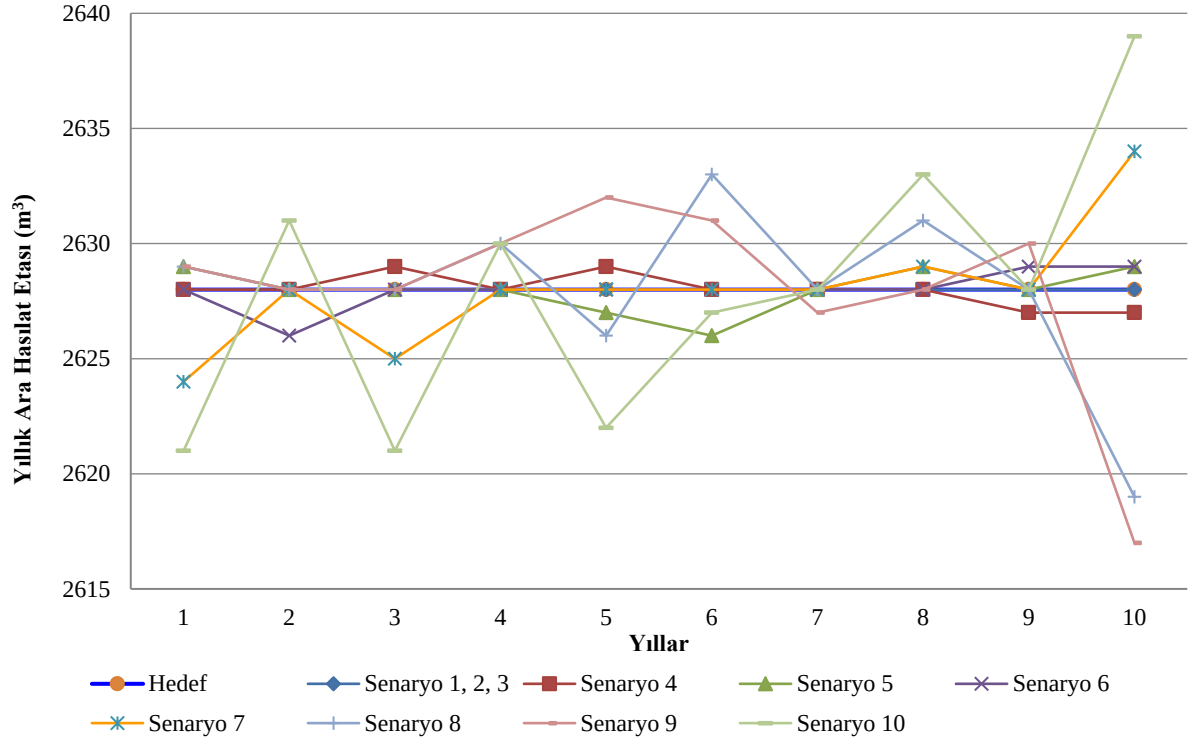
Tablo 4.2: DBM ile elde edilen hacim değerlerinin yıllara dağılımı (m³).

Yıllar	Senaryolar										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	2.628	2.628	2.628	2.628	2.629	2.628	2.624	2.629	2.629	2.621	1.237
2	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.626	2.628	2.628	2.628	2.631	2.366
3	2.628	2.628	2.628	2.629	2.628	2.628	2.625	2.628	2.628	2.621	2.805
4	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.630	2.630	2.630	3.195
5	2.628	2.628	2.628	2.629	2.627	2.628	2.628	2.626	2.632	2.622	1.953
6	2.628	2.628	2.628	2.628	2.626	2.628	2.628	2.633	2.631	2.627	3.041
7	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.627	2.628	2.791
8	2.628	2.628	2.628	2.628	2.629	2.628	2.629	2.631	2.628	2.633	2.123
9	2.628	2.628	2.628	2.627	2.628	2.629	2.628	2.628	2.630	2.628	3.933
10	2.628	2.628	2.628	2.627	2.629	2.629	2.634	2.619	2.617	2.639	2.836
Toplam	26.280	26.280	26.280	26.280	26.280	26.280	26.280	26.280	26.280	26.280	26.280

Tablo 4.3: Hacim hedef değerinden sapmaların yıllara dağılımı (m³).

Yıllar	Senaryolar										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	0	0	0	1	0	-4	1	1	-7	-1.391
2	0	0	0	0	0	-2	0	0	0	3	-262
3	0	0	0	1	0	0	-3	0	0	-7	177
4	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	567
5	0	0	0	1	-1	0	0	-2	4	-6	-675
6	0	0	0	0	-2	0	0	5	3	-1	413
7	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	163
8	0	0	0	0	1	0	1	3	0	5	-505
9	0	0	0	-1	0	1	0	0	2	0	1.305
10	0	0	0	-1	1	1	6	-9	-11	11	208
Toplam	0	0	0	4	6	4	14	22	24	42	5.666

Daha önce de ifade edildiği üzere, ara hasılat etası için belirlenen yıllık hedef değer 2.628 m³'tür. Tablo 4.2 ve 4.3'ten ve Şekil 4.1'den de anlaşılabacağı üzere bu hedeften sapma 1, 2 ve 3. senaryolarda 0 m³ olarak gerçekleşmiştir. Yani model bu 3 senaryo için tam sonuç vermiştir. Amaç satırında hacim için bir katsayı belirlenmeyen 11. senaryo (mesafe referans senaryosu) haricindeki senaryolar incelendiğinde hedef değerden en fazla pozitif sapmanın 11 m³ (2.639 m³) ile 10. senaryonun 10. yılında olduğu, en fazla negatif sapmanın da -11 m³ (2.617 m³) ile 9. senaryonun 10. yılında gerçekleştiği görülmektedir. Bir başka deyişle hacim için belirlenen hedef değerden en fazla sapma 11 m³, yani hacmin %0,42'si kadardır. Bu sapma, bir orman planlama birimi için ihmal edilebilecek bir değerdir.



Şekil 4.1: DBM ile elde edilen yıllık ara hasılat etalarının karşılaştırılması.

Çalışmada, bölmeler ile rampalar arasındaki toplam mesafe için belirlenen hedef değer DBM için 7 km'dir. DBM kullanıldığında elde edilen toplam mesafelerin senaryolar itibariyle yıllara dağılımı Tablo 4.4'de ve mesafe için belirlenen hedef değerden (7 km) sapmalar da Tablo 4.5'de sunulmuştur. Mesafe referans senaryosu (senaryo 11) ile birlikte en iyi sonucu veren üç senaryoyla (10, 9 ve 8. senaryolar) elde edilen mesafelerin hedeften olan sapmaları grafik olarak Şekil 4.2'de gösterilmiştir.

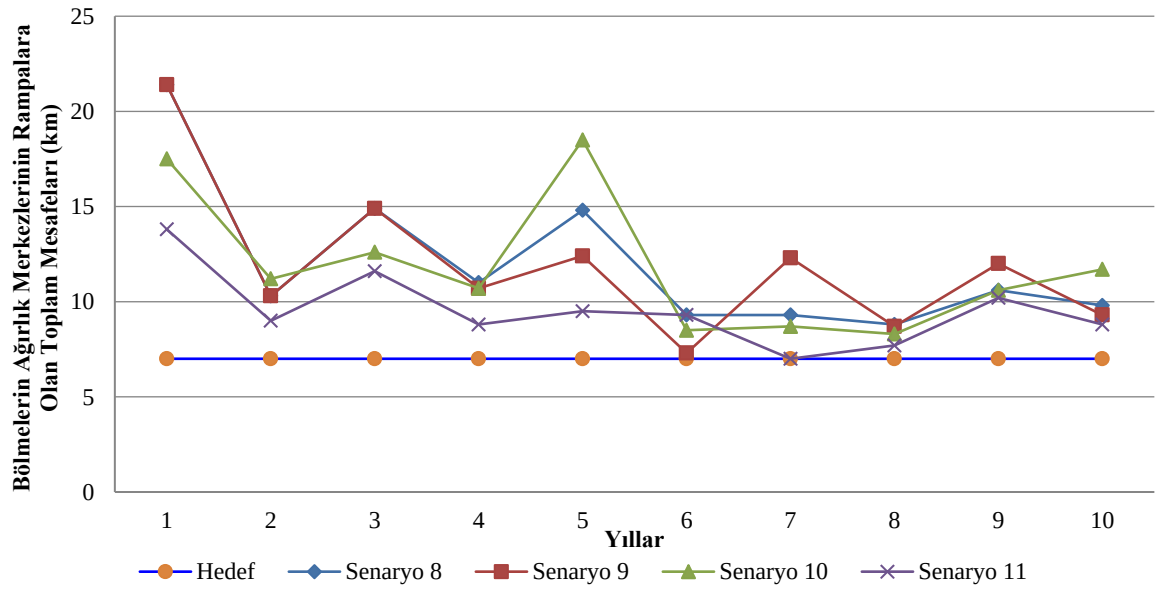
Mesafe hedef değerinden toplam sapma referans senaryosunda (senaryo 11) toplam 25,7 km olarak gerçekleşmiştir. Burada oluşan toplam mesafeler 7 km (7. yıl)'den 13,8 km (1. yıl)'ye kadar değişmektedir. Bir başka ifade ile hedef değerden sapmalar 0 km'den 6,8 km'ye kadar değişmektedir. Burada oluşan sapmaların hepsi pozitifdir. Bunda bölmelerin en yakın rampa etrafında bir araya toplanmasını sağlamak için bilinçli olarak hedef değerin düşük tutulması etkili olmuştur. Hacimde sadece toplam 6 m³ sapmanın oluştuğu ve mesafeyle birlikte değerlendirildiğinde en iyi sonucu veren senaryo 5'de toplam 59,7 km'lik bir sapma olmuştur. Burada oluşan toplam mesafeler 7,3 km (6. yıl)'den 21,4 km (1. yıl)'ye kadar değişmektedir. Mesafe referans senaryosu (11. senaryo) ve mesafe ile hacim için en iyi sonucu veren senaryo (5. senaryo) için çizilen haritalar, sırasıyla Şekil 4. 3 ve 4.4'de sunulmuştur.

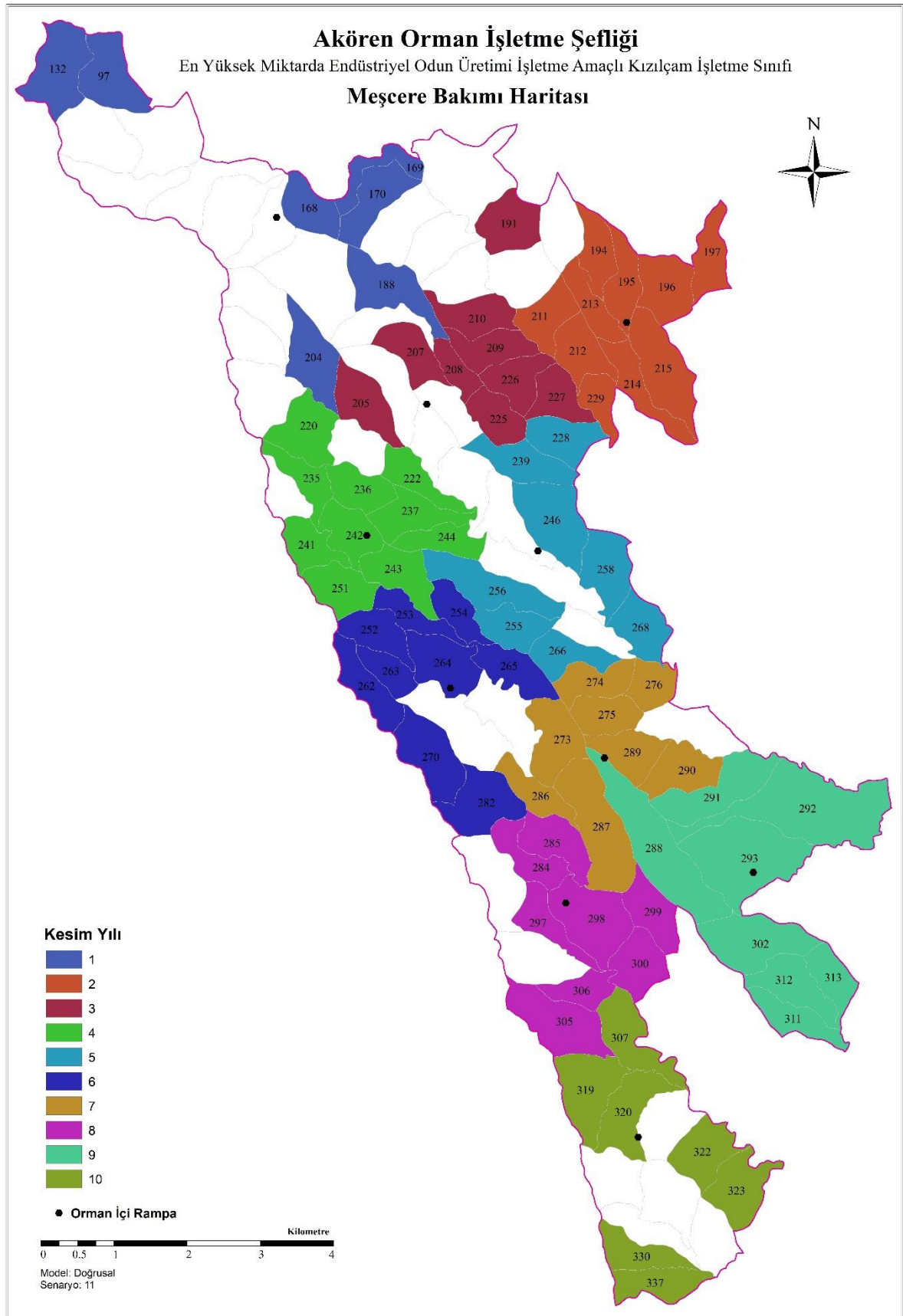
Tablo 4.4: Bakım bölmeleri ile rampalar arasındaki mesafelerin yıllara dağılımı (km).

Yıllar	Senaryolar										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	62,8	26,5	26,1	23,4	21,4	23,4	20,8	21,4	21,4	17,5	13,8
2	45	16,6	10,3	11,2	10,3	9,5	10,6	10,3	10,3	11,2	9
3	43,5	11,8	11,9	16,9	14,9	13,3	14,9	14,9	14,9	12,6	11,6
4	25,7	8,9	10,8	12,3	11,5	13,3	11,1	11	10,7	10,7	8,8
5	34,6	17,3	15,9	16	16,6	13,1	18,6	14,8	12,4	18,5	9,5
6	29,7	12,8	12,3	17,2	7,3	14,9	10	9,3	7,3	8,5	9,3
7	47,4	13,6	12,2	8,2	8,7	10,7	9,3	9,3	12,3	8,7	7
8	44,3	11,1	15,1	15,4	12,4	9,7	13	8,8	8,7	8,3	7,7
9	27,6	19,8	14,9	10,7	10,6	18,1	10,6	10,6	12	10,6	10,2
10	64,3	15,5	15,5	15,5	16	16	10,9	9,8	9,3	11,7	8,8

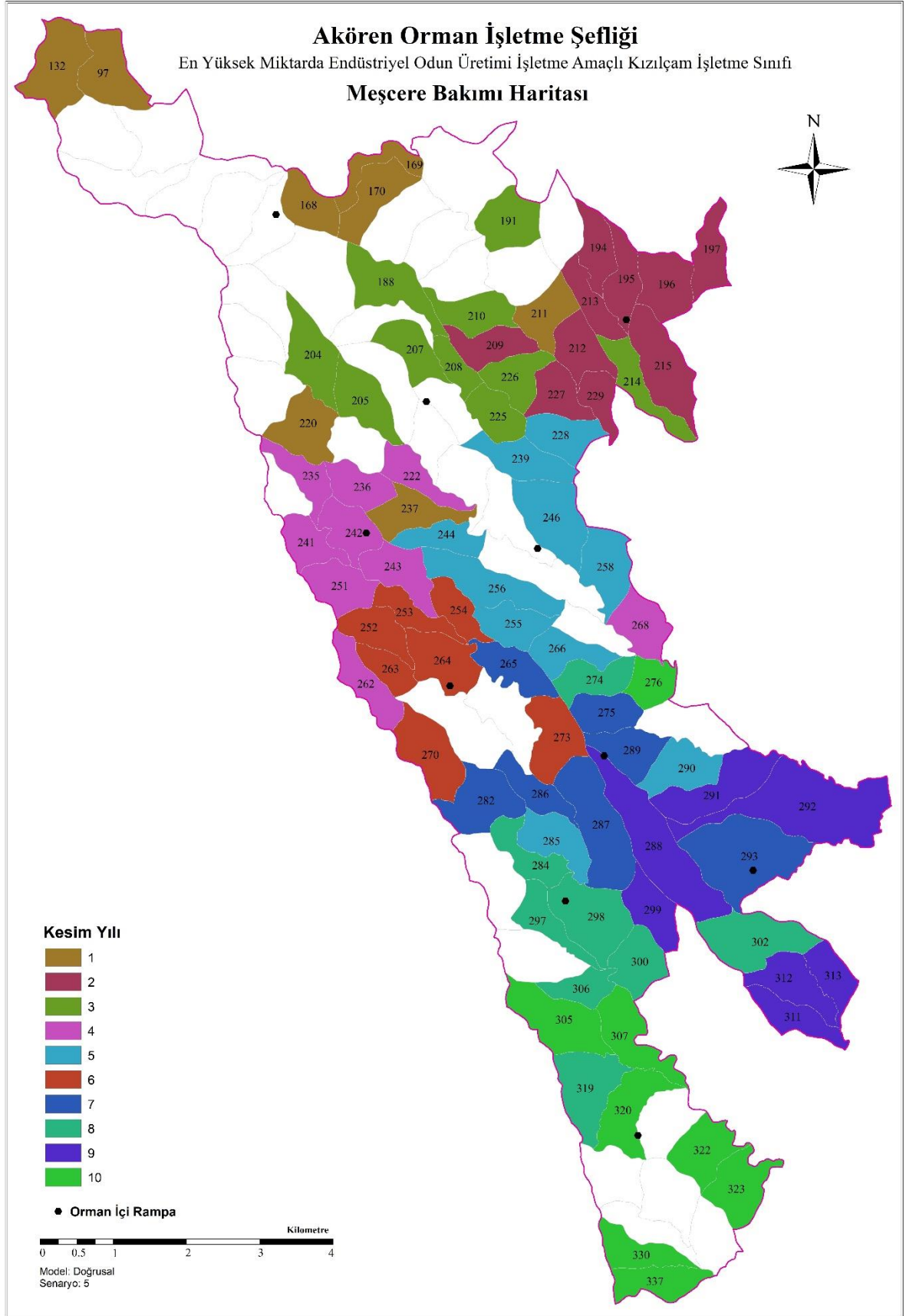
Tablo 4.5: Mesafe hedefinden sapmaların yıllara dağılımı (km).

Yıllar	Senaryolar										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	55,8	19,5	19,1	16,4	14,4	16,4	13,8	14,4	14,4	10,5	6,8
2	38	9,6	3,3	4,2	3,3	2,5	3,6	3,3	3,3	4,2	2
3	36,5	4,8	4,9	9,9	7,9	6,3	7,9	7,9	7,9	5,6	4,6
4	18,7	1,9	3,8	5,3	4,5	6,3	4,1	4	3,7	3,7	1,8
5	27,6	10,3	8,9	9	9,6	6,1	11,6	7,8	5,4	11,5	2,5
6	22,7	5,8	5,3	10,2	0,3	7,9	3	2,3	0,3	1,5	2,3
7	40,4	6,6	5,2	1,2	1,7	3,7	2,3	2,3	5,3	1,7	0
8	37,3	4,1	8,1	8,4	5,4	2,7	6	1,8	1,7	1,3	0,7
9	20,6	12,8	7,9	3,7	3,6	11,1	3,6	3,6	5	3,6	3,2
10	57,3	8,5	8,5	8,5	9	9	3,9	2,8	2,3	4,7	1,8
Toplam	354,9	83,9	75,0	76,8	59,7	72,0	59,8	50,2	49,3	48,3	25,7

**Şekil 4.2:** DBM ile elde edilen mesafelerin karşılaştırılması.



Şekil 4.3: DBM ile elde edilen meşçere bakımı haritası (senaryo 11).



Şekil 4.4: DBM ile elde edilen meşcere bakımı haritası (senaryo 5).

4.1.2. Doğrusal Olmayan Bakım Modeli ile Elde Edilen Sonuçlar

DOBM kullanılarak aynı bakım bloğunda yer alacak bölmelerin ağırlık merkezlerinin blok içerisinde yer alan farazi orman içi rampasına olan ortalama mesafeleri için belirlenen hedef değer (1 km)'den olan sapmalar en aza indirilerek bakım blokları oluşturulmuştur. DOBM'nin koşturulması ile elde edilen sonuçlar incelendiğinde yedi senaryo (1, 2, 3, 4, 5, 6 ve 7. senaryolar) için hacim hedef değerinden toplam sapmanın 0 m^3 olduğu görülmüştür. Mesafe referans senaryosu (senaryo 11) için hedef değerden toplam sapma ise 1,17 km olarak gerçekleşmiştir. Hacim ve mesafe sapmaları birlikte değerlendirildiğinde en iyi sonucu 3. senaryo vermiştir. Hacim ve mesafe sapmaları münferit olarak değerlendirildiğinde; hacim için en iyi sonucu sırasıyla 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ve 10. senaryolar verirken mesafe için 11, 10, 9, 3 ve 5. senaryolar vermiştir (Tablo 4.6). En iyi sonucu veren 3. senaryonun hacim ağırlığı 0,8 ve mesafe ağırlığı ise 0,2'dir.

Tablo 4.6: DOBM'nin çözümüyle elde edilen sonuçlar.

Senaryolar	Hedef Değerden Sapmalar		Bölmeler Arasındaki Ortalama Mesafe (km)
	Hacim (m^3)	Ortalama Mesafe (km)	
1	0,0	39,2	4,92
2	0,0	9,7	1,97
3	0,0	8,7	1,87
4	0,0	9,6	1,96
5	0,0	8,8	1,88
6	0,0	10	2,00
7	0,0	11,1	2,11
8	2,0	10,7	2,07
9	4,0	7,8	1,78
10	10,0	7,1	1,71
11	7.074,0	1,7	1,17

DOBM kullanarak elde edilen hacim değerlerinin senaryolar itibariyle yıllara dağılımı Tablo 4.7'de ve hacim için belirlenen hedef değerden (2.628 m^3) sapmalar da Tablo 4.8'de sunulmuştur. Mesafe referans senaryosu (senaryo 11) haricindeki senaryolar ile elde edilen hacim değerlerinin hedeften olan sapmaları grafik olarak Şekil 4.5'de gösterilmiştir.

Tablo 4.7 ve 4.8'den ve Şekil 4.5'den de anlaşılacağı üzere ara hasılat etası için belirlenen yıllık hedef değerden sapma 1, 2, 3, 4, 5, 6 ve 7. senaryolarda 0 m^3 olarak gerçekleşmiştir. Yani model bu 7 senaryo için tam sonuç vermiştir.

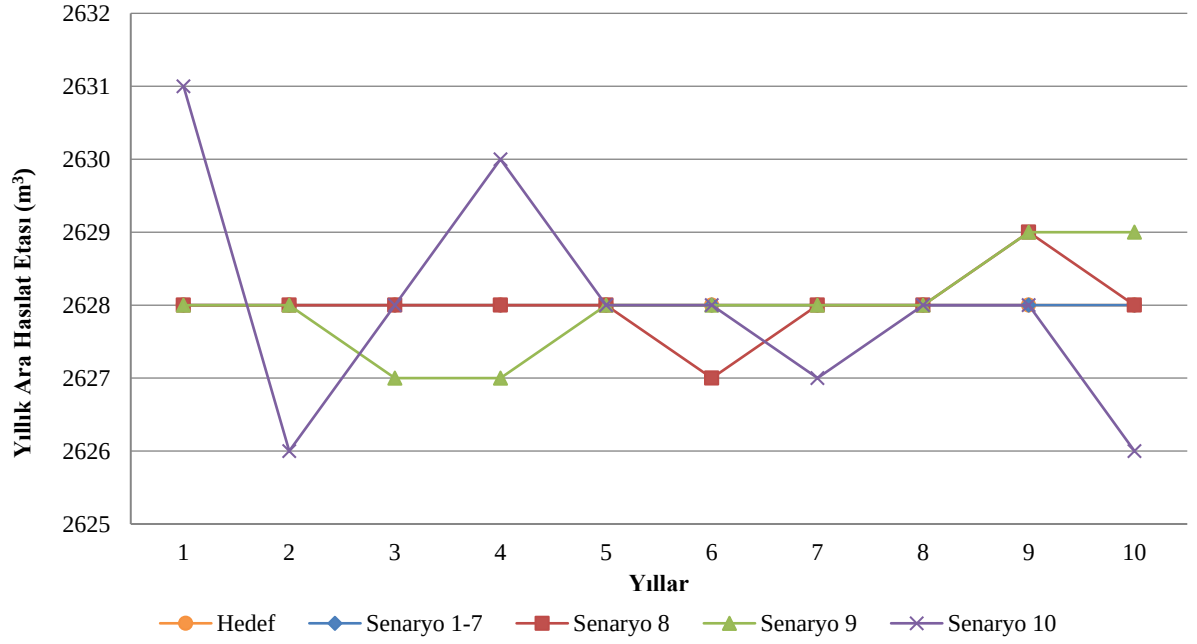
Amaç satırında hacim için hiçbir katsayı belirlenmeyen 11. senaryo (mesafe referans senaryosu) haricindeki senaryolar incelendiğinde hedef değerden en fazla negatif sapmanın -2 m^3 (2.626 m^3) ile 10. senaryonun 2 ve 10. yılında olduğu, en fazla pozitif sapmanın ise 3 m^3 (2.631 m^3) ile 10. senaryonun 1. yılında gerçekleştiği görülmektedir. Bir başka deyişle hacim için belirlenen hedef değerden en fazla sapma 3 m^3 , yani hacmin %0,11'i kadardır. Bu sapma, daha önce de belirtildiği gibi bir orman planlama birimi için ihmal edilebilecek bir değerdir.

Tablo 4.7: DOBM ile elde edilen hacim değerlerinin yıllara dağılımı (m^3).

Yıllar	Senaryolar										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.631	1.237
2	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.626	2.397
3	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.627	2.628	2.806
4	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.627	2.630	3.195
5	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	1.218
6	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.627	2.628	2.628	3.009
7	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.627	3.526
8	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.123
9	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.629	2.629	2.628	3.933
10	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.629	2.626	2.836
Toplam	26.280	26.280	26.280	26.280	26.280	26.280	26.280	26.280	26.280	26.280	26.280

Tablo 4.8: Hacim hedef değerinden sapmaların yıllara dağılımı (m^3) (DOBM).

Yıllar	Senaryolar										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	-1.391
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-231
3	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	178
4	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	2	567
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1.410
6	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	381
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	898
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-505
9	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1.305
10	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-2	208
Toplam	0	0	0	0	0	0	0	2	4	10	7.074



Şekil 4.5: DOBM ile elde edilen yıllık ara haslat etalarının karşılaştırılması.

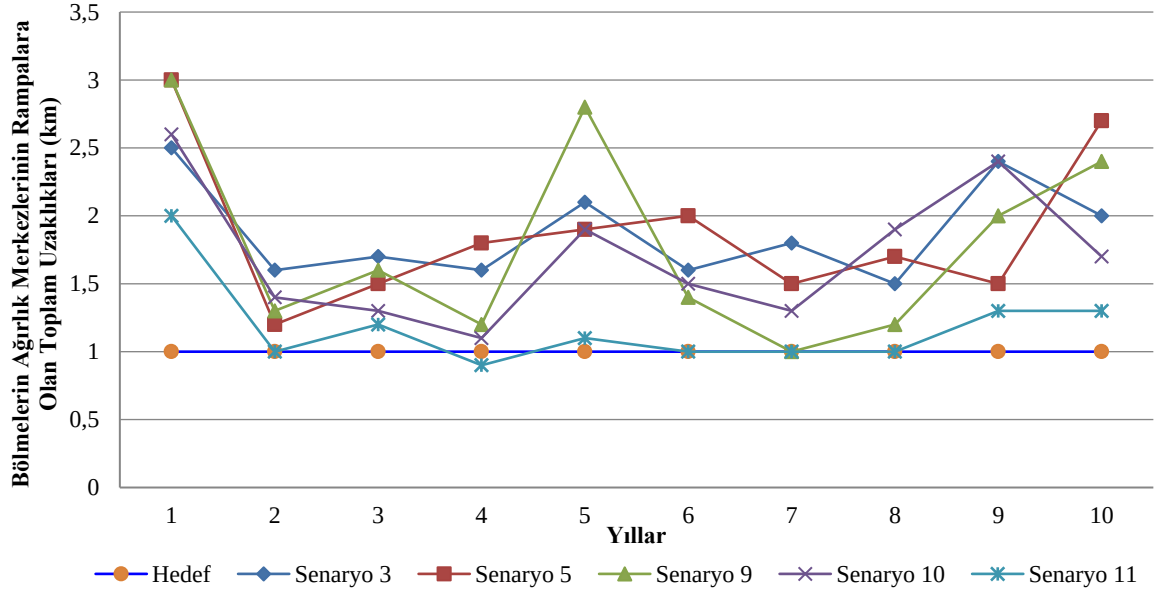
Çalışmada, aynı bakım bloğunda yer alacak bölmelerin ağırlık merkezlerinin blok içerisinde yer alan farazi rampaya olan ortalama mesafeleri için belirlenen hedef değer 1 km olarak belirlenmiştir. Bu değer, ArcMap 10.3'te yapılan ölçümler, deneme amaçlı model koşturmaları ve DBM sonuçları değerlendirilerek belirlenmiştir. DOBM ile elde edilen ortalama mesafelerin senaryolar itibariyle yıllara dağılımı Tablo 4.9'da ve mesafe için belirlenen hedef değerden sapmalar da Tablo 4.10'da sunulmuştur. Mesafe referans senaryosu (senaryo 11) ile birlikte en iyi sonucu veren dört senaryoyla (10, 9, 3 ve 5. senaryolar) elde edilen mesafelerin hedeften olan sapmaları grafik olarak Şekil 4.6'da gösterilmiştir.

Tablo 4.9: Bölmeler arasında oluşan ortalama mesafelerin yıllara dağılımı (km).

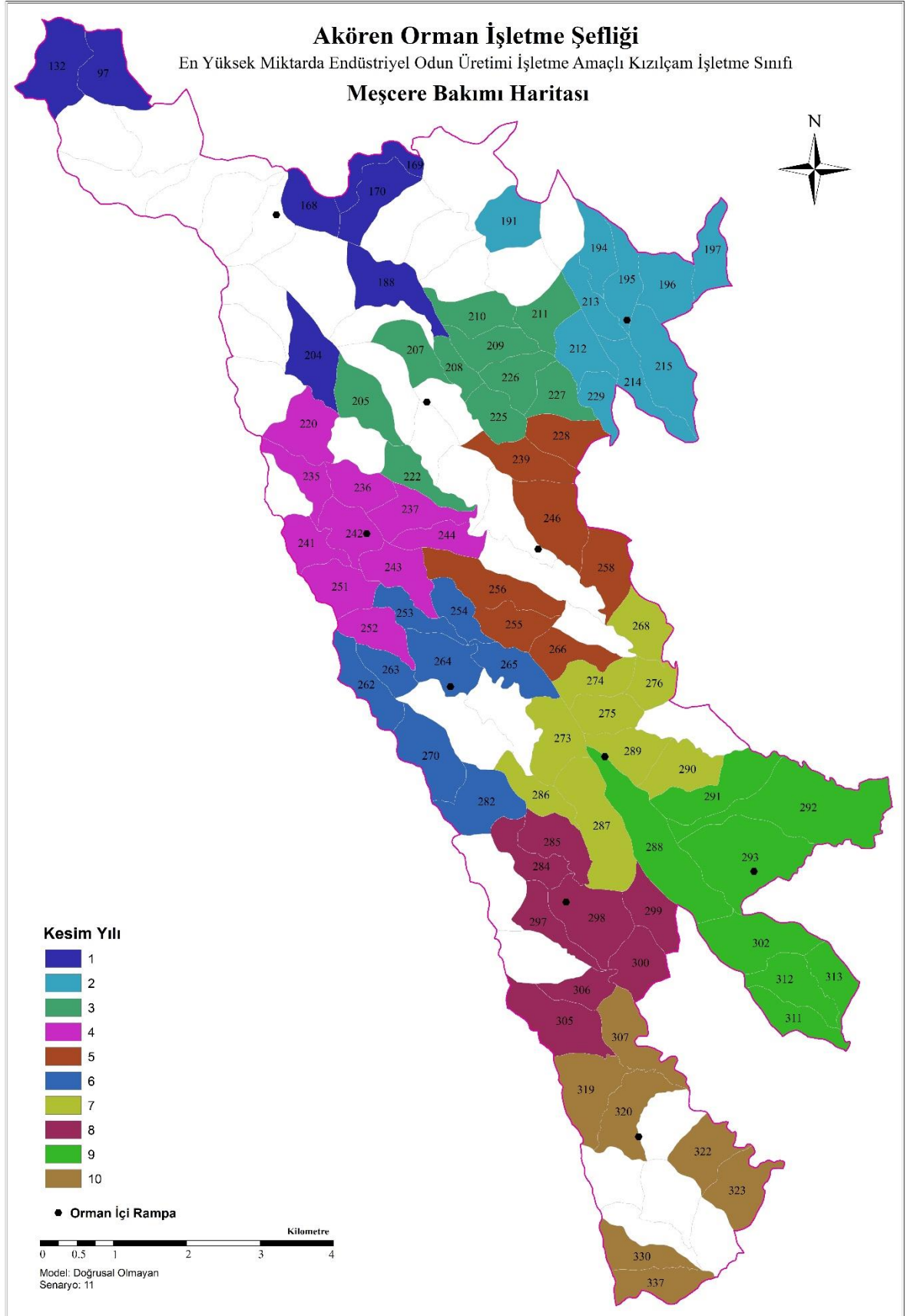
Yıllar	Senaryolar										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	6,0	2,6	2,5	3,0	3,0	2,6	2,7	2,6	3,0	2,6	2,0
2	5,4	1,8	1,6	1,1	1,2	1,7	1,4	1,6	1,3	1,4	1,0
3	5,7	1,7	1,7	2,0	1,5	2,0	2,2	2,7	1,6	1,3	1,2
4	5,9	1,8	1,6	1,2	1,8	1,5	1,6	1,3	1,2	1,1	0,9
5	2,6	3,0	2,1	2,8	1,9	1,9	1,9	2,6	2,8	1,9	1,1
6	3,1	1,1	1,6	2,3	2,0	1,4	2,2	1,4	1,4	1,5	1,0
7	2,8	1,6	1,8	1,4	1,5	2,1	1,7	1,6	1,0	1,3	1,0
8	6,5	1,4	1,5	2,0	1,7	1,5	1,3	1,7	1,2	1,9	1,0
9	6,1	2,2	2,4	1,9	1,5	2,2	2,7	2,0	2,0	2,4	1,3
10	5,2	2,4	2,0	1,9	2,7	3,1	3,5	3,3	2,4	1,7	1,3

Tablo 4.10: Ortalama mesafe hedefinden sapmaların yıllara dağılımı (km).

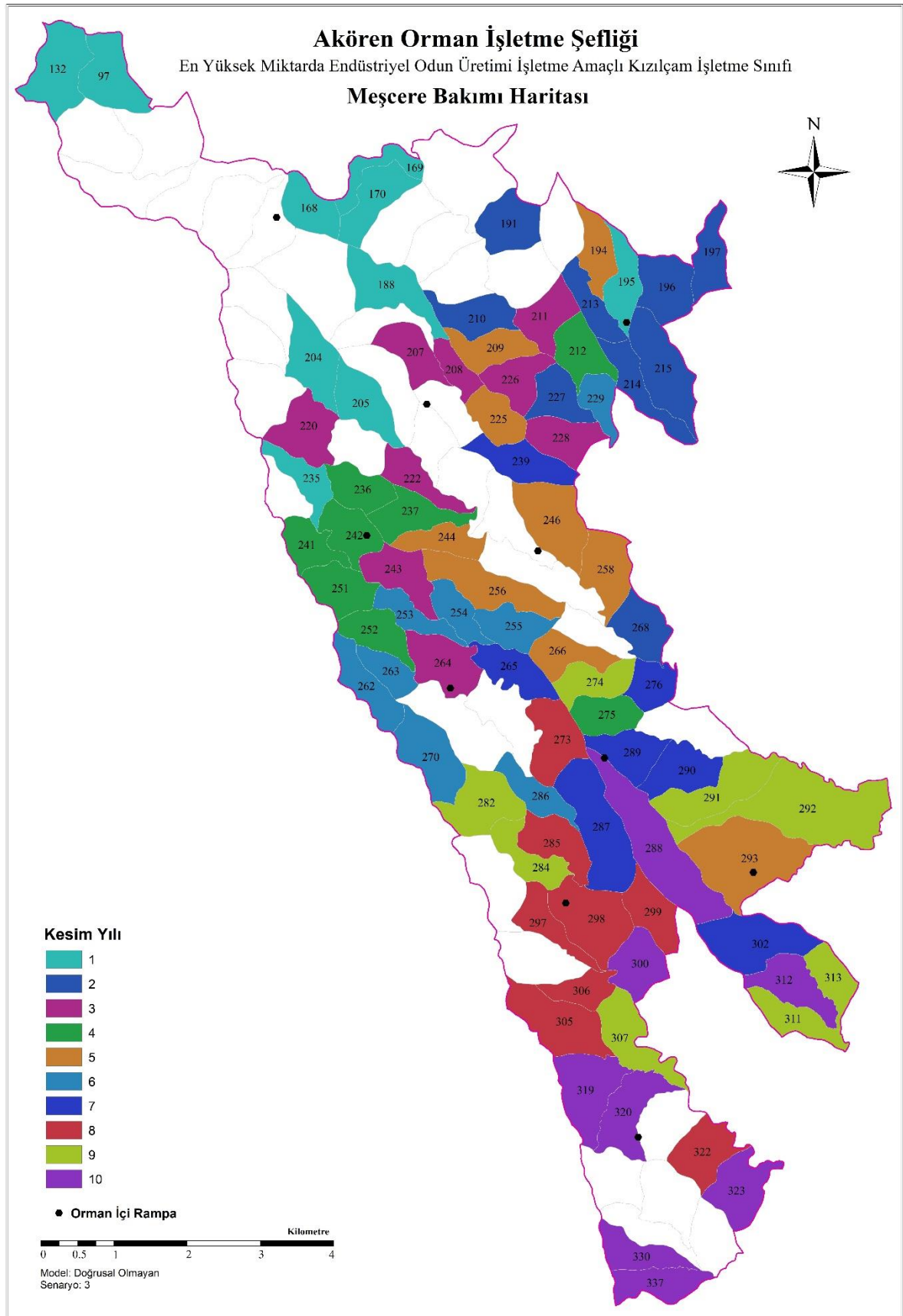
Yıllar	Senaryolar										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	5,0	1,6	1,5	2,0	2,0	1,6	1,7	1,6	2,0	1,6	1,0
2	4,4	0,8	0,6	0,1	0,2	0,7	0,4	0,6	0,3	0,4	0,0
3	4,7	0,7	0,7	1,0	0,5	1,0	1,2	1,7	0,6	0,3	0,2
4	4,9	0,8	0,6	0,2	0,8	0,5	0,6	0,3	0,2	0,1	-0,1
5	1,6	2,0	1,1	1,8	0,9	0,9	0,9	1,6	1,8	0,9	0,1
6	2,1	0,1	0,6	1,3	1,0	0,4	1,2	0,4	0,4	0,5	0,0
7	1,8	0,6	0,8	0,4	0,5	1,1	0,7	0,6	0,0	0,3	0,0
8	5,5	0,4	0,5	1,0	0,7	0,5	0,3	0,7	0,2	0,9	0,0
9	5,1	1,2	1,4	0,9	0,5	1,2	1,7	1,0	1,0	1,4	0,3
10	4,2	1,4	1,0	0,9	1,7	2,1	2,5	2,3	1,4	0,7	0,3
Toplam	39,2	9,7	8,7	9,6	8,8	10,0	11,1	10,7	7,8	7,1	1,7

**Şekil 4.6:** DOBM ile elde edilen ortalama mesafelerin karşılaştırılması.

Mesafe hedef değerinden (1 km) toplam sapma referans senaryosunda (senaryo 11) toplam 1,7 km olarak gerçekleşmiştir. Burada oluşan ortalama mesafeler 0,9 km (4. yıl)'den 2,0 km (1. yıl)'ye kadar değişmektedir. Bir başka ifade ile hedef değerden sapmalar -0,1 km'den +2,0 km'ye kadar değişmektedir. Tablo 4.10'da görüldüğü üzere sapmaların sadece biri negatif (11. senaryo, 4 yıl) olarak gerçekleşmiştir. Hacimde hiç sapmanın olmadığı ve mesafeyle birlikte değerlendirildiğinde en iyi sonucu veren senaryo 3'te toplam 8,7 km'lik bir sapma olmuştur. Burada oluşan ortalama mesafeler +1,5 km (8. yıl)'den +2,5 km (1. yıl)'ye kadar değişmektedir. Mesafe referans senaryosu (11. senaryo) ve mesafe ile hacim için en iyi sonucu veren senaryo (3. senaryo) için çizilen haritalar, sırasıyla Şekil 4.7 ve 4.8'de sunulmuştur.



Şekil 4.7: DOBM ile elde edilen meşcere bakımı haritası (senaryo 11).



Şekil 4.8: DOBM ile elde edilen meşcere bakımı haritası (senaryo 3).

4.2. GENÇLEŞTİRME PROBLEMİNE İLİŞKİN BULGULAR

Aynıyaşlı ve maktalı olarak işletilen ormanların planlanmasında kullanılan amenajman metodu yaş sınıfları metodudur. Aynıyaşlı ve maktalı bir işletme sınıfı ancak hem alan hem de ağaç serveti itibarıyla optimal durumda bulunması hâlinde bir bütün olarak optimal durumda sayılır. Aynıyaşlı ve maktalı işletilen ormanlarda faydalanmayı düzenleme amacıyla kullanılan amenajman metotlarının özü alan kontrolüne dayandığı için öncelikle alanların optimal kuruluşa ulaştırılması hedeflenir. Çünkü her yıl eşit miktarda ürün alabilmek için her yıl bu ürünü verecek miktarda alan kesmek gerekir. Bu durum ancak yaş sınıfları bakımından optimal kuruluşa olan ormanlarda mümkündür. Bu şartları sağlamanın yolu ise her yıl eşit miktarda yeni meşcere kurmak ve bunları idare süresi sonuna kadar götürmektir (Eraslan, 1982; OGM, 2014a).

Özetlemek gerekirse; yaş sınıfları bakımından optimal kuruluşa orman elde etmek ve piyasanın gereksinimlerini düzenli olarak karşılamak amacıyla her yıl eşit miktarda alanın gençleştirilmesi ve yıllık ara hâsılat miktarlarının da her yıl az çok birbirine eşit olması gerekir. İşletme tarafından piyasaya her yıl düzenli olarak odun hammaddesi sunulabilmesi için eşit miktarda alanın gençleştirilmesi tek başına yeterli değildir. Eşit alan gençleştirirken üzerinde bulunan son hasılat etasının da bir şekilde eşitlenmesi gerekir.

Orman plancısı tarafından gençleştirmeye verilen meşcerelerin kapalılık ve gelişim çağı açısından tipleri farklıdır, dolayısıyla hektardaki artım ve servet de farklıdır. Eşit alan gençleştirildiğinde eşit etanın da elde edilebilmesi gayesiyle gençleştirme alanlarının zaman ve mekân düzenlemesi için karışık tamsayı doğrusal hedef programlama modeli geliştirilmiştir. Bu model geliştirilirken her yıl eşit miktarda alanın gençleştirilmesi ve eşit miktarda ürünün alınması amaçlanmıştır. Gençleştirme çalışmasında çok küçük alanlarda çalışmaktan kaçındığımız için büyüklüğü 5,0 ha'dan küçük olan ve birbirine komşu olan bölmeciklerin aynı yıl gençleştirilmesi planlanmıştır. Mevzuata uygun olarak, toplamaları 25,0 ha'dan daha büyük olan komşu bölmeciklerin ise 5 yıl boyunca aynı anda gençleştirilmemesi istenilmiştir.

Hatırlanacağı üzere çalışmamızın gençleştirme problemine konu olan 166 bölmeciğin toplam alanı 1.777,0 ha ve 20 yıl için belirlenmiş son hasılat etası ise 467.000 m³'tür. Gençleştirme planı 20 yıl olarak düzenlendiği için yıllık olarak gençleştirilecek alan miktarı 88,85 ha ve elde edilecek odun ham maddesi miktarı (yıllık son hasılat etası) ise 23.350 m³'tür.

Çalışmada her iki hedeften de sapmalar en aza indirgenmeye çalışılmıştır. Geliştirilen modelin amaç satırında her iki hedefin 0-1 arasında toplamaları 1 olacak şekilde katsayılar ile çarpılması ile 11 farklı senaryo oluşturulmuştur. Bu ağırlıklar, amaç fonksiyon ögelerinin önem katsayısı değiştirildiğinde hacim ve alan çıktılarındaki sapmaları gözlemlemek için seçilmiştir.

Söz konusu bu genleştirme probleminin çözümü için tasarlanan karışık tamsayılı doğrusal hedef programlama modelinin 11 farklı senaryo kullanılarak koşturulması sonucu elde edilen veriler aşağıda detaylı bir şekilde analiz edilmiştir.

Alan referans senaryosu (senaryo 1) için hedef değerden toplam sapma 20 yıl için sadece 3,8 ha ve hacim referans senaryosu (senaryo 11) için hedef değerden toplam sapma 1.025 m³ olarak gerçekleşmiştir. Alan ve hacim sapmaları birlikte değerlendirildiğinde en iyi sonucu 3. senaryo vermiştir. Alan ve hacim sapmaları münferit olarak değerlendirildiğinde; alan için en iyi sonucu sırasıyla 1, 3, 2 ve 5. senaryolar verirken hacim için 8, 11, 9 ve 6. senaryolar vermiştir (Tablo 4.11). Burada 8. senaryonun 874 m³ ile referans senaryodan daha iyi sonuç vermesi ilginçtir.

Tablo 4.11: DGM'nin çözümüyle elde edilen sonuçlar.

Senaryolar	Hedef Değerlerden Sapmaların Toplamı	
	Alan (ha)	Hacim (m3)
1	3,8	60.613
2	14,2	10.968
3	3,8	2.889
4	25,4	7.951
5	24,5	3.790
6	27,2	1.366
7	36,1	3.414
8	34,7	874
9	64,8	1.260
10	105,9	2.827
11	197,6	1.025

DGM kullanarak elde edilen alan değerlerinin senaryolar itibariyle yıllara dağılımı Tablo 4.12'de ve alan için belirlenen hedef değerden (88,85 ha) sapmalar da Tablo 4.13'te sunulmuştur. Alan referans senaryosu (senaryo 1) ile birlikte sırasıyla en iyi sonucu veren 3, 2 ve 5. senaryolarla elde edilen alan değerlerinin hedeften olan sapmaları grafik olarak Şekil 4.9'da gösterilmiştir.

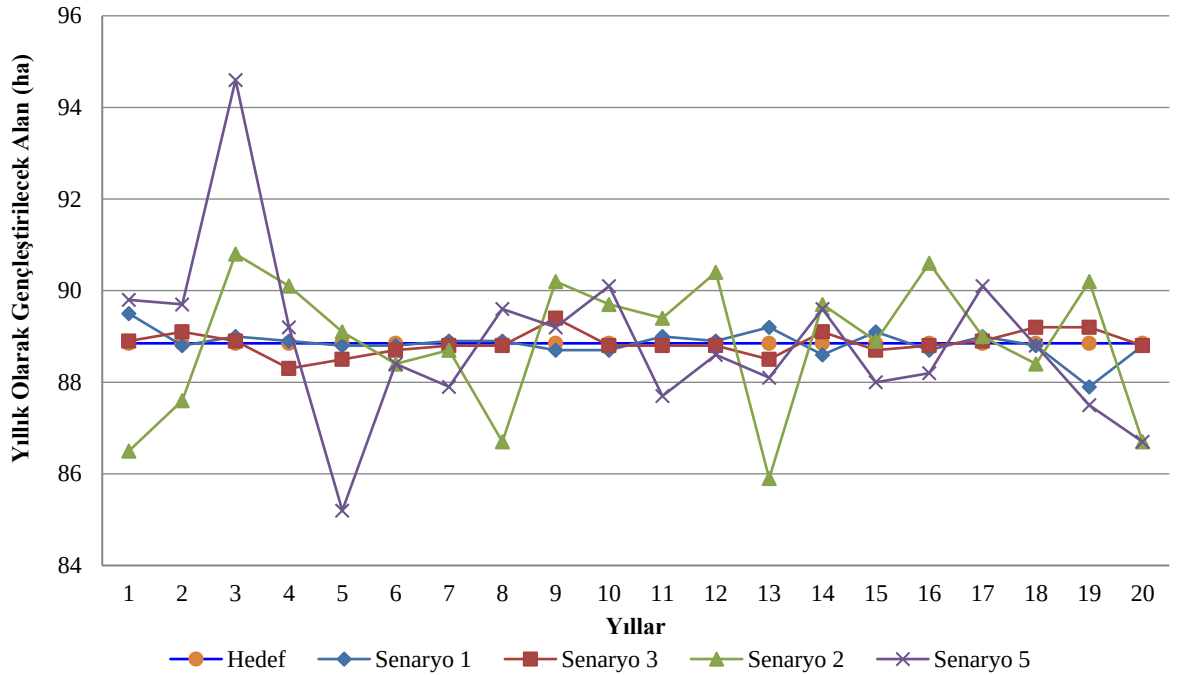
Tablo 4.12: DGM ile elde edilen alan değerlerinin yıllara dağılımı (ha).

Yıllar	Senaryolar										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	89,5	88,7	88,9	88,6	89,8	93,1	91,7	92,9	94,8	106,1	115,4
2	88,8	90,4	89,1	90,4	89,7	90,2	89,4	89,7	98,5	89,7	130,2
3	89,0	87,7	88,9	90,0	94,6	88,6	87,6	89,0	87,8	92,7	99,8
4	88,9	88,5	88,3	89,0	89,2	89,3	89,4	92,4	88,3	95,7	89,5
5	88,8	88,9	88,5	89,2	85,2	88,9	88,9	87,5	91,3	93,7	90,5
6	88,8	89,4	88,7	91,4	88,4	89,0	84,9	91,8	89,3	95,9	91,5
7	88,9	88,7	88,8	90,2	87,9	88,5	88,4	88,2	89,7	90,8	88,7
8	88,9	89,0	88,8	88,2	89,6	88,8	89,3	88,5	83,6	86,0	99,7
9	88,7	87,8	89,4	91,7	89,2	87,1	92,3	87,9	91,8	86,9	90,8
10	88,7	87,3	88,8	85,7	90,1	87,3	87,1	89,1	88,0	88,7	76,2
11	89,0	87,5	88,8	86,4	87,7	84,9	86,3	89,0	88,7	89,2	79,8
12	88,9	91,4	88,8	90,2	88,6	86,6	88,7	85,0	90,2	90,5	90,2
13	89,2	88,4	88,5	89,1	88,1	90,3	91,2	85,6	83,2	75,3	76,9
14	88,6	88,7	89,1	89,3	89,6	91,8	84,6	89,2	92,0	90,6	81,7
15	89,1	88,4	88,7	83,2	88,0	88,5	87,4	90,2	92,4	88,5	80,6
16	88,7	90,0	88,8	89,1	88,2	91,8	87,8	83,2	90,9	81,6	76,8
17	89,0	88,6	88,9	88,6	90,1	87,9	88,1	89,0	88,3	95,4	89,7
18	88,8	88,8	89,2	89,3	88,8	88,6	93,3	92,4	78,1	83,0	74,7
19	87,9	89,6	89,2	88,6	87,5	88,6	92,2	87,8	82,5	72,4	74,3
20	88,8	89,2	88,8	88,8	86,7	87,2	88,4	88,6	87,6	84,3	80,0
Toplam	1.777,0	1.777,0	1.777,0	1.777,0	1.777,0	1.777,0	1.777,0	1.777,0	1.777,0	1.777,0	1.777,0

Tablo 4.13: Alan için belirlenen hedef değerden sapmaların yıllara dağılımı (ha).

Yıllar	Senaryolar										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0,65	-0,15	0,05	-0,25	0,95	4,25	2,85	4,05	5,95	17,25	26,55
2	-0,05	1,55	0,25	1,55	0,85	1,35	0,55	0,85	9,65	0,85	41,35
3	0,15	-1,15	0,05	1,15	5,75	-0,25	-1,25	0,15	-1,05	3,85	10,95
4	0,05	-0,35	-0,55	0,15	0,35	0,45	0,55	3,55	-0,55	6,85	0,65
5	-0,05	0,05	-0,35	0,35	-3,65	0,05	0,05	-1,35	2,45	4,85	1,65
6	-0,05	0,55	-0,15	2,55	-0,45	0,15	-3,95	2,95	0,45	7,05	2,65
7	0,05	-0,15	-0,05	1,35	-0,95	-0,35	-0,45	-0,65	0,85	1,95	-0,15
8	0,05	0,15	-0,05	-0,65	0,75	-0,05	0,45	-0,35	-5,25	-2,85	10,85
9	-0,15	-1,05	0,55	2,85	0,35	-1,75	3,45	-0,95	2,95	-1,95	1,95
10	-0,15	-1,55	-0,05	-3,15	1,25	-1,55	-1,75	0,25	-0,85	-0,15	-12,65
11	0,15	-1,35	-0,05	-2,45	-1,15	-3,95	-2,55	0,15	-0,15	0,35	-9,05
12	0,05	2,55	-0,05	1,35	-0,25	-2,25	-0,15	-3,85	1,35	1,65	1,35
13	0,35	-0,45	-0,35	0,25	-0,75	1,45	2,35	-3,25	-5,65	-13,55	-11,95
14	-0,25	-0,15	0,25	0,45	0,75	2,95	-4,25	0,35	3,15	1,75	-7,15
15	0,25	-0,45	-0,15	-5,65	-0,85	-0,35	-1,45	1,35	3,55	-0,35	-8,25
16	-0,15	1,15	-0,05	0,25	-0,65	2,95	-1,05	-5,65	2,05	-7,25	-12,05
17	0,15	-0,25	0,05	-0,25	1,25	-0,95	-0,75	0,15	-0,55	6,55	0,85
18	-0,05	-0,05	0,35	0,45	-0,05	-0,25	4,45	3,55	-10,75	-5,85	-14,15
19	-0,95	0,75	0,35	-0,25	-1,35	-0,25	3,35	-1,05	-6,35	-16,45	-14,55
20	-0,05	0,35	-0,05	-0,05	-2,15	-1,65	-0,45	-0,25	-1,25	-4,55	-8,85
Toplam	3,80	14,20	3,80	25,40	24,50	27,20	36,10	34,70	64,80	105,90	197,60

Daha önce de ifade edildiği üzere, çalışma alanı olarak belirlenen işletme sınıfında yıllık olarak gençleştirilecek alan 88,85 ha (1.777 ha/20 yıl)'dır. Tablo 4.12 ve 4.13'ten ve Şekil 4.9'dan da anlaşılacağı üzere, alan hedefinden sapmaları en aza indirmeye çalıştığımız ve bu yüzden amaç satırında hacim için herhangi bir katsayı belirlemediğimiz alan referans senaryosunda (1. senaryo) 20 yıllık sapmanın toplamı sadece 3,8 ha olmuştur. Burada sapmalar -0,95 ha ile +0,65 ha arasında değişmektedir. Alan referans senaryosuna ek olarak 2 ve 3. senaryolar için oluşan sapmalar da bütün yıllarda 3,0 ha'dan daha küçük olmuştur. Alan ve hacim sapmaları birlikte değerlendirildiğinde en iyi sonucu veren 3. senaryoda 20 yıl için toplam sapma sadece 3,8 ha olarak gerçekleşmiştir. Burada hedef değerden olan sapma -0,55 ha (4. yıl) ile +0,55 ha (9. yıl) arasında değişmektedir. Bir başka deyişle alan için belirlenen hedef değerden en fazla sapma 0,55 ha, yani yıllık gençleştirme alanının %0,6'sı kadardır.



Şekil 4.9: DGM ile elde edilen gençleştirme alanlarının karşılaştırılması.

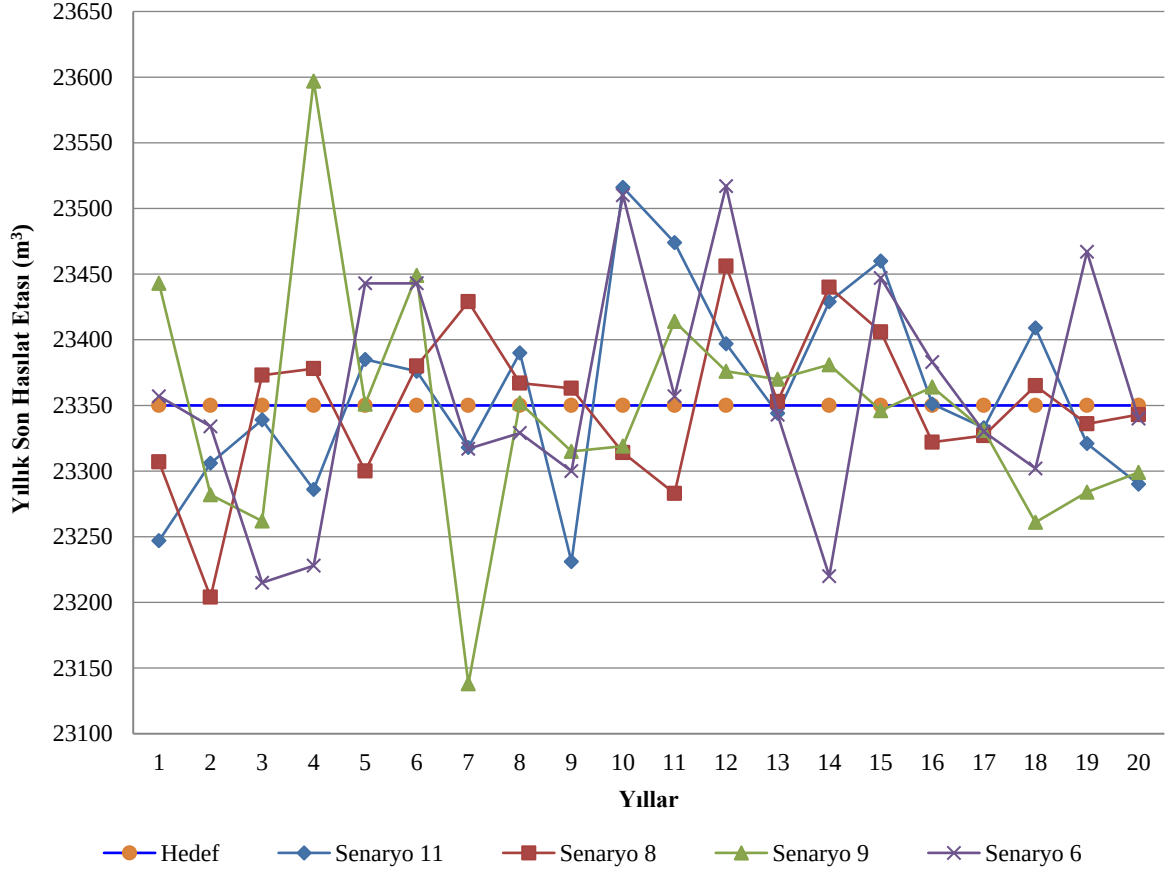
Çalışmada, her yıl eşit alan gençleştirirken eşit miktarda da son hasılat etası almak amaçlanmıştır. DGM kullanıldığında elde edilen toplam hacim değerlerinin senaryolar itibarıyla yıllara dağılımı Tablo 4.14'de ve hacim için belirlenen hedef değerden sapmalar da Tablo 4.15'de sunulmuştur. Hacim referans senaryosu (senaryo 11) ile birlikte en iyi sonucu veren üç senaryoyla (8, 9 ve 6. senaryolar) elde edilen hacimlerin hedeften olan sapmaları grafik olarak Şekil 4.10'da gösterilmiştir.

Tablo 4.14: DGM ile elde edilen yıllık son hasılat etasının dağılımı (m³).

Yıllar	Senaryolar										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	19.454	22.253	22.303	22.228	22.524	23.357	23.006	23.307	23.443	23.334	23.357
2	16.797	23.382	22.991	23.382	23.196	23.334	23.127	23.204	23.282	23.202	23.403
3	21.246	23.102	23.266	23.820	23.258	23.215	23.327	23.373	23.262	24.040	23.361
4	21.151	23.155	23.353	23.092	23.075	23.228	23.314	23.378	23.597	23.361	23.374
5	17.625	22.333	23.322	23.226	23.094	23.443	23.448	23.300	23.351	23.126	23.363
6	21.838	23.348	23.320	23.197	23.452	23.443	23.119	23.380	23.449	23.526	23.337
7	20.627	22.895	23.603	23.327	23.694	23.317	23.600	23.429	23.138	23.264	23.296
8	22.521	23.954	23.442	23.886	23.080	23.329	23.214	23.367	23.352	23.512	23.426
9	23.983	23.295	23.309	23.747	23.476	23.300	23.612	23.363	23.315	23.339	23.342
10	23.020	24.944	23.372	22.025	23.460	23.510	23.634	23.314	23.319	23.376	23.516
11	26.781	24.455	23.375	23.624	23.655	23.357	23.464	23.283	23.414	23.489	23.290
12	25.910	23.824	23.315	22.080	23.181	23.517	23.462	23.456	23.376	23.178	23.263
13	25.741	22.933	23.188	23.663	23.351	23.343	23.178	23.353	23.370	23.349	23.192
14	23.691	21.352	23.243	23.824	23.510	23.220	23.367	23.440	23.381	23.062	23.362
15	22.466	22.893	23.255	23.007	23.363	23.447	23.626	23.406	23.346	23.254	23.460
16	27.035	23.451	23.430	23.545	23.345	23.383	23.391	23.322	23.364	23.280	23.391
17	24.218	24.257	23.413	23.634	23.057	23.330	23.169	23.327	23.331	23.415	23.329
18	24.999	23.448	23.282	23.217	23.401	23.302	23.432	23.365	23.261	23.200	23.384
19	29.779	23.381	23.331	23.343	23.252	23.467	22.912	23.336	23.284	23.503	23.332
20	35.221	23.269	23.626	23.568	23.210	23.340	23.444	23.343	23.299	23.207	23.409
Toplam	474.103	465.924	465.739	465.435	465.634	467.182	466.846	467.046	466.934	467.017	467.187

Tablo 4.15: Yıllık son hasılat etası hedefinden sapmanın dağılımı (m³).

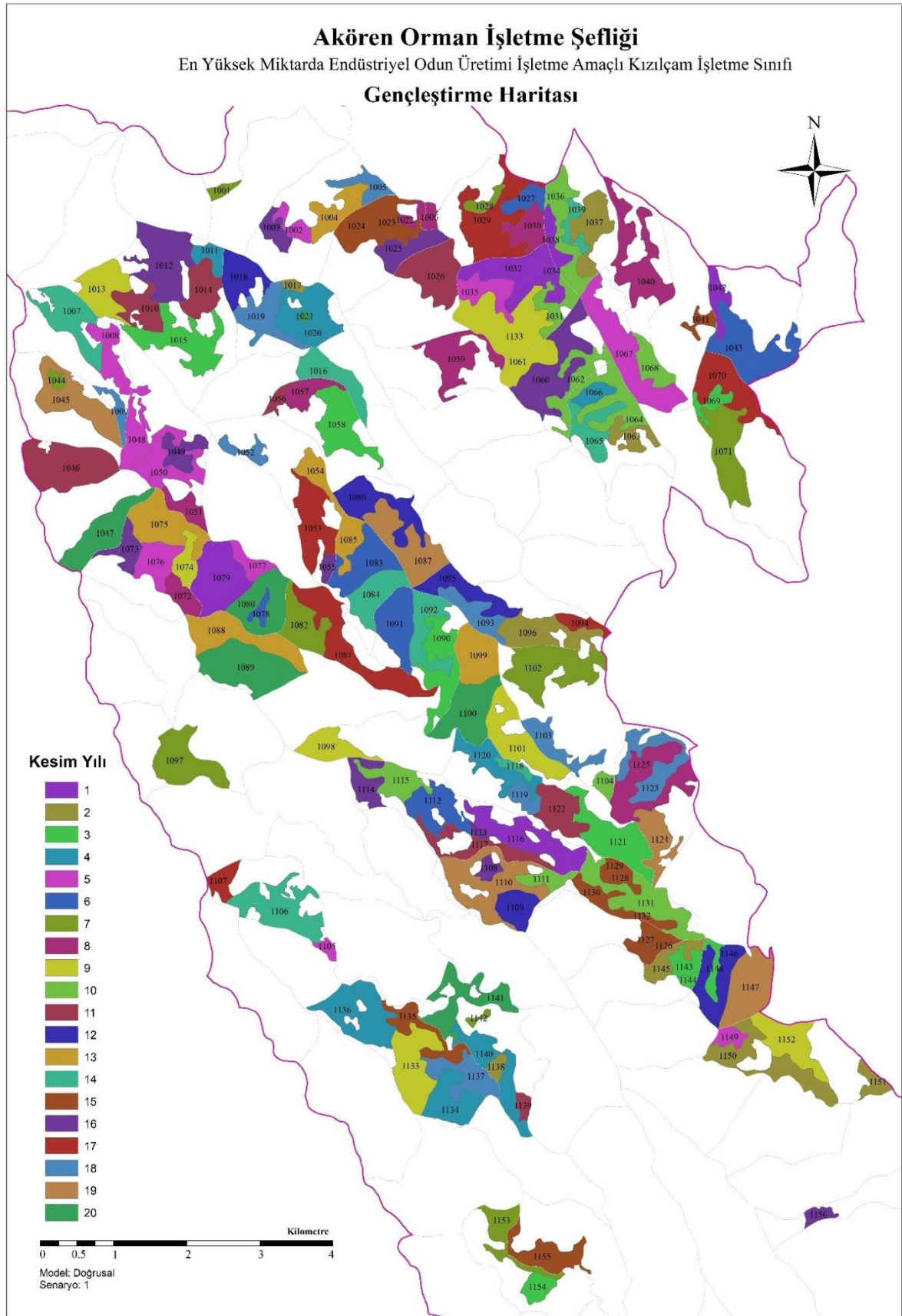
Yıllar	Senaryolar										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-3.896	-1.097	-1.047	-1.122	-826	7	-344	-43	93	-16	7
2	-6.553	32	-359	32	-154	-16	-223	-146	-68	-148	53
3	-2.104	-248	-84	470	-92	-135	-23	23	-88	690	11
4	-2.199	-195	3	-258	-275	-122	-36	28	247	11	24
5	-5.725	-1.017	-28	-124	-256	93	98	-50	1	-224	13
6	-1.512	-2	-30	-153	102	93	-231	30	99	176	-13
7	-2.723	-455	253	-23	344	-33	250	79	-212	-86	-54
8	-829	604	92	536	-270	-21	-136	17	2	162	76
9	633	-55	-41	397	126	-50	262	13	-35	-11	-8
10	-330	1.594	22	-1.325	110	160	284	-36	-31	26	166
11	3.431	1.105	25	274	305	7	114	-67	64	139	-60
12	2.560	474	-35	-1.270	-169	167	112	106	26	-172	-87
13	2.391	-417	-162	313	1	-7	-172	3	20	-1	-158
14	341	-1.998	-107	474	160	-130	17	90	31	-288	12
15	-884	-457	-95	-343	13	97	276	56	-4	-96	110
16	3.685	101	80	195	-5	33	41	-28	14	-70	41
17	868	907	63	284	-293	-20	-181	-23	-19	65	-21
18	1.649	98	-68	-133	51	-48	82	15	-89	-150	34
19	6.429	31	-19	-7	-98	117	-438	-14	-66	153	-18
20	11.871	-81	276	218	-140	-10	94	-7	-51	-143	59
Toplam	60.613	10.968	2.889	7.951	3.790	1.366	3.414	874	1.260	2.827	1.025



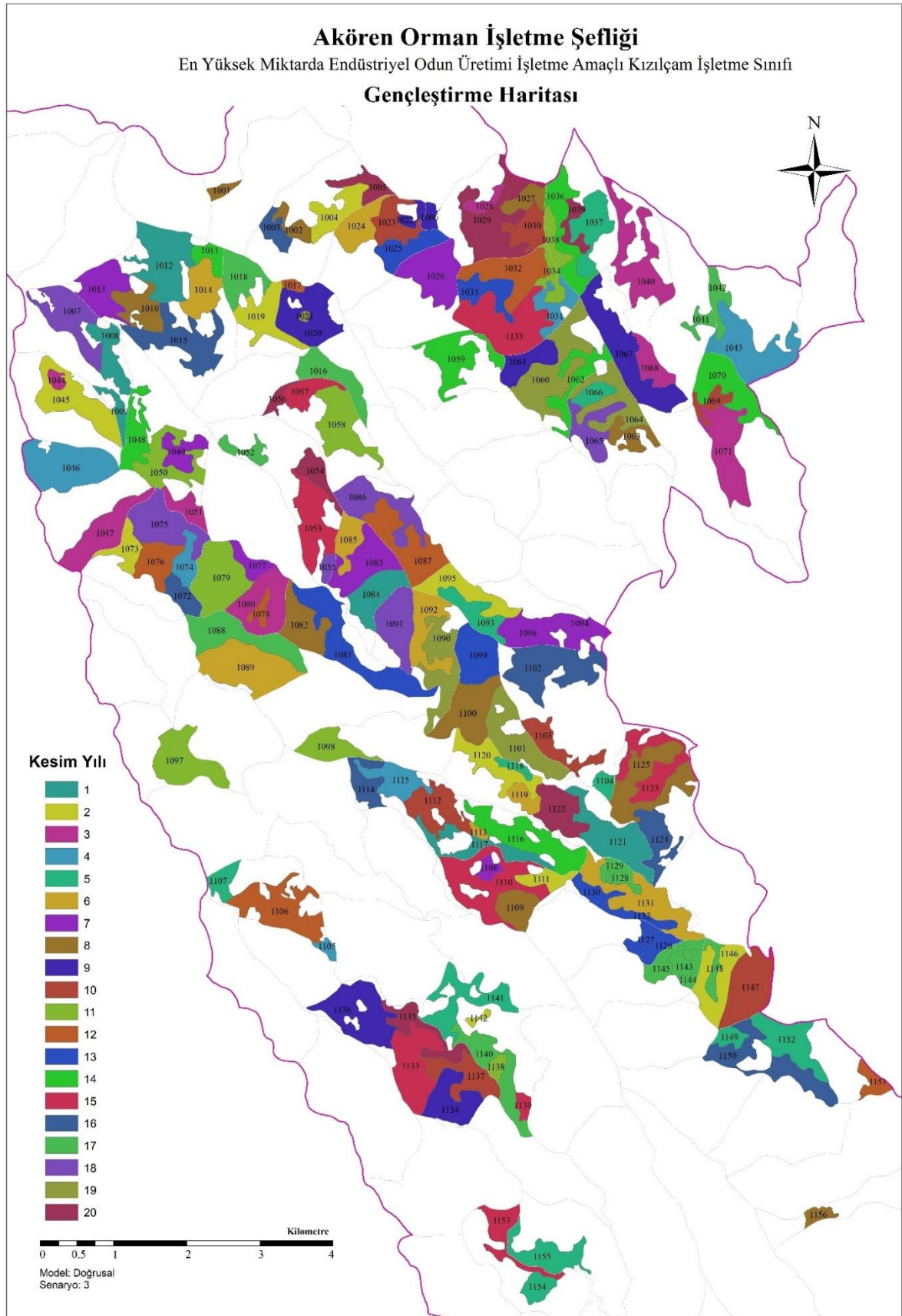
Şekil 4.10: DGM ile elde edilen yıllık son hasılat etalarının karşılaştırılması.

Tablo 4.15’den de anlaşılaçağı üzere hacim hedef değeriinden (23.350 m³) toplam sapma referans senaryosunda (senaryo 11) yirmi yıl için toplam 1.025 m³ olarak gerçekleşmiştir. Burada oluşan sapma -158 m³ (13. yıl)’ten +166 m³ (10. yıl)’e kadar değişmektedir. Alan ve hacim birlikte değerlendirildiğinde en iyi sonucu veren 3. senaryoda 20 yıl için toplam sapma 2.889 m³ olmuştur. Burada -1.047 m³ (1. yıl) ile 276 m³ (20. yıl) arasında değişen bir sapma söz konusudur. Bir başka ifade ile 1. yılda 22.303 m³ ve 20. yılda 23.626 m³’lük bir üretim planlanmıştır. Hedef hacim değeriinden sapmaların hedef hacme oranı ise -%4,48 ile +%1,18 arasında değişmektedir.

DGM’nin sonuçlarını daha iyi göstermek için ArcMap 10.3’de haritalar çizilmiştir. Alan referans senaryosu (1. senaryo) için çizilen harita Şekil 4.11’de ve mesafe ve hacim için en iyi sonucu veren senaryo (3. senaryo) için çizilen harita ise Şekil 4.12’de verilmiştir.



Şekil 4.11: DGM ile elde edilen gençleştirme haritası (senaryo 1).



Şekil 4.12: DGM ile elde edilen gençleştirme haritası (senaryo 3).

4.3. ÇALIŞMA ALANI İÇİN ELDE EDİLEN KESİM PLANLARI

4.3.1. Ara Hasılat Kesim Planları

Bakım modellerinin Lingo 16'da koşturulması ile elde edilen sonuçlar arasında hacim ve mesafe sapmalarının birlikte değerlendirilmesi durumunda en iyi sonucu veren senaryoların (DBM için 5. senaryo ve DOBM için 3. senaryo) sonuçları kullanılarak ara hasılat kesim planı tabloları düzenlenmiştir (Tablo 4.16 ve 4.17).

Tablo 4.16: Ara Hasılat Kesim Planı (DBM, 5. senaryo).

Yıl	Blok No	Bölme No	Eta m ³	Yıl	Blok No	Bölme No	Eta m ³
2014	I	97	767	2017	IV	222	32
2014	I	132	8	2017	IV	235	154
2014	I	168	123	2017	IV	236	18
2014	I	169	59	2017	IV	241	140
2014	I	170	187	2017	IV	242	526
2014	I	211	8	2017	IV	243	572
2014	I	220	180	2017	IV	251	146
2014	I	237	1.297	2017	IV	262	305
Toplam			2.629	2017	IV	268	735
2015	II	194	84	Toplam			2.628
2015	II	195	904	2018	V	228	560
2015	II	196	230	2018	V	239	170
2015	II	197	156	2018	V	244	130
2015	II	209	408	2018	V	246	102
2015	II	212	66	2018	V	255	48
2015	II	213	12	2018	V	256	28
2015	II	215	288	2018	V	258	16
2015	II	227	364	2018	V	266	294
2015	II	229	116	2018	V	285	422
Toplam			2.628	2018	V	290	857
2016	III	188	43	Toplam			2.627
2016	III	191	39	2019	VI	252	32
2016	III	204	50	2019	VI	253	352
2016	III	205	333	2019	VI	254	344
2016	III	207	132	2019	VI	263	471
2016	III	208	127	2019	VI	264	491
2016	III	210	302	2019	VI	270	804
2016	III	214	502	2019	VI	273	132
2016	III	225	574	Toplam			2.626
2016	III	226	526				
Toplam			2.628				

Tablo 4.16 (devam): Ara Hasılat Kesim Planı (DBM, 5. senaryo).

Yıl	Blok No	Bölme No	Eta m ³	Yıl	Blok No	Bölme No	Eta m ³
2020	VII	265	58	2022	IX	288	254
2020	VII	275	403	2022	IX	291	529
2020	VII	282	184	2022	IX	292	102
2020	VII	286	188	2022	IX	299	417
2020	VII	287	256	2022	IX	311	544
2020	VII	289	547	2022	IX	312	550
2020	VII	293	992	2022	IX	313	232
Toplam			2.628	Toplam			2.628
2021	VIII	274	398	2023	X	276	10
2021	VIII	284	265	2023	X	305	155
2021	VIII	297	353	2023	X	307	374
2021	VIII	298	78	2023	X	320	26
2021	VIII	300	22	2023	X	322	660
2021	VIII	302	730	2023	X	323	672
2021	VIII	306	411	2023	X	330	152
2021	VIII	319	372	2023	X	337	580
Toplam			2.629	Toplam			2.629

Tablo 4.17: Ara Hasılat Kesim Planı (DOBM, 3. senaryo).

Yıl	Blok No	Bölme No	Eta m ³	Yıl	Blok No	Bölme No	Eta m ³
2014	I	97	767	2016	III	207	132
2014	I	132	8	2016	III	208	127
2014	I	168	123	2016	III	211	8
2014	I	169	59	2016	III	220	180
2014	I	170	187	2016	III	222	32
2014	I	188	43	2016	III	226	526
2014	I	195	904	2016	III	228	560
2014	I	204	50	2016	III	243	572
2014	I	205	333	2016	III	264	491
2014	I	235	154	Toplam			2.628
Toplam			2.628	2017	IV	212	66
2015	II	191	39	2017	IV	236	18
2015	II	196	230	2017	IV	237	1.297
2015	II	197	156	2017	IV	241	140
2015	II	210	302	2017	IV	242	526
2015	II	213	12	2017	IV	251	146
2015	II	214	502	2017	IV	252	32
2015	II	215	288	2017	IV	275	403
2015	II	227	364	Toplam			2.628
2015	II	268	735	Toplam			2.628
Toplam			2.628	Toplam			2.628

Tablo 4.17 (devam): Ara Hasılat Kesim Planı (DOBM, 3. senaryo).

Yıl	Blok No	Bölme No	Eta m ³	Yıl	Blok No	Bölme No	Eta m ³
2018	V	194	84	2021	VIII	273	132
2018	V	209	408	2021	VIII	285	422
2018	V	225	574	2021	VIII	297	353
2018	V	244	130	2021	VIII	298	78
2018	V	246	102	2021	VIII	299	417
2018	V	256	28	2021	VIII	305	155
2018	V	258	16	2021	VIII	306	411
2018	V	266	294	2021	VIII	322	660
2018	V	293	992	Toplam			2.628
Toplam			2.628	2022	IX	274	398
2019	VI	229	116	2022	IX	282	184
2019	VI	253	352	2022	IX	284	265
2019	VI	254	344	2022	IX	291	529
2019	VI	255	48	2022	IX	292	102
2019	VI	262	305	2022	IX	307	374
2019	VI	263	471	2022	IX	311	544
2019	VI	270	804	2022	IX	313	232
2019	VI	286	188	Toplam			2.628
Toplam			2.628	2023	X	288	254
2020	VII	239	170	2023	X	300	22
2020	VII	265	58	2023	X	312	550
2020	VII	276	10	2023	X	319	372
2020	VII	287	256	2023	X	320	26
2020	VII	289	547	2023	X	323	672
2020	VII	290	857	2023	X	330	152
2020	VII	302	730	2023	X	337	580
Toplam			2.628	Toplam			2.628

4.3.2. Gençleştirilecek Sahalara Ait Zaman-Mekân Düzenlemesi

DGM'nin Lingo 16'da koşturulması ile elde edilen sonuçlar arasında, alan ve hacim sapmaları birlikte değerlendirildiğinde en iyi sonucu veren, 3. senaryonun sonuçları kullanılarak gençleştirilecek sahalara ait zaman-mekân düzenlemesi yapılmıştır (Tablo 4.18). Hatırlanacağı üzere 3. senaryoda 20 yıl için toplam sapma alanda 3,8 ha olarak gerçekleşirken hacimde ise 2.889 m³ olarak gerçekleşmiştir. Gençleştirilecek alanların zaman-mekân düzenlemesinde model, ilk yıllar servetin fazla olduğu bölmeleri seçmiş ve diğer yıllar artımı hesaba katarak serveti ve dolayısıyla son hasılat etasını da yıllar itibariyle eşitlemiştir.

Tablo 4.18: Gençleştirilecek sahalara ait zaman-mekân düzenlemesi (3. senaryo).

Kesim Yılı	Bölme No	Bölmecik No	Meşcere Tipi	Meşcere Tipi Sembolü	Yaş Sınıfı	Alan (ha)	Servet (m ³)	Artım (m ³)	Son Hasılat Etası (m ³)
2014	185	1008	Çzcd3	Çzcd3-2	6	8,9	2.164	69	2.233
	185	1009	Çzcd3	Çzcd3-3	6	3,6	875	28	903
	186	1012	Çzcd3	Çzcd3-1	6	21,7	5.276	168	5.444
	223	1084	Çzcd3	Çzcd3	6	12,1	2.942	94	3.036
	256	1117	Çzcd3	Çzcd3-3	6	10,2	2.480	79	2.559
	257	1121	Çzcd3	Çzcd3-2	6	19,5	4.741	151	4.892
	296	1161	Çzcd3	Çzcd3-3	6	12,9	3.136	100	3.236
Toplam						88,9	21.614	689	22.303
2015	171	1004	Çzcd3	Çzcd3	6	9,7	2.358	75	2.508
	188	1019	Çzcd3	Çzcd3-1	6	12,2	2.966	95	3.156
	202	1045	Çzcd3	Çzcd3	6	17,9	4.352	139	4.630
	220	1073	Çzcd3	Çzcd3-1	6	6,4	1.556	50	1.656
	239	1095	Çzcd3	Çzcd3-1	6	11,7	2.845	91	3.027
	255	1111	Çzcd3	Çzcd3	6	5	1.216	39	1.294
	257	1120	Çzcd3	Çzcd3-1	6	11,6	2.820	90	3.000
	272	1142	Çzd2	Çzd2	6	1,1	218	5	228
	276	1146	Çzcd3	Çzcd3-1	6	13,5	3.282	105	3.492
Toplam						89,1	21.613	689	22.991
2016	191	1028	Çzc3	Çzc3-2	6	3	481	21	544
	194	1040	Çzcd3	Çzcd3	6	21,2	5.154	164	5.646
	202	1044	Çzc3	Çzc3	6	1,8	288	13	327
	203	1047	Çzcd3	Çzcd3-2	6	15,8	3.841	122	4.207
	204	1051	Çzcd3	Çzcd3	6	5,6	1.361	43	1.490
	213	1068	Çzcd3	Çzcd3	6	7,1	1.726	55	1.891
	215	1071	Çzcd3	Çzcd3	6	18,9	4.595	146	5.033
	221	1080	Çzcd3	Çzcd3-2	6	15,5	3.768	120	4.128
	Toplam					88,9	21.214	684	23.266
2017	192	1031	Çzc3	Çzc3	6	7	1.121	49	1.317
	196	1043	Çzcd3	Çzcd3	6	22,9	5.567	177	6.275
	203	1046	Çzcd3	Çzcd3-1	6	24,3	5.907	188	6.659
	220	1074	Çzcd3	Çzcd3-2	6	5,7	1.386	44	1.562
	252	1105	Çzbc3	Çzbc3-2	5	1,9	230	12	278
	256	1115	Çzcd3	Çzcd3-1	6	9,7	2.358	75	2.658
	296	1160	Çzcd3	Çzcd3-2	6	16,8	4.084	130	4.604
Toplam						88,3	20.653	675	23.353

Tablo 4.18 (devam): Gençleştirilecek sahalara ait zaman-mekân düzenlemesi.

Kesim Yılı	Bölme No	Bölmecik No	Meşcere Tipi	Meşcere Tipi Sembolü	Yaş Sınıfı	Alan (ha)	Servet (m ³)	Artım (m ³)	Son Hasılat Etası (m ³)
2018	193	1037	Çzcd3	Çzcd3-1	6	12,6	3.063	98	3.553
	212	1066	Çzcd3	Çzcd3	6	4,2	1.021	33	1.186
	239	1093	Çzc3	Çzc3	6	8,9	1.426	63	1.741
	246	1104	Çzcd3	Çzcd3-2	6	2,9	705	22	815
	252	1107	Çzcd3	Çzcd3	6	4,9	1.191	38	1.381
	257	1118	Çzbc3	Çzbc3-1	5	2,3	278	15	353
	272	1141	Çzcd3	Çzcd3	6	15,2	3.695	118	4.285
	278	1149	Çzc3	Çzc3	6	3,4	545	24	665
	278	1152	Çzcd3	Çzcd3	6	14,4	3.501	111	4.056
	284	1154	Çzcd3	Çzcd3	6	4,9	1.191	38	1.381
	285	1155	Çzcd3	Çzcd3	6	11,7	2.844	91	3.299
	296	1158	Çzc3	Çzc3	6	3,1	497	22	607
Toplam						88,5	19.957	673	23.322
2019	186	1014	Çzcd3	Çzcd3-3	6	10,6	2.577	82	3.069
	189	1024	Çzcd3	Çzcd3-1	6	9,6	2.334	74	2.778
	223	1085	Çzd2	Çzd2	6	7,1	1.408	34	1.612
	236	1089	Çzcd3	Çzcd3-2	6	24,1	5.859	187	6.981
	238	1092	Çzcd2	Çzcd2-2	6	12,3	1.909	62	2.281
	256	1113	Çzc3	Çzc3	6	1,2	192	8	240
	257	1119	Çzbc3	Çzbc3-2	5	4,1	496	27	658
	267	1131	Çzcd3	Çzcd3	6	19,7	4.789	152	5.701
Toplam						88,7	19.564	626	23.320
2020	186	1013	Çzcd3	Çzcd3-2	6	13,9	3.379	107	4.128
	190	1026	Çzcd3	Çzcd3	6	17,6	4.279	136	5.231
	204	1049	Çzc3	Çzc3-2	6	7	1.121	49	1.464
	221	1077	Çzbc3	Çzbc3	4	4,8	580	31	797
	223	1083	Çzcd3	Çzcd3	6	15,2	3.695	117	4.514
	239	1094	Çzcd2	Çzcd2	6	3,8	590	19	723
	239	1096	Çzcd3	Çzcd3-2	6	14,9	3.622	115	4.427
	255	1108	Çzbc3	Çzbc3	5	2,7	326	18	452
	305	1162	Çzc3	Çzc3	6	8,9	1.426	63	1.867
Toplam						88,8	19.018	655	23.603
2021	169	1001	Çzcd3	Çzcd3-2	6	2,1	511	16	639
	171	1002	Çzbc3	Çzbc3	6	4,1	496	27	712
	186	1010	Çzc3	Çzc3	6	9,5	1.522	67	2.058
	191	1027	Çzc3	Çzc3-1	6	5,1	817	36	1.105
	212	1063	Çzbc3	Çzbc3	5	6	725	39	1.037
	222	1082	Çzcd3	Çzcd3	6	12,4	3.014	96	3.782
	245	1100	Çzcd3	Çzcd3-1	6	17,6	4.279	136	5.367
	255	1109	Çzc3	Çzc3	6	8,3	1.330	59	1.802
	258	1125	Çzcd3	Çzcd3	6	21	5.105	163	6.409
	292	1156	Çzcd2	Çzcd2-3	6	2,7	419	14	531
Toplam						88,8	18.218	653	23.442

Tablo 4.18 (devam): Gençleştirilecek sahalara ait zaman-mekân düzenlemesi.

Kesim Yılı	Bölme No	Bölmecik No	Meşcere Tipi	Meşcere Tipi Sembolü	Yaş Sınıfı	Alan (ha)	Servet (m ³)	Artım (m ³)	Son Hasılat Etası (m ³)
2022	172	1006	Çzcd3	Çzcd3	6	2,3	559	18	721
	188	1020	Çzcd3	Çzcd3-2	6	18	4.376	139	5.627
	189	1022	Çzbc3	Çzbc3-1	4	2,4	290	16	434
	211	1061	Çzcd2	Çzcd2-1	6	8,8	1.366	44	1.762
	213	1067	Çzc3	Çzc3	6	24,4	3.909	172	5.457
	271	1134	Çzc3	Çzc3-2	6	13,1	2.099	92	2.927
	271	1136	Çzcd3	Çzcd3-1	6	20,4	4.959	158	6.381
Toplam						89,4	17.558	639	23.309
2023	189	1023	Çzcd1	Çzcd1	6	9,1	1.039	31	1.349
	191	1030	Çzd1	Çzd1	6	8,1	1.067	27	1.337
	215	1069	Çzbc3	Çzbc3	5	4	484	26	744
	246	1103	Çzcd3	Çzcd3-1	6	9,2	2.237	71	2.947
	256	1112	Çzbc3	Çzbc3	5	12,7	1.536	82	2.356
	271	1137	Çzcd3	Çzcd3-2	6	11,4	2.771	88	3.651
	276	1147	Çzcd3	Çzcd3-2	6	18,5	4.497	143	5.927
	305	1166	Çzcd3	Çzcd3-2	6	15,8	3.841	122	5.061
Toplam						88,8	17.472	590	23.372
2024	192	1034	Çzd1	Çzd1	6	4,9	645	16	821
	193	1038	Çzcd3	Çzcd3-2	6	4,6	1.118	36	1.514
	204	1050	Çzcd2	Çzcd2-2	6	13,1	2.033	66	2.759
	207	1058	Çzcd3	Çzcd3	6	16,3	3.963	126	5.349
	221	1079	Çzcd3	Çzcd3-1	6	20,1	4.886	156	6.602
	241	1097	Çzcd2	Çzcd2	6	17,5	2.716	88	3.684
	244	1098	Çzcd2	Çzcd2	6	10	1.552	50	2.102
	272	1138	Çzc3	Çzc3-1	6	2,3	368	16	544
Toplam						88,8	17.281	554	23.375
2025	188	1017	Çzcd1	Çzcd1	6	1,4	160	5	220
	192	1032	Çzcd2	Çzcd2-1	6	16,2	2.514	82	3.498
	220	1076	ÇzMcd2	ÇzMcd2-2	6	9,6	1.570	45	2.110
	221	1078	Çzcd2	Çzcd2	6	2,4	372	12	516
	224	1087	Çzcd3	Çzcd3	6	19	4.619	147	6.383
	252	1106	Çzcd2	Çzcd2	6	20	3.104	101	4.316
	278	1151	Çzcd2	Çzcd2-2	6	4,3	667	22	931
	296	1159	Çzcd3	Çzcd3-1	6	15,9	3.865	123	5.341
Toplam						88,8	16.871	537	23.315

Tablo 4.18 (devam): Gençleştirilecek sahalara ait zaman-mekân düzenlemesi.

Kesim Yılı	Bölme No	Bölmecik No	Meşcere Tipi	Meşcere Tipi Sembolü	Yaş Sınıfı	Alan (ha)	Servet (m ³)	Artım (m ³)	Son Hasılat Etası (m ³)
2026	189	1025	Çzcd3	Çzcd3-2	6	9,3	2.261	72	3.197
	192	1035	Çzd2	Çzd2	6	8,6	1.706	41	2.239
	222	1081	Çzcd2	Çzcd2	6	23,9	3.709	120	5.269
	245	1099	Çzcd2	Çzcd2	6	13,9	2.157	70	3.067
	266	1126	Çzcd3	Çzcd3	6	4,1	997	32	1.413
	266	1127	Çzd1	Çzd1	6	3,9	514	13	683
	267	1130	Çzcd2	Çzcd2	6	4,6	714	23	1.013
	267	1132	Çzd1	Çzd1	6	3,8	500	13	669
	305	1165	Çzcd3	Çzcd3-1	6	16,4	3.987	127	5.638
Toplam						88,5	16.545	511	23.188
2027	186	1011	Çzcd2	Çzcd2	6	4,4	683	22	991
	193	1036	Çzc3	Çzc3	6	13,5	2.163	95	3.493
	204	1048	Çzc3	Çzc3-1	6	10	1.602	71	2.596
	210	1059	Çzcd2	Çzcd2	6	15,9	2.468	80	3.588
	211	1062	Çzcd2	Çzcd2-2	6	9,6	1.490	48	2.162
	215	1070	Çzcd2	Çzcd2	6	16,9	2.623	85	3.813
	256	1116	Çzcd3	Çzcd3-2	6	18,8	4.570	145	6.600
Toplam						89,1	15.599	546	23.243
2028	206	1053	Çzcd3	Çzcd3	6	16	3890	124	5750
	207	1057	Çzcd2	Çzcd2-1	6	6,7	1040	34	1550
	255	1110	Çzcd2	Çzcd2	6	22,2	3445	112	5125
	258	1123	Çzcd2	Çzcd2-1	6	13,7	2126	69	3161
	271	1133	Çzc3	Çzc3-1	6	18,4	2947	130	4897
	272	1139	Çzc3	Çzc3-2	6	2,3	368	16	608
	284	1153	Çzcd2	Çzcd2	6	9,4	1459	47	2164
	Toplam					88,7	15.275	532	23.255
2029	171	1003	Çzcd2	Çzcd2	6	5	776	25	1.176
	186	1015	Çzcd3	Çzcd3-4	6	19,1	4.643	148	7.011
	220	1072	Çzcd2	Çzcd2	6	5,7	885	29	1.349
	246	1102	Çzcd2	Çzcd2	6	22,7	3.523	114	5.347
	256	1114	Çzcd2	Çzcd2	6	7,6	1.180	38	1.788
	258	1124	Çzcd2	Çzcd2-2	6	10,3	1.599	52	2.431
	278	1150	Çzcd2	Çzcd2-1	6	18,4	2.856	92	4.328
Toplam						88,8	15.462	498	23.430

Tablo 4.18 (devam): Gençleştirilecek sahalara ait zaman-mekân düzenlemesi.

Kesim Yılı	Bölme No	Bölmecik No	Meşcere Tipi	Meşcere Tipi Sembolü	Yaş Sınıfı	Alan (ha)	Servet (m³)	Artım (m³)	Son Hasılat Etası (m³)
2030	187	1016	Çzcd2	Çzcd2	6	11,7	1.816	59	2.819
	188	1018	Çzcd2	Çzcd2-1	6	10,9	1.692	55	2.627
	195	1041	Çzcd1	Çzcd1	6	2,8	320	10	490
	196	1042	Çzcd1	Çzcd1	6	5,3	605	18	911
	206	1052	Çzcd1	Çzcd1	6	4,1	468	14	706
	236	1088	Çzcd3	Çzcd3-1	6	18,3	4.449	141	6.846
	267	1128	Çzc3	Çzc3	6	1,4	224	10	394
	267	1129	Çzcd1	Çzcd1	6	4	457	14	695
	272	1140	Çzcd2	Çzcd2	6	14,1	2.188	71	3.395
	274	1143	Çzcd3	Çzcd3	6	4,5	1.094	35	1.689
	274	1144	Çzd1	Çzd1	6	1,5	198	5	283
	274	1145	Çzd2	Çzd2	6	6,8	1.349	32	1.893
	276	1148	Çzd1	Çzd1	6	3,5	461	12	665
	Toplam						88,9	15.321	476
2031	185	1007	Çzcd3	Çzcd3-1	6	16,2	3.938	125	6.188
	206	1055	Çzd2	Çzd2-2	6	2,2	436	10	616
	212	1065	Çzcd2	Çzcd2	6	9,8	1.521	49	2.403
	220	1075	ÇzMcd2	ÇzMcd2-1	6	17,4	2.846	81	4.304
	224	1086	Çzcd2	Çzcd2	6	15,8	2.452	79	3.874
	238	1091	Çzcd2	Çzcd2-1	6	14,6	2.266	73	3.580
	305	1163	Çzcd1	Çzcd1	6	13,2	1.507	45	2.317
Toplam						89,2	14.966	462	23.282
2032	188	1021	Çzd1	Çzd1	6	0,6	79	2	117
	211	1060	Çzc3	Çzc3	6	22,9	3.668	162	6.746
	212	1064	Çzcd1	Çzcd1	6	14,2	1.622	48	2.534
	238	1090	Çzc3	Çzc3	6	15,7	2.515	111	4.624
	245	1101	Çzcd3	Çzcd3-2	6	17,5	4.254	136	6.838
	296	1157	Çzb3	Çzb3	4	15,5	650	59	1.771
	305	1164	Çzcd2	Çzcd2	6	2,8	435	14	701
	Toplam						89,2	13.223	532
2033	171	1005	Çzd2	Çzd2	6	6,1	1.210	29	1.790
	191	1029	Çzcd2	Çzcd2	6	23,5	3.647	118	6.007
	192	1033	Çzcd2	Çzcd2-2	6	24,3	3.772	122	6.212
	193	1039	Çzd2	Çzd2	6	4,2	833	20	1.233
	206	1054	Çzd2	Çzd2-1	6	6,4	1.269	31	1.889
	207	1056	Çzcd1	Çzcd1	6	2,4	274	8	434
	257	1122	Çzd2	Çzd2	6	12,1	2.400	58	3.560
	271	1135	Çzcd2	Çzcd2	6	9,8	1.521	49	2.501
	Toplam						88,8	14.926	435
GENEL TOPLAM						1.777	352.350	11.656	465.739

4.4. SONUÇLARIN GERÇEK PLANLAR İLE KARŞILAŞTIRILMASI

4.4.1. Meşcere Bakımı Planlarının Karşılaştırılması

Mevzuata (OGM, 2008 ve 2014a) göre meşcere bakım kesimleri ara hasılat kesim planlarına göre yapılmaktadır. Ara hasılat kesim planı işletme sınıfları ayrımı yapılmaksızın bölme bütünlüğü bozulmayacak şekilde oluşturulur. Bu amaçla 1 no.lu bölmeden başlanarak sonuncu bölmeye kadar her bölme içindeki normal kapalı meşcere tipleri ayrı ayrı ele alınarak her birisinden çıkartılacak ara hasılat etası hesaplanır. Bölmelerin etası bölmeciklerin, işletme sınıfının etası bölme etalarının toplamı, plan ünitesinin etası da işletme sınıflarının etasının toplanmasıyla hesaplanır. Bulunan toplam eta bakım kesimleri dönüş süresine bölünerek ortalama yıllık eta hesaplanır. Daha sonra etaların toplamı, yıllık miktara ulaşana kadar, bölme ve bölmecikler iş bütünlüğü, yol ve ulaşım kolaylığı, pazar yönü vb. ölçütlere göre bir araya getirilerek bakım blokları oluşturulur. Yıllık bakım programına alınacak bölme ve bölmeciklerin veya blokların seçimi uygulayıcıya bırakılabilir. Bu durum plan yapımı sırasında protokolle belirlenir (OGM, 2014a).

Plan ünitesindeki verimli orman alanları, bu ormanların görecekları öncelikli fonksiyonlar dikkate alınarak, meşcere bakımı için planlanmıştır. Bu amaçla, Akören OİŞ orman amenajman planında “*Aynıyaşlı Koru Ormanlarında Ara Hasılat Kesim Planı Tablosu*” düzenlenmiştir (OGM, 2014c). Plan yapıcıyla uygulayıcı arasında yapılan protokole göre orman amenajman planında, bakım alanları bloklara ayrılmamış, bakım bloklarının zaman ve mekân düzeni konusunda uygulayıcı, öngörülen yıllık 1/10 bakım etası miktarı ve bölme bütünlüğüne bağlı kalmak koşuluyla, serbest bırakılmıştır.

Çalışma alanı için yapılan amenajman planında bakım blokları oluşturulmadığı için elde edilen sonuçların planla karşılaştırılması tam olarak yapılamamıştır. Bunun için burada farklı bir yöntem izlenmiş ve Pos OİM’den, planın uygulamaya girdiği 2014 yılından itibaren hazırlanan, yıllık kesim planları temin edilmiştir (Pos OİM, 2017). Yaptığımız çalışmada A-Kızılçam İşletme Sınıfı münferit bir plan ünitesi gibi düşünülüp çalışmalar bu minvalde yapıldığından, temin edilen bu planlardan, A-Kızılçam İşletme Sınıfına ait olan veriler süzölmüş ve karşılaştırmada kullanılmak üzere 2014-2018 yılını kapsayan 5 yıllık bir kesim planı tablosu oluşturulmuştur (Tablo 4.19). Söz konusu rapor ve tablolarda uygulama sonuçları değil, plan verileri kullanılmıştır.

Tablo 4.19: A- Kızılçam İşletme Sınıfı Ara Hasılat Kesim Planı (uygulanan).

Yıl	Blok No	Bölme No	Eta m ³	Yıl	Blok No	Bölme No	Eta m ³
2014	I	97	766	2017	IV	214	251
2014	I	132	8	2017	IV	215	144
2014	I	242	279	2017	IV	268	735
2014	I	243	286	2017	IV	297	295
Toplam			1.339	2017	IV	298	49
2015	II	195	904	2017	IV	299	389
2015	II	262	238	2017	IV	306	411
2015	II	270	773	2017	IV	337	290
2015	II	282	184	Toplam			2.564
2015	II	322	660	2018	V	229	58
2015	II	323	672	2018	V	253	176
Toplam			3.431	2018	V	254	172
2016	III	196	230	2018	V	263	471
2016	III	228	280	2018	V	264	484
2016	III	239	85	2018	V	265	29
2016	III	286	188	2018	V	291	529
2016	III	288	127	2018	V	293	968
2016	III	289	423	2018	V	305	155
2016	III	290	857	2018	V	307	374
2016	III	302	501	Toplam			3.416
2016	III	311	295	GENEL TOPLAM			13.736
Toplam			2.986				

Akören OİŞ orman amenajman planında yer alan kesim planı tablosunda (*amenajman planı Tablo No.: 23-1*) A-Kızılçam İşletme Sınıfı için belirlenmiş periyodik (10 yıllık) ara hasılat etası 26.279 m³'tür. Daha önce de izah edildiği üzere, 10 yıllık ortalamanın tam sayı olması için, 97 no.lu bölmenin Çkcd3-1 bölmeciği için belirlenmiş 692 m³ lük etaya 1 m³ ilave edilerek bu değer 26.280 m³ olarak tespit edilmiştir. Yani çalışmada yıllık ara hasılat etası 2.628 m³'tür.

Çalışmada meşcere bakımı için elde edilen sonuçlar ile gerçek planın ve uygulamasının karşılaştırılması sadece planın ilk 5 yılı için mümkün olmuştur. Planın ilk 5 yılı için etaların karşılaştırılmasında herhangi bir problem yoktur. Ancak çalışmada planlanan bölmelerin ağırlık merkezlerinin bakım bloğu içerisinde yer alan farazi orman içi rampalarına olan uzaklıkları belirlendiği ve planda böyle bir uygulama olmadığı için mesafelerin karşılaştırılmasında, aynı bakım bloğunda planlanan bölmelerin birbirlerine olan toplam (ve ortalama) uzaklıkları karşılaştırılmıştır.

4.4.1.1. Doğrusal Model ile Elde Edilen Planın Karşılaştırılması

DBM 5. senaryonun sonuçları kullanılarak elde edilen ara hasılat kesim planı tablosundaki (Tablo 4.16) etalar ile Tablo 4.19’da verilen ve fiiliyatta uygulanan kesim planında yer alan etaların karşılaştırılması Tablo 4.20’de verilmiştir. Burada aynı bakım bloğundaki bölmelerin ağırlık merkezlerinin birbirlerine olan toplam mesafeleri de karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma bölmelerin birbirlerine olan mesafeleri hakkında bir fikir verecektir.

Tablo 4.20: DBM 5. senaryonun sonuçları ile uygulanan planın karşılaştırılması.

Kesim Yılı	DBM 5. Senaryo			Uygulanan Plan		
	Eta (m ³)	Sapma (m ³)	Mesafe (km)	Eta (m ³)	Sapma (m ³)	Mesafe (km)
2014	2.629	-1	110,4	1.339	1.289	32,4
2015	2.628	0	66,6	3.431	-803	93,0
2016	2.628	0	87,1	2.986	-358	160,9
2017	2.628	0	73,4	2.564	64	145,5
2018	2.627	1	110,7	3.416	-788	179,2
Ortalama	2.628	0,4	89,6	2.747	660,4	122,2

Tablo 4.20’de de görüldüğü üzere, DBM 5. senaryoda yıllık ara hasılat etasından sapma 5 yıl için ortalama 0,4 m³ olmuştur. Uygulanan planda ise bu sapma yıllık 660,4 m³’tür. Uygulanan planda sapmanın bu kadar yüksek olmasının nedenlerinden birincisi ara hasılat kesim planının hazırlanmasında işletme sınıfları ayrımı yapılmamasıdır. Yani bir işletme sınıfından belirli bir yılda az eta alınırken diğerinden çok alınabilmekte ancak bütün işletme sınıflarının toplamı yıllar itibariyle müsbet olabilmektedir. Akören OİŞ’nin bütün işletme sınıflarının toplam ara hasılat etası 33.822 m³ (yıllık 3.382 m³) olduğu göz önünde bulundurulursa, A-Kızılçam İşletme Sınıfında yıllık ortalama hasılat etası olan 2.628 m³’den oluşan ortalama 660,4 m³ sapma hiç de azımsanamayacak bir değerdir.

Aynı bakım bloğunda yer alan bölmelerin ağırlık merkezlerinin birbirlerine olan toplam mesafesi DBM 5. senaryoda 5 yıl için ortalama 89,6 km olarak gerçekleşmiştir. Uygulanan planda ise bu mesafe ortalama 122,2 km olmuştur. Bu toplam mesafe arttıkça bölmelerin birbirlerine olan mesafesi de artacak ve bakım bloğu dağınık bir hal alacaktır. Bu durum, daha önce de izah edildiği üzere kesme ve sürütme ekipmanlarının bir bölmeden diğerine nakliyesinde zaman ve para kaybına sebep olacak, aynı zamanda damga-mesaha ve kontrol işlemlerini de zorlaştıracaktır.

4.4.1.2. Doğrusal Olmayan Model ile Elde Edilen Planın Karşılaştırılması

DOBM 3. senaryonun sonuçları kullanılarak elde edilen ara hasılat kesim planı tablosundaki (Tablo 4.17) etalar ile Tablo 4.19’da verilen ve fiiliyatta uygulanan kesim planında yer alan etaların karşılaştırılması Tablo 4.21’de verilmiştir. Burada da bölmelerin ağırlık merkezlerinin birbirlerine olan toplam mesafeleri karşılaştırılmıştır.

Tablo 4.21: DOBM 3. senaryonun sonuçları ile uygulanan planın karşılaştırılması.

Kesim Yılı	DOBM 3. Senaryo			Uygulanan Plan		
	Eta (m ³)	Sapma (m ³)	Mesafe (km)	Eta (m ³)	Sapma (m ³)	Mesafe (km)
2014	2.628	0	158,0	1.339	1.289	32,4
2015	2.628	0	87,5	3.431	-803	93,0
2016	2.628	0	88,3	2.986	-358	160,9
2017	2.628	0	71,6	2.564	64	145,5
2018	2.628	0	119,7	3.416	-788	179,2
Ortalama	2.628	0	105,0	2.747	660,4	122,2

Tablo 4.21’de de görüldüğü üzere, DOBM 3. senaryoda yıllık ara hasılat etasından ilk 5 yıl için herhangi bir sapma meydana gelmemiştir. Uygulanan planda ise bu sapma yıllık 660,4 m³’tür. Aynı bakım bloğunda yer alan bölmelerin ağırlık merkezlerinin birbirlerine olan toplam mesafesi DOBM 3. senaryoda 5 yıl için ortalama 105,0 km olarak gerçekleşmiştir. Uygulanan planda ise bu mesafe ortalama 122,2 km olmuştur.

4.4.2. Gençleştirme Planının Karşılaştırılması

Orman amenajman planında öngörülen gençleştirme çalışmaları, silvikültür konusunda uzman teknik elemanlar ve işletme şefi tarafından düzenlenen detay silvikültür planlarına göre yürütülür (OGM, 2008, 2014a ve 2014c). Detay silvikültür planı, gençleştirme alanlarında yapılacak olan silvikültürel işlemlerin zaman ve mekân düzenlemesini gösteren planlardır.

Çalışma ile elde edilen sonuçların detay silvikültür planında verilen zaman ve mekân düzenlemesiyle mukayesesi gayesiyle Pos OİM’den *Akören OİŞ A-Kızılçam İşletme Sınıfı Detay Silvikültür Planı (2014-2023)* temin edilmiştir (Pos OİM, 2015).

Hatırlanacağı üzere çalışma alanı için amenajman planında 20 yıl boyunca gençleştirilecek alan büyüklüğü 1.777 ha olarak belirlenmiştir (0,1 ha’lık düzetme yapılmıştır). Planda ilk on yıl için gençleştirmeye verilen alan 906,9 ha ve ikinci on yıl için ise 870,0 ha’dır.

Plan uygulamasının ilk on yılını kapsayan (2014-2023) detay silvikültür planına konu olan A-Kızılçam İşletme Sınıfı içinde yer alan 906,9 ha alanın 8,3 ha'ı ÇZM karışık meşceresi olup geri kalanın tamamı verimli saf kızılçam sahasıdır. Gençleştirme alanlarında, özellikle eğimin fazla olduğu dere yamaçlarında, toprak koruma, yaban hayatının sürekliliği, orman geçmişinin bilinmesi, biyolojik ve genetik çeşitliliğin korunması, amacıyla aynı özellikleri gösteren gençleştirme blok alanlarının yaklaşık %10'u (3 ha'dan küçük) “yaşlandırma adacıkları” olarak bırakılmakta ve buralarda gençleştirme çalışmaları esnasında hiçbir şekilde kesim ve diri örtü temizliği yapılmamaktadır (OGM, 2014b). Bu yüzden 906,9 ha orman alanının 25,1 ha'ı yaşlandırma adacığı olarak ayrılmıştır.

Tohum ağacı ve yetiştirme ortamı şartları bakımından doğal gençleştirmeye uygun toplam 344,9 ha'lık bir ormanda doğal yolla gençleştirme yapılması planlanmıştır. Plana göre bu sahalardan elde edilecek son hasılat etası 85.601 m³'tür. Kaliteli tohum ağaçlarının olmadığı, rakımın düşük olduğu ve dolayısıyla yoğun diri örtünün olduğu toplam 427,7 ha'lık bir alanda ise yapay yolla gençleştirme yapılacaktır. Bu sahaların etası ise 95.604 m³'tür. Amenajman planı hazırlandıktan sonra henüz detay silvikültür planı hazırlanmadan 2014 yılında gençleştirilen 109,2 ha sahanın plandaki etası ise 28.395 m³'tür. Bu 10 yıllık silvikültür planının uygulanmasıyla toplam 881,8 ha orman gençleştirilmiş ve toplam 209.600 m³ odun hammaddesi üretilmiş olacaktır (Tablo 4.22).

Tablo 4.22: Amenajman planı ve detay silvikültür planında gençleştirme verileri.

Orman Amenajman Planı			Detay Silvikültür Planı		
	Saha (ha)	Eta (m ³)		Saha (ha)	Eta (m ³)
Gençleştirme alanı	906,9	215.480	Doğal gençleştirme	344,9	85.601
			Yapay gençleştirme	427,7	95.604
			2014 yılında gençleştirilen saha	109,2	28.395
			Toplam Gençleştirme	881,8	209.600
			Yaşlandırma adacığı	25,1	5.880
			Genel Toplam	906,9	215.480

Karşılaştırmada kullanmak üzere detay silvikültür planında yer alan gruplar cetveli ve gençleştirilecek sahalara ait zaman-mekân düzenlemesi tablosundan elde edilen özet bilgi Tablo 4.23'de sunulmuştur. Karşılaştırmada, uygulanan plan için alan olarak yıllık 88,18 ha (881,8/10) ve eta olarak 20.960 m³ (209.600/10) değerleri kullanılmıştır.

Tablo 4.23: Gençleştirilecek sahalarının yıllara dağılımı (Pos OİM, 2015).

Müdahale Yılı	Gençleştirme Şekli				Toplam	
	Doğal		Yapay			
	Saha (ha)	Eta (m³)	Saha (ha)	Eta (m³)	Saha (ha)	Eta (m³)
2014	79,0	20.225	30,2	8.170	109,2	28.395
2015	25,0	6.729	69,0	14.467	94,0	21.196
2016	52,5	13.000	31,9	5.987	84,4	18.987
2017	47,6	11.544	35,3	9.207	82,9	20.751
2018	43,1	11.316	44,5	11.855	87,6	23.171
2019	47,5	11.605	41,2	8.526	88,7	20.131
2020	5,3	1.495	78,0	15.588	83,3	17.083
2021	55,3	14.009	29,2	6.163	84,5	20.172
2022	48,4	10.645	33,3	7.755	81,7	18.400
2023	20,2	5.258	65,3	16.056	85,5	21.314
Toplam	423,9	105.826	457,9	103.774	881,8	209.600

DGM'nin 3. senaryosunda ilk 10 yıl için toplam sapma, alanda 2,1 ha olarak gerçekleşirken hacimde ise 1.959 m³ olarak gerçekleşmiştir. Fiiliyatta uygulanan detay silvikültür planında ise alan sapması, 54,72 ha olurken hacim sapması ise 20.472 m³ olmuştur. Silvikültür planında 25,1 ha'lık bir saha yaşlandırma adacığı olarak ayrıldığı için karşılaştırma, alan için yıllık 88,18 ha ve eta için 20.960 m³ üzerinden yapılmıştır (Tablo 4.24).

Tablo 4.24: DGM 3. senaryo sonuçlarıyla silvikültür planın karşılaştırılması.

Müdahale Yılı	DGM 3. Senaryo				Silvikültür Planı			
	Saha (ha)	Sapma (ha)	Eta (m ³)	Sapma (m ³)	Saha (ha)	Sapma (ha)	Eta (m ³)	Sapma (m ³)
2014	88,9	0,05	22.303	-1.047	109,2	21,02	28.395	7.435
2015	89,1	0,25	22.991	-359	94,0	5,82	21.196	236
2016	88,9	0,05	23.266	-84	84,4	-3,78	18.987	-1.973
2017	88,3	-0,55	23.353	3	82,9	-5,28	20.751	-209
2018	88,5	-0,35	23.322	-28	87,6	-0,58	23.171	2.211
2019	88,7	-0,15	23.320	-30	88,7	0,52	20.131	-829
2020	88,8	-0,05	23.603	253	83,3	-4,88	17.083	-3.877
2021	88,8	-0,05	23.442	92	84,5	-3,68	20.172	-788
2022	89,4	0,55	23.309	-41	81,7	-6,48	18.400	-2.560
2023	88,8	-0,05	23.372	22	85,5	-2,68	21.314	354
<i>Ortalama</i>	<i>88,8</i>	<i>0,21</i>	<i>23.228</i>	<i>196</i>	<i>88,2</i>	<i>5,47</i>	<i>20.960</i>	<i>2.047</i>
Toplam	888,2	2,10	232.281	1.959	881,8	54,72	209.600	20.472

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Türkiye’de ormanlar, sürdürülebilirlik, iktisadilik, verimlilik, çok amaçlı faydalanma, biyolojik çeşitliliğin korunması, estetik ve diğer değerlerin korunması, karbon dengesi, katılımcı yaklaşım, işletme amaçları ve bu amaçları gerçekleştirmek için uygun tekniklerin kullanımı gibi temel ilkelere uyularak hazırlanan amenajman planları ile işletilmektedir.

Amenajman planları, fonksiyonlarına ve işletme amaçlarına göre plan ünitesinde ayrılan süreklilik ünitelerinin her birisinde ilk plan döneminde yapılacak işleri düzenler. Bu planlarda faydalanmanın düzenlenmesinde kullanılan ana amenajman metoduna göre bakım, iyileştirme ve gençleştirme faaliyetlerinin yapılacağı alanlar ayrılır; bu alanlardan elde edilecek ara ve son hâsılat miktarları hesaplanır; kesim ve ağaçlandırma planlarının zaman-mekân düzenlemesi yapılır.

Yaş sınıfları metodunun uygulandığı tüm işletme sınıflarında hem son hasılat ve hem de ara hasılat kesim planları düzenlenir. Bu işletme sınıflarında gençleştirme alanları dışında kalan meşcereler için, ara hasılat kesim planı tablosu düzenlenir.

Ara hasılat kesim planı işletme sınıfları ayrımı yapılmaksızın bölme bütünlüğü bozulmayacak şekilde oluşturulur. Bu amaçla 1 no.lu bölmeden başlanarak sonuncu bölmeye kadar her bölme içindeki normal kapalı meşcere tipleri ayrı ayrı ele alınarak her birisinden çıkartılacak ara hasılat etası hesaplanır. Plan ünitesinin toplam etası bakım kesimleri dönüş süresine bölünerek ortalama yıllık eta hesaplanır. Daha sonra etaların toplamı, yıllık miktara ulaşana kadar, bölme ve bölmecikler iş bütünlüğü, yol ve ulaşım kolaylığı, pazar yönü vb. ölçütlere göre bir araya getirilerek bakım blokları oluşturulur.

Bakım bloklarının oluşturulmasında KDS’den faydalanılmamaktadır. Hem Demirci ve Bettinger (2015)’in çalışmasında ele alınan Gölcük plan ünitesinde oluşturulan bakım bloklarında ve hem de bu çalışmanın yapıldığı Akören plan ünitesinde yıllık etalardan sapma çok büyüktür. Örneğin Gölcük plan ünitesinde bir yıl 1.027 m^3 eta planlanırken diğer bir yılda 3.761 m^3 planlanmıştır.

Amenajman planında öngörülen gençleştirme çalışmaları, detay silvikültür planlarına göre yürütülür. Aynıyaşlı ve maktalı işletilen ormanlarda faydalanmayı düzenleme amacıyla kullanılan amenajman metotlarının özü alan kontrolüne dayandığı için öncelikle alanların optimal kuruluşa ulaştırılması hedeflenir. Çünkü her yıl eşit miktarda hasıla alabilmek için her yıl bu hasılayı verecek miktarda alan kesmek gerekir. Bu durum ancak yaş sınıfları bakımından optimal kuruluşa olan ormanlarda mümkündür. Bu şartları sağlamanın yolu ise her yıl eşit miktarda yeni meşcere kurmak ve bunları idare süresi sonuna kadar götürmektir. Detay silvikültür planlarının hazırlanmasında bu durum mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır.

Ayrıca maktalı olarak işletilen ormanlarda tıraşlama metodu ile gençleştirme yapılması durumunda ağaç türlerinin biyolojik özellikleri ve saha bütünlüğü dikkate alınarak uygulama alanı 25 ha'dan büyük olmamalıdır. Her ne kadar gençleştirilecek bölmeciklerin büyüklüğü bu değer altında tutulsa da komşu iki bölmeciğin aynı yıl gençleştirilmesi ile bu değerden çok daha büyük alanlarda tıraşlama kesimi yapılabilmektedir.

Hem her yıl birbirine eşit miktarda alanın gençleştirilmesi ve hem de 25 ha'dan daha büyük alanlarda tıraşlama kesimi yapmaktan imtina edilmesi, KDS'yi kullanmadan pek mümkün görünmemektedir.

Bu çalışmayla yukarıda özetle verilen iki konumsal orman planlama probleminin (bakım ve gençleştirme) çözümü için karışık tam sayılı AP modelleri geliştirilmiş, Akören plan ünitesinin ekonomik fonksiyonlu kızılçam işletme sınıfının planlanmasında uygulanmış ve elde edilen sonuçlar fiiliyatta uygulanan planlarla mukayese edilmiştir.

Bu bölümde, çalışmayla elde edilen bulgular literatürde yer alan çalışmalar ışığında tartışılacak; modellerin geliştirilmesi, koşturulması ve sonuçların analizinde karşılaşılan zorluklara değinilecek; geliştirilen modellerin kapasiteleri ve sınırlılıkları tartışılacak ve son olarak da bulgulara dayanılarak bir sonuca varılacak ve çeşitli öneriler geliştirilecektir.

Bakım problemi olarak adlandırılan ara hasılat kesim planında bakım bloklarının oluşturulması işlemi aslında orman düzeyinde konumsal optimizasyonun konusu olan bir bir-araya toplama problemidir. İskandinav ülkelerinde en çok kullanılan bir araya toplama problemi, ormanın parçalanmasının azaltılmasıdır (Öhman, 2000, Öhman ve Eriksson 2002). Ekolojik açıdan, doğal yaşlı ormanların bir araya toplanması faydalıdır. Bu, örneğin, toplam doğal yaşlı orman alanı ile toplam doğal yaşlı orman çekirdek alanı (Öhman, 2000) arasındaki farkın en aza indirilmesi veya bitişik doğal yaşlı orman meşcereleri arasındaki sınırın en üst düzeye çıkarılması yoluyla elde edilebilir. Konumsal orman planlamada en aza indirme ve en üst düzeye çıkarma işlemleri (hedef değerden sapmalar değil) genellikle DP ile yapılmaktadır.

Bakım problemi için geliştirilen her iki model de (doğrusal ve doğrusal olmayan) hem bölmeleri bir araya toplayarak bakım blokları oluşturulmasında ve hem de eşit ürün temininde çok mükemmel sonuçlar vermiştir. Bakım bloklarının oluşturulmasında sadece aynı yıl bakım görecektir bölmelerin ağırlık merkezlerinin blok içerisinde yer alacak farazi orman içi rampasına olan mesafesi hesaba katılmıştır. Bu planlama modellerinin amaç fonksiyonuna ya da kısıtlarına yol ve ulaşım ağı, silvikültürel öncelikler, iş gücü, iş bütünlüğü, pazar durumu, işletmenin öncelikleri ve orman köylerinin konumu gibi çeşitli faktörler de dahil edilerek bu modeller daha da geliştirilebilirler. Örneğin, yol ve ulaşım ağı modele dahil edildiğinde, orman yollarının yoğunluğundaki azalma ekolojik amaçların artmasına katkı sağlayacaktır. Bununla birlikte, orman peyzajının diğer ihtiyaçları (yangın emniyet yol ve şeritleri, rekreasyon fırsatları vb.) yol ve ulaşım ağı problemini daha da zorlaştırabilir. Dahası, hem orman yolu ve ulaşım ağı planlamasını etkileyecek ve hem de SOY amaçlarına ulaşmaya katkı sağlayacak (ferahlandırma ve gençleştirme kesimlerinin yanı sıra) ormanın sağlığını arttırmaya dönük müdahaleler, sıklık bakımı ve genç meşcere bakımı gibi başka silvikültürel öncelikler de mevcut olabilir. SOY; ekonomik, ekolojik ve sosyokültürel hedefleri içerebileceğinden, bu hedefleri temsil eden sapmaları en aza indirerek ormanların yönetimini planlamak oldukça karmaşık bir hal alır. Şayet hedefler sayısallaştırılabiliyorsa, bu yönetim konularının en uygun biçimde planlanmasında orman yöneticilerinin isteklerini DP veya KTP modelinde kısıtlar olarak kullanmaktansa, AP'nin kullanımı daha uygun gözükmektedir (Demirci ve Bettinger, 2015).

Çalışmada, sapma değerlerine uygulanan ağırlık değıştikçe sonuçların nasıl değıştiği incelenerek, istenen amaçları üretirken modelin gösterdiği duyarlılık da araştırılmıştır. Bakım modellerinde etanın birimi m^3 ve mesafenin birimi de km alındığı için her ne kadar modelin amaç satırında 0 ile 1 arasında değışen ağırlık uygulansa da eta (hacim) için hedeften sapma çoğu senaryoda (DBM’de 3 ve DOBM’de 7) 0 m^3 olarak gerçekteleşmiştir. Burada mesafe hedef değlerinden toplam sapma referans senaryosunda 25,7 km olarak gerçekteleşmiştir ve oluşan sapmaların hepsi pozitifdir. Bunda bölmelerin en yakın rampa etrafında bir araya toplanmasını sağlamak için bilinçli olarak hedef değerin düşük tutulması etkili olmuştur. Mesafe için km yerine dam biriminin kullanılması durumunda hacim ve mesafe hedeflerinden olan sapmaların nasıl değışeceğini test etmek için DBM’nin 5. senaryosunda mesafe için dam kullanılmış ve problem yeniden çözülmüştür. Sonuçlar incelendiğinde hacim sapmasının 6 m^3 ’den 252 m^3 ’e yükseldiği ve mesafe sapmasının da 59,7 km’den 40,6 km ye düştüğü görölmüştür.

Orman planlama problemlerinin çözümlerini bulmak isteyen yöneticiler, iki (veya daha fazla) hedefin aynı nispi ağırlığa sahip olmasını isteyebilirler ki bu durumda planlayıcıyı bekleyen zorluk, soruna uygun normalleştirilmiş ağırlıkları belirlemektir. AP’yi kullanan araştırmacıların tartıştığı önemli bir konu, kıyaslanamazlık hususunun üstesinden gelmek için normalleştirme tekniklerinin kullanımıyla ilgilidir. Bir ağırlıklı AP’de kıyaslanamazlık, bu çalışmada olduğu gibi farklı birimler (ha, m^3 veya km, m^3 gibi) halinde ölçülen sapma değışkenlerinin doğrudan toplanmasıyla ortaya çıkar. Bu basit toplam, daha büyük bir büyüklüğe sahip amaçlara yönelik olarak bir önyargıya sebep olur. Bu önyargı, yanlış veya yanıltıcı sonuçlar doğurabilir. Bu zorluğun üstesinden gelmek için, her bir hedefi, bu amaca yönelik bir sabit ile bölmek önerilmektedir. Bu işlem, tüm hedeflerin kabaca aynı büyüklüğe sahip olmasını sağlar. Böyle bir sabit, normalleştirme sabiti olarak bilinir. Her biri kendi normalleştirme sabitine sahip birkaç farklı normalleştirme yöntemi vardır. Yüzde normalleştirme (Romero, 1991), Öklid normalleştirme (De Kluyver, 1979; Wildhelm, 1981), toplam normalleştirme (Jones, 1995) ve sıfır-bir normalleştirme (Masud ve Hwang, 1981) bunlardan bazılarıdır (Tamiz ve diğ., 1998). Jadidi ve diğ. (2014) de elde edilen amaç değışkenlerinin belirlenen hedefler ile tutarlı olması için, farklı birimlere sahip hedeflerin ölçek etkisinin ortadan kaldırılması gerektiğini belirtmiş ve ağırlıkların normalleştirilmesinin elde edilen amaç satırı değışkenlerinin belirlenen hedef değışkenlere uygun olarak daha iyi yorumlanabileceğini ileri sürmüştür. Bu, Tamiz ve diğ. (1998) tarafından özetlenen yöntemlerle veya Jones (2011)’un ağırlık alanı araştırması programı ile rahatlıkla yapılabilir.

Bakım modelleri ile elde edilen sonuçlar incelendiğinde, her yıl eşit miktarda eta verebilecek birbirine en yakın bölmelerin bir bakım bloğunda yer alacak şekilde, ara hasılat kesim planının düzenlenmesi için en uygun sonucu DBM 5. senaryonun verdiği anlaşılmıştır. Burada hacimde sadece toplam 6 m³ sapma olurken mesafede 10 yıl için toplam 59,7 km'lik bir sapma olmuştur. Bölmelerin bir araya toplanmasını sağlamak için mesafe hedefi küçük tutulduğu için hem mesafe sapmalarının tamamı pozitif olmuş ve hem de toplam sapma değeri büyük olmuştur. Bununla birlikte, genel olarak DOBM eta için daha yüksek kalitede çözüm üretirken mesafe için ise daha düşük kalitede çözüm üretmiştir. İşlem süreleri de DOBM'de Demirci ve Bettinger (2015)'in araştırmasındakinin tersine çok daha düşük olmuştur. DBM'ye ait 11 senaryonun koşturulması toplam 30 saat 17 dakika 54 saniye sürerken DOBM'ye ait senaryoların koşturulması sadece 3 saat 42 dakika 42 saniye sürmüştür. Demirci ve Bettinger (2015) DOBM'nin doğrusal modele oranla çözüm üretmede çok yavaş kaldığını belirtmiş ve bu tür durumlarda bir alternatif olarak TA, TB veya başka bir sezgisel yöntemi kullanan bir modelin geliştirilebileceğini ifade etmiştir. Eğer bir sezgisel model sağlam bir şekilde geliştirilirse, problem için optimale en yakın sonucu bulacaktır. İşlem süresinin kısıtlı olması durumunda sezgisel yöntemlerin bu tür problemleri çözmedeki potansiyelleri en az doğrusal veya doğrusal olmayan programlama kadar önemlidir.

Çalışmada eta olarak orman amenajman planında meşcere tipleri itibarıyla belirlenen etalar kullanılmıştır. Bakım modelinin daha da geliştirilmesi için yıllık artımı, aktüel ve optimal serveti ve tesviye süresini hesaba katan genel eta formülünün modele dahil edilmesi uygun olacaktır. Bununla birlikte ara hasılat etasının hesaplanması ve karşılaştırılması hususunda mevzuatta (OGM, 2014a) verilen kriterler de modele derç edilebilir. Model farazi orman içi rampaları etrafında bölmeleri toplamaya odaklanmıştır. Modelin gerçek bir orman planlamaya uygulanması durumunda gerçek rampaların veya orman içi köylerin konumları ile orman yol şebeke ağı gibi hususlar modele ilave edilebilir.

Literatürde tıraşlama kesim alanı büyüklüğü ve erteleme süresi gibi çeşitli konumsal öğelerin ekonomik etkisine dönük çalışmalar varken bakım bloklarını oluşturan bölmelerin birbirlerine olan mesafelerinin ekonomik etkisiyle ilgili herhangi bir kayda değer çalışma mevcut değildir. Bakım bloklarında yer alan bölmelerin birbirlerine olan mesafesinin artmasının ekonomik ve ekolojik sonuçlarının araştırılmasına dönük çalışmalar yapılabilir.

Her yıl eşit miktarda alanı gençleştiren ve eşit miktarda ürün veren son hasılat kesim planını (uygulamada detay silvikültür planı) düzenlemek için geliştirilen DGM’de en iyi sonucu veren 3. senaryoda 20 yıl için toplam sapma alanda sadece 3,8 ha olarak gerçekleşmiştir. Alan için belirlenen hedef değerden olan en fazla sapma 0,55 ha, yani yıllık gençleştirme alanının %0,6’sı kadardır. Hacimde ise 20 yıl için toplam sapma 2.889 m³ olmuştur. Hedef hacim değerinden sapmaların hedef hacme oranı ise -%4,48 ile +%1,18 arasında değişmektedir. Gençleştirme çalışmalarında çok küçük alanlarda çalışmaktan kaçınıldığı için büyüklüğü 5,0 ha’dan küçük olan komşu bölmeciklerin aynı yıl gençleştirilmesi ve mevzuata uygun olarak, toplamı 25,0 ha’dan daha büyük olan komşu bölmeciklerin ise 5 yıl boyunca aynı anda gençleştirilmemesi sağlanarak bu sonuçların elde edilmesi modelin çok kaliteli bir sonuç verdiğinin göstergesidir. Model bir yandan biyolojik çeşitliliğin korunmasına katkı sağlarken diğer bir yandan da ürün akış sürekliliğine ve işletme ekonomisine katkı sağlamaktadır.

DGM’nin Lingo 16’da koşturulmasında bakım modellerinde kullanılan yineleme (*iteration*) sayısının 5 katı bir yinelemenin kullanılması, modelin yüksek kalitede son hasılat kesim planı üretmesini sağlamıştır. Bakım modellerin koşturulmasında 100 milyon yineleme kullanılırken DGM’nin koşturulmasında 500 milyon yineleme kullanılmıştır. Bakım modellerinde 100 milyondan fazla yineleme kullanılması durumunda amaç değerinde önemli bir değişikliğin olmadığı görülmüştür.

DGM, toplam 3.620 değişken ve 6.267 satır ile, bakım modellerine göre daha zor bir problem içermektedir. Hem bu durum ve hem de 500 milyon yenilemenin kullanılması Lingo 16’nın işlem süresini bir hayli uzatmıştır. DGM’nin 11 senaryosunun tamamının koşturulması toplam 215 saat 11 saniye sürmüştür. En uzun işlem süresi ise 35 saat 39 dakika 2 saniye ile modelinin 4. senaryosuna aittir.

İşlem süresine doğrudan etki eden faktörlerden birisi de kuşkusuz komşuluk kısıtlarının sayısıdır. Modelin en büyük sınırlılığı, komşuluk kısıtının çok büyük olması durumunda uygun sonuç vermesinin bir hayli zaman almasıdır. Tıraşlama kesim alanı büyüklüğü ile kısıt sayısı arasında ters orantı varken erteleme süresiyle kısıt sayısı arasında doğrusal orantı vardır. Tıraşlama kesim alanı büyüdükçe kısıt sayısı azalmaktadır. Bunun tersine erteleme süresi arttıkça kısıt sayısı da artmaktadır. Araştırmacılar (Walters ve diğ., 1999) komşuluk kısıtının sayısını azaltmak için tıraşlama kesim alanı büyüklüğünün mümkün oldukça büyük olmasını ve erteleme süresinin de mümkün olduğunca kısa tutulmasını önermektedirler.

DGM ile ilgili olarak üzerinde durulması gereken diğer bir husus ise, hacim sapmasının katsayısı daha küçük olduğu halde (0,7), 8. Senaryonun 20 yıl için toplam 874 m³ sapma ile referans senaryodan (hacim sapmasına ait katsayının 1 olduğu senaryo) daha iyi sonuç vermesidir. Referans senaryosu için daha uzun bir işlem süresi ve daha büyük bir yenileme sayısı kullanılması durumunda bu durumun düzeleceği düşünülmektedir.

DGM, bölmeciklerden elde edilecek son hasılat etasını, bölmeciğin artımı ile bölmeciğin planlanacağı yılı çarpıp o bölmeciğe ait envanter yılındaki servet değerine ilave ederek hesaplamaktadır. Bunun için geliştirilecek sahalara ait zaman-mekân düzenlemesi için model, ilk yıllar için servetin ve artımın fazla olduğu bölmecikleri seçerken, diğer yıllar için ise daha düşük servete ve artıma sahip bölmecikleri seçmiştir. Yıllar itibariyle elde edilecek son hasılat etası bu şekilde eşitlenmiştir.

Çalışmada meşcere bakımı için elde edilen sonuçlar ile gerçek plan uygulamasının karşılaştırılması sadece planın ilk 5 yılı için mümkün olmuştur. Gençleştirmede ise işletmeden 10 yıllık detay silvikültür planı temin edilebildiği için çalışmanın ilk 10 yılı için karşılaştırma yapılabilmektedir. Planın ilk 5 yılı için bakım etaların karşılaştırılmasında modeller tarafından üretilen değerler kullanılırken mesafelerin karşılaştırılmasında, Demirci ve Bettinger (2015)'in geliştirdiği yöntem kullanılarak bakım bloğunda planlanan bölmelerin birbirlerine olan toplam (ve ortalama) uzaklıkları karşılaştırılmıştır.

DBM'nin 5. senaryosunda yıllık ara hasılat etasından sapma 5 yıl için ortalama 0,4 m³ olurken uygulanan planda ise yıllık 660,4 m³ olmuştur. Uygulanan planda sapmanın bu kadar yüksek olmasının nedenlerinden birincisi ara hasılat kesim planının hazırlanmasında işletme sınıfları ayrımı yapılmamasıdır. Yani bir işletme sınıfından belirli bir yılda az eta alınırken diğerinden çok alınabilmekte ancak bütün işletme sınıflarının toplamı yıllar itibariyle müsbet olabilmektedir. Akören OİŞ'nin bütün işletme sınıflarının toplam ara hasılat etası 33.822 m³ (yıllık 3.382 m³) olduğu göz önünde bulundurulursa, A-Kızılçam İşletme Sınıfında yıllık ortalama hasılat etası olan 2.628 m³'den oluşan ortalama 660,4 m³ sapma hiç de azımsanamayacak bir değerdir. Aynı bakım bloğunda yer alan bölmelerin ağırlık merkezlerinin birbirlerine olan toplam mesafesi 5 yıl için ortalama 89,6 km olarak gerçekleşmiştir. Uygulanan planda ise bu mesafe ortalama 122,2 km olmuştur. Bu toplam mesafe arttıkça bölmelerin birbirlerine olan mesafesi de artacak ve bakım bloğu dağınık bir hal alacaktır. Bu durum, ormancılık faaliyetlerin yürütülmesinde zaman ve para kaybına sebep olacaktır.

DOBM'nin 3. senaryosunda yıllık ara hasılat etasından ilk 5 yıl için herhangi bir sapma meydana gelmemiştir. Uygulanan planda ise bu sapma yıllık 660,4 m³ olmuştur. Aynı bakım bloğunda yer alan bölmelerin ağırlık merkezlerinin birbirlerine olan toplam mesafesi DOBM 3. senaryoda 5 yıl için ortalama 105,0 km olarak gerçekleşmiştir. Uygulanan planda ise bu mesafe ortalama 122,2 km olmuştur.

DGM'nin 3. senaryosunda ilk 10 yıl için toplam sapma alanda 2,1 ha olarak gerçekleşirken hacimde ise 1.959 m³ olarak gerçekleşmiştir. Silvikültür planında 25,1 ha'lık bir saha yaşılandırma adacığı olarak ayrıldığı için karşılaştırma alan için yıllık 88,18 ha ve eta için 20.960 m³ üzerinden yapılmıştır. Silvikültür planında ise 10 yıl için toplam sapma alanda 54,72 ha olurken hacimde sapma 20.472 m³ olarak gerçekleşmiştir. Yani alan için yıllık sapma modelde 0,21 ha olurken silvikültür planında 5,47 ha olmuştur. Son hasılat etası için yıllık sapma modelde 196 m³ olurken silvikültür planında 2.047 m³ olmuştur. Silvikültür planının sapma değerleri elle yapılan bir plan için hiç de yüksek değildir. Ancak elle yapılan planda mevzuatta müsaade edilen en büyük açma alanına tam olarak riayet edilebilse bile erteleme süresine plan ünitesinin her yerinde uymak pek olası gözükmemektedir. Kaldı ki silvikültür planı hazırlanırken erteleme süresi tespit edilmemiştir. Bu yüzden silvikültür planını bu konuda eleştirmek doğru değildir.

Gençleştirme problemi olarak adlandırılan son hasılat kesim planı (uygulamada detay silvikültür planı) için zaman-mekân düzenlemesi işlemi aslında orman düzeyinde konumsal optimizasyonun konusu olan bir dağıtma problemidir. Dağıtma problemleri; tıraşlama kesimi yapılacak meşcereler ve değişik yaban hayatı yaşam alanları gibi belirli özelliklere sahip konumsal öğelerin orman peyzajı içerisinde birbirinden belirli uzaklıklarda tutulmasına odaklanır (Öhman, 2001). Komşuluk ve erteleme süresinin kısıt olarak kullanıldığı birçok çalışma dağıtma problemlerine örnek olarak verilebilir (Liu ve diğ., 2017; Qin ve diğ., 2017; Augustynczyk ve diğ., 2015). Komşuluk kısıtı, tıraşlama kesim yapılacak alanın büyüklüğünün kontrol edilmesini sağlar. Erteleme süresi ise komşu meşcerelerde yapılan tıraşlama kesimlerin arasından belirli bir yılın geçmesini sağlar. Komşuluk kısıtı kullanmanın sebepleri arasında tıraşlama kesim alanı büyüklüğü üzerindeki sabit yasal sınırlar (O'Hara ve diğ., 1989; Dahlin ve Sallnäs, 1993; Weintraub ve diğ., 1994), yaban hayatı yaşam alanlarıyla veya biyolojik çeşitlilikle ilgili kaygılar (Weintraub ve diğ., 1994; Cyr ve diğ., 2016) ve tıraşlama kesimlerin komşu meşcerelere olan etkileri (Tarp ve Helles, 1997) yer almaktadır.

Özellikle tıraşlama kesimi yöntemiyle hasat yapılan alanların boyutunun kontrolü; yaban hayatı yaşam alanlarının, biyolojik çeşitliliğin ve ormanın estetik görünümünün korunmasının bir yolu olarak görülmektedir. Bununla birlikte, üretim alanlarının ormana hem konumsal olarak ve hem de zamansal olarak dağıtılması, orman kenarı uzunluğunun ve parçalanmanın artması gibi arzu edilmeyen sonuçlar da doğurmaktadır (Tarp ve Helles, 1997). Onun için hem çok küçük alanlarda ve hem de çok büyük alanlarda tıraşlama kesim yapmaktan kaçınmak gerekmektedir.

Orman amenajman planlarının hazırlanmasında DP yaygın olarak kullanılmasına rağmen, DP ile elde edilen kesirli sonuçları kullanarak komşuluk ilişkilerinin plana yansıtılması mümkün değildir. Örneğin elde edilen sonuç bir meşcerenin %56'sının kesilmesini gösteriyorsa, o zaman bu meşcerenin hangi kısmının kesileceği veya komşuluğun nasıl dikkate alınacağı bilinemez. Onun için komşuluk ve erteleme süresinin olduğu bu tür orman planlama problemlerinin çözümünde ikili seçenekler (1-kes, 0-kesme) kullanılır. Bu tür ikili karar seçenekleri içeren konumsal orman planlama problemlerinin formüle edilmesinde ve çözülmesinde DP'den başka bir dizi matematiksel teknikler kullanılabilir. Bunlar DP tabanlı olan TP ve KTP ile MCS, TA ve TB gibi sezgisel yöntemlerdir (Bettinger ve diğ., 2017).

TP ve KTP, verilen kısıtlara tabi olarak bir problem için küresel en uygun sonucu bulabilir. Ancak meşcerelerin sayısı, zaman periyotları ve erteleme süresi arttıkça, modelde kullanılan kısıtların sayısı da artar. Bu durumda problem; TP ve KTP teknikleri ile çözülemeyecek kadar büyük olabilir. Bu sorundan kaçınmak için ya kısıtların sayısı azaltılır ya da sezgisel yöntemler kullanılır (Kurttila, 2001). Ancak sezgisel yöntemler, problem için en uygun çözümün bulunacağını garanti etmez. Bununla birlikte, karmaşık sorunlar için yüksek kaliteli çözümler bu yöntemlerle nispeten hızlı bir şekilde üretilebilir (Bettinger ve diğ., 2017).

Türkiye'de orman amenajman planlarının hazırlanmasında KDS'nin sağladığı faydalardan tam anlamıyla istifade edildiği söylenemez. Çeşitli orman işletme şefliklerinin planları, üniversiteler tarafından geliştirilen model yazılımlar kullanılarak yapılmış olsa da bu, yaygın bir uygulama değildir. Bu tez çalışması, hem ara hasılat kesim planının hazırlanmasında ve hem de son hasılat kesim planının (gençleştirme planı) hazırlanmasında karışık tamsayı AP'nin kullanıldığı ilk uygulamadır. Çalışma, bu yönüyle sadece Türkiye'de değil dünyada ilk örnek olma özelliğine sahiptir. Çalışmada çok detaylı bir şekilde anlatılan modellerin tasarlanması, yazılması (denklemlerin geliştirilmesi), koşturulması ve sonuçların yorumlanarak plana aktarılması işlerinin biraz karmaşık ve zor olduğu söylenebilir.

Yukarıda da ifade edildiği üzere, bu çalışmada tanımladığımız yaklaşımların en büyük dezavantajlarından biri hiç kuşkusuz problemi çözmek için gerekli olan denklemlerin geliştirilmesidir. Çalışma alanına ait ham veriler (alan, servet, artım, eta, vektör haritalar vb.) OGM'den temin edilirken ve bölmelerin ağırlık merkezlerinin koordinatları CBS yardımıyla elde edilmiştir. Bununla birlikte hem verilerin modelde kullanıma uygun hale getirilmesi ve hem de modellerin yazılması çok zaman almıştır. DBM, 1.750 adet değişken kullanılarak 2.759 satır ile yazılmıştır. DGM'nin yazılmasında ise 3.620 adet değişken ve 6.267 adet satır kullanılmıştır. Bu durum gelişmiş veri yönetimi becerileri gerektirmektedir. Eğer karar vericiler tarafından bu yapılan çalışmanın orman amenajman planlamasına katkı yapacağı ve değer katacağı düşünülürse, bu (ve benzeri) problemlerin çözümü için özel bir matris üreticisinin geliştirilmesi çok büyük fayda sağlayacaktır.

Bu tez çalışması ile tanımlanan yaklaşımlar ve modeller, daha da geliştirilerek, OGM tarafından büyük emek ve sermaye kullanılarak geliştirilen Orman Bilgi Sistemi (ORBİS)'ne entegre edilebileceği gibi küçük bir arayüz ile de Türkiye ormanlarının planlanmasında kullanılan APP yazılımına da entegre edilebilir. Ayrıca çalışmanın, tamamen ulusal kaynaklarla ve Türk mühendisleri tarafından üretilen milli bir CBS yazılımı olan Netcad ile entegre edilme olanakları da araştırılabilir.

Biyolojik çeşitliliğin orman amenajman planlarına entegrasyonunda optimizasyonun kullanımını kolaylaştırmak amacıyla habitatının sürdürülebilirliğinin sağlanması istenilen her bir tür için Habitat Uygunluk İndisi değerinin belirlenmesi gerekmektedir.

Biyolojik çeşitlilik ve yaban hayatının korunması için en büyük tıraşlama kesim alanı büyüklüğü genel olarak belirlenmiş olsa da kısaca *“gençleştirilen bir alanda gençliğin hayatiyetini devam ettirmesine kadar geçen süre”* olarak tanımlanan erteleme süresinin türler itibarıyla belirlenmesi gerekmektedir.

Bu çalışma sadece ekonomik fonksiyonlu bir işletme sınıfında kesim planlarının hazırlanmasında optimizasyonun kullanımına dönük bir çalışmadır. Doğayı koruma, erozyonu önleme, hidrolojik, toplum sağlığı, estetik, ekoturizm ve rekreasyon gibi diğer fonksiyonlara sahip işletme sınıflarının planlanmasında optimizasyonun kullanımının sağlanması için ormanların sunduğu tüm fayda ve değerler sayısal parametrelerle birlikte ortaya konmalı ve bu fonksiyonları etkileyen konumsal özellikler ve parametreler belirlenmelidir.

Bu çalışmada Türk orman amenajman planlama sisteminde yer alan ara hasılat kesim planının düzenlenmesi ve bakım bloklarının oluşturulması ile son hasılat kesim planının (silvikültür planı) zaman-mekân düzenlemesinde karışık tamsayılı AP'nin nasıl kullanılabileceği detaylı bir şekilde anlatmış ve pratikte de kolaylıkla uygulanabilecek çeşitli modeller geliştirilmiştir. Bakım modelleri ile aynı bakım bloğunda yer alacak bölmelerin orman içi rampalarına olan mesafelerinin hedef değerden sapmaları ve bu bölmelere ait toplam etanın yıllık ara hasılat etasından olan sapmaları en aza indirilerek kesim planları ve bakım blokları oluşturulmuştur. DGM ile ise gençleştirme çalışmalarında çok küçük alanlarda çalışmaktan imtina etmek için büyüklüğü 5,0 ha'dan küçük olan komşu bölmeciklerin aynı yıl gençleştirilmesi ve mevzuata uygun olarak da toplamaları 25,0 ha'dan daha büyük olan komşu bölmeciklerin 5 yıl boyunca aynı anda gençleştirilmemesi sağlanarak, her yıl gençleştirilecek alan ve yıllık son hasılat etası hedeflerinden olan sapmalar en aza indirilerek son hasılat kesim planı zaman-mekân düzenlemesi yapılmıştır. Dolayısıyla bu çalışma hem ara hasılat kesim planlaması ve bakım bloklarının oluşturulması ve hem de gençleştirme planlaması için yeni bir yaklaşım ortaya koymaktadır.

Bu çalışmanın, doğrusal modellerin çok uzun işlem süreleri ve hem doğrusal ve hem de doğrusal olmayan modellerin çok büyük yinleme sayıları gibi, eksikliklerinin giderilmesi için daha ileri düzeyde çalışmalar yapılabilir. Bu çalışmada açıklanan yaklaşımlar, farklı plan ünitelerinde test edilebileceği gibi mevzuatta (OGM, 2008) yer alan *“Değişen ormancılık anlayışlarını ve teknolojideki gelişmeleri uygulamaya koymak, yeni model geliştirmek, bu modelin Türkiye koşullarında uygulanıp uygulanamayacağını tespit etmek amacıyla; Orman Genel Müdürlüğüne değişik içerik ve bazlarda amenajman planları ile ulusal orman envanteri gibi çalışmalar da yapılabilir veya yaptırılabilir”* hükmü gereğince öncelikle kızılçam ormanları olmak üzere aynı yaşlı işletilen ormanların planlanmasında rahatlıkla kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- Abasian, F., Ronnqvist, M. ve Ouhimmou, M., 2017, Forest fibre network design with multiple assortments: a case study in Newfoundland, *Canadian Journal of Forest Research*, 47 (9), 1232-1243.
- Acuna, M., 2017, Timber and Biomass Transport Optimization: A Review of Planning Issues, Solution Techniques and Decision Support Tools, *Croatian Journal of Forest Engineering*, 38 (2), 279-290.
- Ahtisoski, A., Salminen, H., Hökkä, H., Kojola, S. ve Penttilä T., 2012, Optimising stand management on peatlands: The case of northern Finland, *Canadian Journal of Forest Research*, 42, 247-259.
- Ahtisoski, A., Salminen, H., Ojansuu, R., Hynynen, J., Kärkkäinen, K. ve Haapanen, M., 2013, Optimizing stand management involving the effect of genetic gain: Preliminary results for Scots pine in Finland, *Canadian Journal of Forest Research*, 43, 299-305.
- Akman, G., 2009, *Bulanık Hedef Programlama Modeli ve Bir Uygulama Denemesi*, Yüksek Lisans Tezi, MSGSÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Albright, S.C., Winston, W.L. ve Zappe, C., 2006, *Data Analysis&Decision Making*, Third Edition, Thomson South-Western, USA.
- Aldea, J., Martínez-Peña, F. ve Diaz-Balteiro, L., 2012, Integration of fungal production in forest management using a multi-criteria method, *European Journal of Forest Research*, 131 (6), 1991-2003.
- 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.
- Alp, S., 2008, Doğrusal Hedef Programlama Yönteminin Otobüsle Kent İçi Toplu Taşıma Sisteminde Kullanılması, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, Yıl:7 Sayı:13, 73-91.
- Alston, R.M. ve Iverson, S.C., 1987, The road from TimberRAM to FORPLAN: how far have we traveled?, *Journal of Forestry*, 85 (6), 43-49.
- Alter, S.L., 1980, *Decision Support Systems: Current Practices and Continuing Challenges*, Addison-Wesley.
- Arias-Rodil, M., Pukkala, T., González-González, J.M., Barrio-Anta, M. ve Diéguez-Aranda, U., 2015, Use of depth-first search and direct search methods to optimize even-aged stand management: a case study involving maritime pine in Asturias (northwest Spain), *Canadian Journal of Forest Research*, 45 (10), 1269-1279.
- Arslan, V. ve Yılmaz, G., 2010, Karar Destek Sistemlerinin Kullanımı İçin Uygun Bir Model Geliştirilmesi, *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 4 (4), 75-82.

- Asan, Ü., 2006, *Orman Kaynakları Envanteri*, (Basılmamış Ders Notları), İ.Ü. Orman Fakültesi Orman Amenajmanı Anabilim Dalı, İstanbul.
- Augustynczik, A.L.D., Arce, J.E. ve da Silva, A.C.L., 2015, Spatial Forest Harvest Planning Considering Maximum Operational Areas, *Cerne*, 21 (4), 649-656.
- Augustynczik, 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.
- Bare, B. ve Anholt, B., 1976, *Selecting forest residue treatment alternatives using goal programming*, USDA Forest Service, General Technical Report PNW-43. Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station, Portland, Oregon.
- Bartlett, E.T., Bottoms, K.E. ve Pope, R.P., 1976, *Goal-Multiple Objective Programming*, Colorado State University, Range Science Department, Range Science Series, No: 21, Colorado, USA.
- Barrett, T.M. ve Gillies, J.K., 2000, Even-aged restrictions with sub-graph adjacency, *Annals of Operations Research*, 95 (1-4), 159-175.
- Barrett, T.M., Gillies, J.K. ve Davis L.S., 1998, Economic and fragmentation effects of clearcut restrictions, *Forest Science*, 44 (4), 569-577.
- Bayat, M., Pukkala, T., Namiranian, M. ve Zobeiri, M., 2013, Productivity and optimal management of the uneven-aged hardwood forests of Hyrcania, *European Journal of Forest Research*, 132 (5-6), 851-864.
- Bayraktar, D. ve Çebi, F., 2003, *Yöneylem Araştırması-I Ders Notları*, İTÜ İşletme Fakültesi, İşletme Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- Bell, E.F., 1975, Problems with goal programming on a national forest planning unit, *Systems Analysis and Forest Resource Management*, 11-13 August 1975, 119-126.
- Bell, E.F., 1976, *Goal Programming for land use planning*, USDA Forest Service General Technical Report PNW-53, Portland, Oregon, USA.
- Bergseng, E., Ask, J.A., Framstad, E., Gobakken, T., Solberg, B. ve Hoen, H.F., 2012, Biodiversity protection and economics in long term boreal forest management - A detailed case for the valuation of protection measures, *Forest Policy and Economics*, 15, 12-21.
- 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.
- Bettinger, P., 2014, *Centroid Processor*, A Visual Basic Based Software.
- Bettinger, P., 2017, *Dissertation outline comments*, [E-mail].
- Bettinger, P., Boston, K. ve Sessions, J., 1999, Combinatorial optimization of elk habitat effectiveness and timber harvest volume, *Environmental Modeling & Assessment*, 4 (2-3), 143-153.
- Bettinger, P., Boston, K., Siry, J.P. ve Grebner, D.L., 2009, *Forest Management and Planning*, Academic Press, New York, ISBN: 978-0-12-374304-6.
- Bettinger, P., Boston, K., Siry, J.P. ve Grebner, D.L., 2017, *Forest Management and Planning* (Second Edition), Academic Press, New York, ISBN: 978-0-12-809706-9.
- Bettinger, P., Graetz, D., Boston, K., Sessions, J. ve Chung, W., 2002, Eight heuristic planning techniques applied to three increasingly difficult wildlife planning problems, *Silva Fennica*, 36 (2), 561-584.
- Bettinger, P., Johnson, D.L. ve Johnson, K.N., 2003, Spatial forest plan development with ecological and economic goals, *Ecological Modelling*, 169 (2-3), 215-236.
- Bettinger, P., Johnson, K.M. ve Sessions, J., 1996, Forest planning in an Oregon case study: Defining the problem and attempting to meet goals with a spatial-analysis technique, *Environmental Management*, 20 (4), 565-577.
- Bettinger, P. ve Lennette, M., 2004, *Landscape management policy Simulator (LAMPS) version 1.1. user guide*. Oregon State University, College of Forestry, Research Contribution 43.
- Bettinger, P. ve Sessions, J., 2003, Spatial forest planning: to adopt, or not to adopt? *Journal of Forestry*, 101 (2), 24-29.
- Bettinger, P., Sessions, J. ve Boston, K., 1997, Using Tabu search to schedule timber harvests subject to spatial wildlife goals for big game, *Ecological Modelling*, 94 (2-3), 111-123.
- Bettinger, P., Sessions, J. ve Johnson, K.N., 1998, Ensuring the compatibility of aquatic habitat and commodity production goals in eastern Oregon with a Tabu search procedure, *Forest Science*, 44 (1), 96-112.
- Bevers, M. ve Hof, J., 1999, Spatially optimizing wildlife habitat edge effects in forest management linear and mixed-integer programs, *Forest Science*, 45 (2), 249-258.
- Bingöl, Ö., 2009, *Orman Ekosisteminin Modellenmesi ve Model Üzerinde Sezgisel Yöntemler Kullanarak Silvikültürel Müdahale Alternatiflerinin Belirlenmesi*, Yüksek Lisan Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

- Bizikova, L. ve Krcmar, E., 2015, Integrated scenario planning and multi-criteria decision analysis framework with application to forest planning, *Open Journal of Forestry*, 5, 139-153.
- Bolayır, B., 2016, *Bulanık Doğrusal Programlamanın Gıda ve Tarım Ürünleri Atıklarının Geri Dönüşümünde Faaliyet Gösteren Bir İşletmede Uygulaması*, Doktora Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sivas.
- Borges, J.G., Garcia-Gonzalo, J., Bushenkov, V., McDill, M.E., Marques, S. ve Oliveira, M.M., 2014, Addressing multicriteria forest management with Pareto frontier methods: An application in Portugal, *Forest Science*, 60 (1), 63-72.
- Borges, J.G. ve Hoganson, H.M., 1999, Assessing the impact of management unit design and adjacency constraints on forest wide spatial conditions and timber revenues, *Canadian Journal of Forest Research*, 29 (11), 1764-1774.
- Borges, P., Bergseng, E. ve Eid, T., 2014, Adjacency constraints in forestry - A simulated annealing approach comparing different candidate solution generators, *Mathematical and Computational Forestry & Natural-Resource Sciences*, 6 (1), 11-25.
- Borges, P., Kangas, A. ve Bergseng, E., 2017, Optimal harvest cluster size with increasing opening costs for harvest sites, *Forest Policy and Economics*, 75, 49-57.
- Boston, K. ve Bettinger, P., 2001, The economic impact of green-up constraints in the southeastern United States, *Forest Ecology and Management*, 145 (3), 191-202.
- Boston, K. ve Bettinger, P., 2006, An economic and landscape evaluation of the green-up rules for California, Oregon, and Washington (USA), *Forest Policy and Economics*, 8 (3), 251-266.
- Bottoms, K.E. ve Bartlett, E.T., 1975, Resource Allocation through Goal Programming, *Journal of Range Management*, 28 (6), 442-447.
- Bouchard, M., D'Amours, S., Rönnqvist, M., Azouzi, R. ve Gunn, E., 2017, Integrated optimization of strategic and tactical planning decisions in forestry, *European Journal of Operational Research*, 259 (3), 1132-1143.
- Brumelle, S., Granot, D., Halme, M. ve Vertinsky, I., 1998, A tabu search algorithm for finding good forest harvest schedules satisfying green-up constraints, *European Journal of Operational Research*, 106 (2-3), 408-424.
- Buongiorno, J., Halvorsen, E.A., Bollandsås, O.M., Gobakken, T. ve Hofstad, O., 2012, Optimizing management regimes for carbon storage and other benefits in uneven-aged stands dominated by Norway spruce, with a derivation of the economic supply of carbon storage, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 27 (5), 460-473.
- Carlsson, D., D'Amours, S., Martel, A. ve Rönnqvist, M., 2006, *Supply chain management in the pulp and paper industry*, Working paper DT-2006-AM-3, Interuniversity Research Center on Enterprise Networks, Logistics and Transportation (CIRRELT), Université Laval, Québec, G1K7P4, Canada.

- Carter, D.R., Vogiatzis, M., Moss, C.B. ve Arvantis, L.G., 1997, Ecosystem management or infeasible guidelines? Implications of adjacency restrictions for wildlife habitat and timber production, *Canadian Journal of Forest Research*, 27 (8), 1302-1310.
- Chappelle, D.E., Mang, M. ve Miley, S.C., 1976, Evaluation of TimberRAM as a forest management planning model, *Journal of Forestry*, 74 (5), 288-293.
- Charnes, A. ve Cooper, W.W., 1961, *Management models and industrial applications of linear programming: Vol 1*, John Wiley & Sons, New York, ISBN: 978-0-471-14850-0.
- Charnes, A., Cooper, W.W. ve Ferguson, R.O., 1955, Optimal estimation of executive compensation by linear programming, *Management Science*, 1 (2), 138-151.
- Charnes, A., Cooper, W.W. ve Niehaus, R.J., 1968a, *A goal programming model for man power planning*, Management Science in Planning and Control, In: Blood, J. (Ed.), Technical Association of the Pulp and Paper Industry, New York, 79-93.
- Charnes, A., Cooper, W.W., Devoe, J.K., Learner, D.B. ve Reinecke W., 1968b, A goal programming model for media planning, *Management Science*, 14 (8), 423-430.
- Charnes, A., Cooper, W.W., Learner, D.B. ve Snow, E.F., 1968c, Note on an application of a goal programming model for media planning, *Management Science*, 14 (8), 431-436.
- Charnes, A., Cooper, W.W., Niehaus, R J. ve Sholtz, D., 1969, *An extended goal programming model manpower planning*, Carnegie-Mellon University, Pittsburgh, Graduate School of Industrial Administration, Management Science Research Report 188, 12 p.
- Charnes, A., Cooper, W.W. ve Niehaus, R.J., 1971a, *Mathematical models for man power and personnel planning*, Carnegie-Mellon University, Pittsburgh, Graduate School of Industrial Administration, Management Science Research Report 234, 32 p.
- Charnes, A., Cooper, W.W., Niehaus, R.J. ve Sholtz, D., 1971b, *Multi-level models for career management and resource planning*, Carnegie-Mellon University, Pittsburgh, Graduate School of Industrial Administration, Management Science Research Report 256, 37 p.
- Chen, B. ve Gadow, K., 2001, *User manual of SAGALP*, Institute of Forest Resource Management, Georg-August-University, Göttingen, Germany.
- 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.
- Church, R.L., Murray, A.T., Figueroa, M.A. ve Barber, K.H., 2000, Support system development for forest ecosystem management, *European Journal of Operational Research*, 121 (2), 247-258.

- Cinemre, N., 2011, *Doğrusal Programlama*, İkinci Baskı, Evrim Yayınevi, İstanbul.
- Colombo, S.J., Chen, J., Ter-Mikaelian, M.T., McKechnie, J., Elkie, P.C., MacLean, H.L. ve Heath, L.S., 2012, Forest protection and forest harvest as strategies for ecological sustainability and climate change mitigation, *Forest Ecology and Management*, 281, 140-151.
- Costa, A., Oliveira, A.C., Vidas, F. ve Borges, J.G., 2010, An approach to cork oak forest management planning: A case study in southwestern Portugal, *European Journal of Forest Research*, 129, 233-241.
- Courtney, J.F., Jr., Klastorin, T.D. ve Ruefli, T.W., 1972, A goal programming approach to urban-suburban location preferences, *Management Science*, 18 (6), 258-268.
- Covington, W.W., Wood, D.B., Young, D.L., Dykestra, D.P. ve Garrett, L.D., 1988, TEAMS: A decision support system for multiresource management, *Journal of Forestry*, 86 (8), 25-33.
- Curtis, F.H., 1962, Linear programming of the management of a forest property, *Journal of Forestry*, 60 (9), 611-616.
- 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.
- Çağlayan, İ., 2014, *Koruya Tahvil Edilen Meşe Baltalıklarında Odun Üretiminin Optimizasyonu; Sergen İşletme Şefliği Örneği*, Yüksek Lisans Tezi, İÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çetinyokus, T. ve Gökçen, H., 2002, Borsada göstergelerle teknik analiz için bir karar destek sistemi, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fakültesi Dergisi*, 17 (1), 43-58.
- 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.
- Dane, C.W., Meador, N.C. ve White, J.B., 1977, Goal Programming in Land Use Planning, *Journal of Forestry*, 75 (6), 325-329.
- D'Amours, S., Rönnqvist, M. ve Weintraub, A., 2008, Using Operational Research for Supply Chain Planning in the Forest Products Industry, *INFOR: Information Systems and Operational Research*, 46 (4), 47-64.
- Daust, D.K. ve Nelson, J.D., 1998, Spatial reduction factors for strata-based harvest schedules, *Forest Science*, 39 (1), 152-165.
- Davis, R., 1999, *Strategic forest management model version 1.6 user guide*. Ministry of Natural Resources, Queen's Printer for Ontario, Canada.

- 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.
- Delice, E.K., 2010, *Kalite Fonksiyon Yayılım Sürecinin Eniyilenmesi: Çok Amaçlı Programlama Yaklaşımına Dayalı Bir Karar Destek Sistemi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- De-Miguel, S., Bonet, J.A., Pukkala, T. ve de Aragón, J.M., 2014b, Impact of forest management intensity on landscape-level mushroom productivity: A regional model-based scenario analysis, *Forest Ecology and Management*, 330, 218-227.
- De-Miguel, S., Pukkala, T. ve Yeşil, A., 2014a, Integrating pine honeydew honey production into forest management optimization, *European Journal of Forest Research*, 133 (3), 423-432.
- Demirci, M., 2010, *Ormanların Planlanmasında Yeni Yaklaşımlar ve Türkiye'deki Uygulamalar ile Karşılaştırılması: İzmir-Gölcük Plan Ünitesi Örneği*, Yüksek Lisans Tezi, İÜ 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.
- Diaz-Balteiro, L. ve Romero, C., 1998, Modeling timber harvest scheduling problems with multiple criteria: an application in Spain, *Forest Science*, 44, 47-57.
- 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.
- Diaz-Balteiro, L. ve Romero, C., 2004, Sustainability of forest management plans: a discrete goal programming approach, *Journal of Environmental Management*, 71, 351-359.
- Dhar, V. ve Stein, R., 1997, *Intelligent Decision Support Methods: The Science of Knowledge Work*, Prentice Hall, New Jersey.
- Dong, L.B., Bettinger, P., Liu, Z.G. ve Qin, H.Y., 2015, A comparison of a neighborhood search technique for forest spatial harvest scheduling problems: A case study of the simulated annealing algorithm, *Forest Ecology and Management*, 356, 124-135.
- Dress, P.E., 1975, *Forest land use planning-an applications environment for goal programming*, Systems Analysis and Forest Resource Management, In: Meadows, J. Bare, B. Ware K. ve Row C. (Eds.) Society of American Foresters, 37-47.
- Duduman, G., 2011, A forest management planning tool to create highly diverse uneven-aged stands, *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 84 (3), 301-314.
- Duerr, W.A., Fedkiw, J. ve Guttenberg, S., 1956, *Financial maturity: A guide to profitable timber growing*, Washington, DC: USDA, Technical Bulletin 1146.

- Epstein, R., Karlsson, J., Rönnqvist, M. ve Weintraub, A., 2007, *Harvest Operational Models in Forestry*, Handbook of Operations Research in Natural Resources, In: Weintraub, A., Romero, C., Bjørndal, T., Epstein, R. and Miranda, J. (Eds.), Chapter 18, Springer Science & Business Media, New York, ISBN: 978-0-387-71815-6, 365-377.
- Eraslan, İ., 1982, *Orman Amenajmanı*, İ.Ü. Orman Fakültesi, İstanbul.
- Eriksson, L.O., Backéus, S. ve Garcia, F., 2012, Implications of growth uncertainties associated with climate change for stand management, *European Journal of Forest Research*, 131 (4), 1199-1209.
- Falcão, A.O. ve Borges, J.G., 2001, Designing an evolution program solving integer forest management scheduling models: An application Portugal, *Forest Science*, 47 (2), 158-168.
- FAO, 2015, *Global Forest Resources Assessment 2015: How have the world's forests changed?* FAO, Rome, Italy.
- FAO, 2016, *Global Forest Resources Assessment 2015: How are the world's forests changing?* Second edition, FAO, Rome, Italy, ISBN: 978-92-5-109283-5.
- Ferreira, L., Constantino, M.F., Borges, J.G. ve Garcia-Gonzalo, J., 2012, A stochastic dynamic programming approach to optimize short-rotation coppice systems management scheduling: An application to eucalypt plantations under wildfire risk in Portugal, *Forest Science*, 58 (4), 353-365.
- Feunekes, U., 2017, *Solving Spatial Forest Planning Challenges: Integrating Optimization and Heuristics*, http://www.ipef.br/eventos/siagef/palestras/TMB1_02_Feunekes.pdf, [Ziyaret tarihi: 13 Ekim 2017].
- Field, D.B., 1973, Goal programming for forest management, *Forest Science*, 19 (2), 125-135.
- Field, R.C., Dress, P.E. ve Fortson, J.C., 1980, Complementary linear and goal programming procedures for timber harvest scheduling, *Forest Science*, 26, 121-133.
- Flisberg, P., Frisk, M. ve Rönnqvist, M., 2014, Integrated harvest and logistic planning including road upgrading, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 29 (Supplement 1), 195-209.
- Fonseca, T.F., Cerveira, A. ve Mota, A., 2012, An integer programming model for a forest harvest problem in *Pinus pinaster* stands, *Forest Systems*, 21 (2), 272-283.
- Forman, R.T.T. ve Godron, M., 1981, Patches and structural components for a landscape ecology, *BioScience*, 31 (10), 733-740.
- Fotakis, D.G., Sidiropoulos, E., Myronidis, D. ve Ioannou, K., 2012, Spatial genetic algorithm for multi-objective forest planning, *Forest Policy and Economics*, 21, 12-19.

- Fourier, J.B.J., 1826, Solution d'une question particulière du calcul des inégalités, *Nouveau Bulletin des sciences par la Société philomathique de Paris*, p. 99, Reprinted in his *Oeuvres*, Vol 2, Gauthier-Villars et Fils, Paris, 1890, 317-319.
- Fourier, J.B.J., 1827, Second Extrait, *Histoires de l'Académie Royale des Sciences de Paris (pour 1824)*, p. 47, Reprinted in his *Oeuvres*, Vol 2, Gauthier-Villars et Fils, Paris, 1890, 325-328.
- Franklin, J.F. ve Forman, R.T.T., 1987, Creating landscape patterns by forest cutting: ecological consequences and principles, *Landscape Ecology*, 1 (1), 5-18.
- Garcia-Gonzalo, J., Borges, J.G., Palma, J.H.N. ve Zubizarreta-Gerendiain, A., 2014, A decision support system for management planning of Eucalyptus plantations facing climate change, *Annals of Forest Science*, 71 (2), 187-199.
- Garcia-Gonzalo, J., Palma J.H.N., Freire, J.P.A., Tome, M., Mateus R, Rodriguez, L.C.E., Bushenkov, V. ve Borges, J.G., 2013, A decision support system for a multi stakeholder's decision process in a Portuguese National Forest, *Forest Systems*, 22 (2), 359-373.
- García, O., 1990, Linear Programming and related approaches in forest planning, *New Zealand Journal of Forestry Science*, 20 (3), 307-331.
- Garland, J., Sessions, J. ve Olsen, E., 1989, Manufacturing Logs with Computer Aided Bucking at the Stump, *Forest Products Journal*, 39 (3), 62-66.
- Gass, S.I., 2000, *Making Decisions with Precision*, Business Week October 30, 2000 http://www.businessweek.com/archives/2000/b3705139.arc.htm?campaign_id=search#B3705139, [Ziyaret tarihi: 1 Şubat 2006].
- Gautam, S., LeBel, L. ve Beaudoin, D., 2017, A hierarchical planning system to assess the impact of operational-level flexibility on long-term wood supply, *Canadian Journal of Forest Research*, 47 (4), 424-432.
- Goetz, R.-U., Hritonenko, N., Mur, R.J., Xabadia, A. ve Yatsenko, Y., 2010, Forest management and carbon sequestration in size-structured forests: The case of *Pinus sylvestris* in Spain, *Forest Science*, 56 (3), 242-256.
- Gómez, T., Hernández, M., Molina, J., León, M.A., Aldana, E. ve Caballero, R., 2011, A multi objective model for forest planning with adjacency constraints, *Annals of Operations Research*, 190 (1), 75-92.
- González-Olabarria, J.-R. ve Pukkala, T., 2011, Integrating fire risk considerations in landscape-level forest planning, *Forest Ecology and Management*, 261 (2), 278-287.
- Gökçen, H., 2007, *Yönetim Bilgi Sistemleri*, Palme Yayınları, Ankara.
- Greer, K. ve Meneghin, B., 2000, *SPECTRUM: An analytical tool for building natural resource management models*, USDA Forest Service, Research Paper, <http://ncrs.fs.fed.us/pubs/gtr/other/gtrnc205/abstracts.htm/profiles/p53.pdf>, [Ziyaret tarihi: 28 Mart 2008].

- Gustafson, E.J. ve Crow, T.R., 1994, Modeling the effects of forest harvesting on landscape structure and the spatial distribution of cowbird brood parasitism, *Landscape Ecology*, 9, 237-248.
- Gustafson, E.J. ve Crow, T.R., 1996, Simulating the effects of alternative forest management strategies on landscape structure, *Journal of Environmental Management*, 46 (1), 77-94.
- Gustafson, E.J. ve Crow, T.R., 1999, *HARVEST: linking timber harvest strategies to landscape patterns*, Spatial Modeling of Forest Landscapes: Approaches and Applications, In: Mladenoff, D.J. and Baker, W.L. (Eds.), Chapter 12, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 309-332.
- Gustafson, E., J. ve Rasmussen, L.V., 2002, Assessing the spatial implications of interactions among strategic forest management options using a Windows-based harvest Simulator, *Computers and Electronics in Agriculture*, 33, 179-196.
- Gustafson, E.J., Shifley, S.R., Mladenoff, D.J., Nimerfo, K.K. ve He, H.S., 2000, Spatial simulation of forest succession and timber harvesting using LANDIS, *Canadian Journal of Forest Research*, 31, 32-43.
- Gustafson, E.J., Roberts, L.J. ve Leefers, L.A., 2006, Linking linear programming and spatial simulation models to predict landscape effects of forest management alternatives, *Journal of Environmental Management*, 81 (4), 339-350.
- Gül, A.U., 1990, *Orman Amenajman Planlarının Bilgisayar Yardımıyla Hazırlanması*, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Gülenç, İ.F. ve Karabulut, B., 2005, Doğrusal Hedef Programlama ile Bir Üretim Planlama Probleminin Çözümü, *KÜ Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 9 (1), 55-68.
- Güngör, B.Ş., 2011, Peyzaj Matris, Yama ve Koridorlarının Vejetasyon Formasyonlarındaki Farklılıklara Dayanarak Belirlenmesine Yönelik Bir Araştırma: Kazdağı Milli Parkı Örneği, *İstanbul Aydın Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 1 (3), 1-15.
- Gürdoğan, N., 1981, *Üretim Planlamasında Doğrusal Programlama ve Demir Çelik Endüstrisinde Bir Uygulama*, Ankara Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi Yayınları No: 473, Ankara.
- Haag, S., Cummings, M. ve Dawkins, J., 1998, *Management Information Systems for the Information Age*, Irwin/McGraw Hill Publishing Co., New York.
- Hahn, W.A., Härtl, F., Irland, L.C., Kohler, C., Moshhammer, R. ve Knoke, T., 2014, Financially optimized management planning under risk aversion results in even-flow sustained timber yield, *Forest Policy and Economics*, 42, 30-41.
- Halaç, O., 1982, *İşletmelerde Simülasyon Teknikleri*, İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Yayını, No: 130, İstanbul.
- Halaç, O., 2001, *Kantitatif Karar Verme Teknikleri (Yöneylem Araştırması)*, 5. Baskı, Alfa Basın Yayın Dağıtım, İstanbul.

- Halbritter, A. ve Deegen, P., 2015, A combined economic analysis of optimal planting density, thinning and rotation for an even-aged forest stand, *Forest Policy and Economics*, 51, 38-46.
- Hasan, M.S., Ebrahim, Z., Wan Mahmood, W.H. ve Ab Rahman, M.N., 2016, Decision Support System Classification and Its Application in Manufacturing Sector: A Review, *Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)*, 79 (1), 153-163.
- Hauer, G., Cumming, S., Schmiegelow, F., Adamowicz, W., Weber, M. ve Jagodzinski, R., 2010, Tradeoffs between forestry resource and conservation values under alternate policy regimes: A spatial analysis of the western Canadian boreal plains, *Ecological Modelling*, 221 (21), 2590-2603.
- Heinonen, T., 2007, *Developing spatial optimization in forest planning*, Thesis (PhD), University of Joensuu Faculty of Forestry, Joensuu, Finland.
- Heinonen, T., Pukkala, T., Ikonen, V.-P., Peltola, H., Gregow, H. ve Venäläinen, A., 2011, Consideration of strong winds, their directional distribution and snow loading in wind risk assessment related to landscape level forest planning, *Forest Ecology and Management*, 261 (2), 710-719.
- Hennigar, C.R., Wilson, J.S., MacLean, D.A. ve Wagner, R.G., 2011, Applying a spruce budworm decision support system to Maine: Projecting spruce-fir volume impacts under alternative management and outbreak scenarios, *Journal of Forestry*, 109 (6), 332-342.
- Hersh, M.A., 1999, Sustainable decision making: the role of decision support systems. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, Part C (Applications and Reviews), 29 (3), 395-408.
- Hobbelstad, K. ve Hofstad, O., 1988, *AVVIRK 3, a model for long-term forest planning*, Reports of Norwegian Forest Research Institute, 41, ISBN: 82-7169-401-4.
- Hoekstra, T.W., Dyer, A.A. ve Le Master, D.C. (Eds.), 1987, *FORPLAN: An evaluation of a forest planning tool*, USDA Forest Service, General Technical Report RM-140.
- Hof, J.G., Bevers, M. ve Kent, B., 1997, An optimization approach to area-based forest pest management over time and space, *Forest Science*, 43 (1), 121-128.
- Hof, J.G., Bevers, M., Joyce, L.A. ve Kent, B., 1994, An integer programming approach for spatially and temporally optimizing wildlife populations, *Forest Science*, 40 (1), 177-191.
- Hof, J.G. ve Joyce, L.A., 1992, Spatial optimization for wildlife and timber in managed forest ecosystems, *Forest Science*, 38 (3), 489-508.
- Hof, J.G., Sieg, C.H. ve Bevers, M., 1999, Spatial and temporal optimization in habitat placement for a threatened plant: the case of the western prairie fringed orchid, *Ecological Modelling*, 115, 61-75.

- Hofstad, O. ve Araya, M., 2015, Optimal wood harvest in miombo woodland considering REDD+ payments - A case study at Kitulangalo Forest Reserve, Tanzania, *Forest Policy and Economics*, 51, 9-16.
- Holsapple, C.W. ve Whinston, A.B., 1996, *Decision Support Systems: A Knowledge-Based Approach*. West Pub. Co.
- 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.
- Hotvedt, J.E., 1983, Application of linear goal programming to forest harvest scheduling, *Southern Journal of Agricultural Economics*, 15 (1), 103-108.
- Hotvedt, J.E., Leuschner, W.A. ve Buhyoff, G.J., 1982, A heuristic weight determination procedure for goal programs used for harvest scheduling models, *Canadian Journal of Forest Research*, 12, 292-298.
- Huu-Dung, N. ve Yeo-Chang, Y., 2012, Optimum harvesting time and clone choices for eucalyptus growers in Vietnam, *Forest Policy and Economics*, 15, 60-69.
- Hynynen, J., Ahtikoski, A., Siitonen, J., Sievanen, R. ve Liski, J., 2005, Applying the MOTTI Simulator to analyse the effects of alternative management schedules on timber and non-timber production, *Forest Ecology and Management*, 207, 5-18.
- Hyytiäinen, K. ve Haight, R., 2010, Evaluation of forest management systems under risk of wildfire, *European Journal of Forest Research*, 129 (5), 909-919.
- Ijiri, Y., 1965, *Management goals and accounting for control*, Studies in Mathematical and Managerial Economics, In: Theil, H. (Ed.), Vol 3, North-Holland Publishing Co., Amsterdam, 191p.
- Jadidi, O., Zolfaghari, S. ve Cavalieri, S., 2014, A new normalized goal programming model for multi-objective problems: a case of supplier selection and order allocation, *International Journal of Production Economics*, 148, 158-165.
- Jafari, N., Nuse, B.L., Moore, C.T., Dilkina, B. ve Hepinstall-Cymerman, J., Achieving full connectivity of sites in the multiperiod reserve network design problem, *Computers & Operations Research*, 81, 119-127.
- Jamnick, M.S. ve Walters, K.R., 1993, Spatial and temporal allocation of stratum-based harvest schedules, *Canadian Journal of Forest Research*, 23 (3), 402-413.
- Johnson, K. ve Jones, D.B., 1980, *A user's guide to multiple use-sustained yield resource scheduling (MUSYC)*, USDA Forest Service, Fort Collins, Colorado, USA.
- Johnson, K., Stuart, T. ve Crimm, S., 1986, *FORPLAN Version 2: An overview*, USDA Forest Service, Land Management Planning Systems Section, Washington, USA.
- Jones, D., 2011, A practical weight sensitivity algorithm for goal and multiple objective programming, *European Journal of Operational Research*, 213 (1), 238-245.

- Jones, D.F., 1995, *The Design and Development of an Intelligent Goal Programming System*, Thesis (PhD), University of Portsmouth, Portsmouth, UK.
- Kadioğulları, A.İ., 2009, *Orman Amenajman Planlarının Hazırlanmasında Konumsal Yapının Kombine Optimizasyon Teknikleri ile Kontrolü: Konumsal Planlama*, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Kahalas, H. ve Groves, D.I., 1978, Modeling for organizational decision-making: profits vs. social values in resource management, *Journal of Environmental Management*, 6, 73-84.
- Kangas, A., Hartikainen, M. ve Miettinen, K., 2014b, Simultaneous optimization of harvest schedule and measurement strategy, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 29 (Supplement 1), 224-233.
- Kangas, A., Kurttila, M., Hujala, T., Eyvindson, K. ve Kangas, J., 2015, *Decision Support for Forest Management*, Second Edition, Springer International Publishing Switzerland, ISBN: 978-3-319-23522-6.
- Kangas, A., Nurmi, M. ve Rasinmäki, J., 2014a, From a strategic to a tactical forest management plan using a hierarchic optimization approach, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 29 (Supplement 1), 154-165.
- Kangas, J. ve Pukkala, T. 1992, A decision theoretic approach applied to goal programming of forest management, *Silva Fennica*, 26, 169-176.
- Kangas, J. ve Pukkala, T., 1996, Operationalization of biological diversity as a decision objective in tactical forest planning, *Canadian Journal of Forest Research*, 26 (1), 103-111.
- Kao, C. ve Brodie, J.D., 1979, Goal programming for reconciling economic, even flow, and regulation objectives in forest harvest scheduling, *Canadian Journal of Forest Research*, 9, 525-531.
- Karahalil, U., 2003, *Toprak Koruma ve Odun Üretimi Fonksiyonlarının Doğrusal Programlama ile Modellenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Karahalil, U., 2009, *Korunan orman alanlarında amenajman planlarının düzenlenmesi (Köprülü Kanyon Milli Parkı Örneği)*, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Kärkkäinen, L., Nuutinen, T., Hirvelä, H. ve Mäkelä, H., 2011, Effects of administrative land-use and technical land-form constraints on timber production at the landscape level, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 26 (2), 120-127.
- Kášpar, J., Marušák, R. ve Hlavatý, R., 2015, A forest planning approach with respect to the creation of over mature reserved areas in managed forests, *Forests*, 6 (2), 328-343.
- Kaya, A., Bettinger, P., Boston, K., Akbulut, R., Ucar, Z., Siry, J., Merry, K. ve Cieszewski, C., 2016, Optimisation in forest management, *Current Forestry Reports*, 2, 1-17.

- Keen, P.G.W., 1978, *Decision support systems: an organizational perspective*. Reading, Mass., Addison-Wesley Pub. Co., ISBN: 0-201-03667-3.
- Keen, P.G.W. ve Morton, S., 1978, *Decision Support Systems: An Organizational Perspective*. Reading, Addison-Wesley, Massachusetts, ISBN: 0-201-03667-3.
- Keleş, S., 2003, *Ormanların su ve odun üretimi fonksiyonlarının doğrusal programlama tekniği ile optimizasyonu (Karanlıkdere Planlama Birimi Örneği)*, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Keleş S., 2008, *Orman Amenajman Planlarının Hazırlanmasına Yönelik Karar Destek Sisteminin Tasarımı ve Prototip Modelinin Geliştirilmesi*, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Keskin, R., 2013, *Bulanık Hedef Programlama ve Portföy Analizi Uygulaması*, Doktora Tezi, MSGSÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kidd, W.E., Thompson, E.F. ve Hoepner, P.H., 1966, Forest Regulation by Linear Programming-A Case Study, *Journal of Forestry*, 64 (9), 611-613.
- Kong, J. ve Rönnqvist, M., 2014, Coordination between strategic forest management and tactical logistic and production planning in the forestry supply chain, *International Transactions of Operational Research*, 21 (5), 703-735.
- Konoshima, M., Albers, H.J., Montgomery, C.A. ve Arthur, J.L., 2010, Optimal spatial patterns of fuel management and timber harvest with fire risk, *Canadian Journal of Forest Research*, 40 (1), 95-108.
- Korosuo, A., Wikström, P., Öhman, K. ve Eriksson, L.O., 2011, In integrated MCDA software application for forest planning: A case study in southwestern Sweden, *Mathematical and Computational Forestry & Natural-Resource Sciences*, 3 (2), 75-86.
- Köse, S., 1986, *Orman işletmelerinin planlanmasında yöneylem araştırması yöntemlerinden yararlanma olanakları*, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Köthke, M. ve Dieter, M., 2010, Effects of carbon sequestration rewards on forest management - An empirical application of adjusted Faustmann Formulae, *Forest Policy and Economics*, 12 (8), 589-597.
- Kroeber, D.W. ve Watson, H.J., 1987, *Computer Based Information Systems: A Management Approach*, Macmillan Publishing Company, 2nd Edition, New York.
- Kurttila, M., 2001, The spatial structure of forests in the optimization calculations of forest planning - a landscape ecological perspective, *Forest Ecology and Management*, 142, 129-142.
- Kuruüzüm, A., 1998, *Karar Destek Sistemlerinde Çok Amaçlı Yöntemler*, Akdeniz Üniversitesi Basımevi, Antalya.

- Kwak, N.K., Schniederjans, M.J. ve Warkentin, K.S., 1991, An application of linear goal programming to the marketing distribution decision, *European Journal of Operation Research*, 52 (3), 334-344.
- Lappi, J., 1992, *JLP: A linear programming package for management planning*, Finnish Forest Research Institute, Research Paper 414, Suonenjoki, Finland, ISBN: 951-40-1218-6.
- Lappi, J. ve Lempinen, R., 2014, A linear programming algorithm and software for forest-level planning problems including factories, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 29 (Supplement 1), 178-184.
- Laudon, C.K. ve Laudon, J.P., 2002, *Management Information Systems*, 7th Edition, Prentice Hall, New Jersey.
- Lee, S.M., 1971, Decision analysis through goal programming, *Decision Science*, 2, 172-180.
- Lee, S.M., 1972, *Goal programming for decision analysis*, Auerbach Publishers Inc., Philadelphia.
- Lee, S.M. ve Clayton, E.R., 1972, A goal programming model for academic resource allocation, *Management Science*, 18 (8), 395-408.
- Lee, S.M., Lerro, A.J. ve McGinnis, B.R., 1971, Optimization of tax switching for commercial banks: comments, *Journal of Money, Credit and Banking*, 3 (2), 293-303.
- Lezki, Ş. ve Er, F., 2010, Filo araç alımında karar ağacı ve değerlendirme ağı kullanımı, *İstatistikçiler Dergisi*, 3, 86-105.
- Li, R., Bettinger, P. ve Weiskittel, A., 2010, Comparisons of three different methods used to generate forest landscapes for spatial harvest scheduling problems with adjacency constraints, *Mathematical and Computational Forestry & Natural-Resource Sciences*, 2 (1), 53-60.
- Little, J.D.C., 1970, Models and Managers: The Concept of a Decision Calculus, *Management Science*, 16 (8), 466-485.
- 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.
- Long, L., 1989, *Management Information Systems*, Prentice Hall, U.S.A.
- Loucks, D.P., 1964, The Development of an Optimal Program for Sustained-Yield Management, *Journal of Forestry*, 62 (7), 485-490.
- Lyon, G., 1974, *Applications of goal programming and accounting for control in the forest industry*, Unpublished manuscript. Res. Pap., 53p. College of Forest Resources, University of Washington, Seattle.

- MacDicken, K.G., Sola, P., Hall, J.E., Sabogal, C., Tadoum, M. ve de Wasseige, C., 2015, Global progress toward sustainable forest management, *Forest Ecology and Management*, 352, 47-56.
- Mäkelä, H., Hirvelä, H., Nuutinen, T. ve Kärkkäinen, L., 2011, Estimating forest data for analyses of forest production and utilization possibilities at local level by means of multi-source National Forest Inventory, *Forest Ecology and Management*, 262 (8), 1345-1359.
- Malladi, K.T. ve Sowlati, T., 2017, Optimization of operational level transportation planning in forestry: a review, *International Journal of Forest Engineering*, 28 (3), 1-13.
- Manning, P.J. ve McDill, M.E., 2012, Optimal parameter settings for solving harvest scheduling models with adjacency constraints, *Mathematical and Computational Forestry & Natural-Resource Sciences*, 4 (1), 16-26.
- 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.
- 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), 546-558.
- Marques, A.F., de Sousa, J.P., Rönnqvist, M. ve Jafe, R., 2014, Combining optimization and simulation tools for short-term planning of forest operations, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 29, Supplement 1 (SI), 166-177.
- Marshalek, E.C., Ramage, B.S. ve Potts, M.D., 2014, Integrating harvest scheduling and reserve design to improve biodiversity conservation, *Ecological Modelling*, 287, 27-35.
- Masud, A.S. ve Hwang, C.L., 1981, Interactive sequential goal programming, *Journal of the Operational Research Society*, 32, 391-400.
- McDermott, C.L., Cashore, B.W. ve Kanowski, P., 2010, *Global Environmental Forest Policies: An International Comparison*, Earthscan, London, ISBN: 978-1-84407-590-4.
- McDill, M.E., 1999, *Forest Resource Management*, Penn State School of Forest Resources.
- Menzel, S., Nordström, E.-M., Buchecker, M., Marques, A., Saarikoski, H. ve Kangas, A., 2012, Decision support systems in forest management: Requirements from a participatory planning perspective, *European Journal of Forest Research*, 131 (5), 1367-1379.
- Mısır, 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.
- Mısır, N. ve Mısır, M., 2007, Developing a multi-objective forest planning process with goal programming: a case study, *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 10, 514-522.

- MMFA., 2001, *ECHO planning System, planner's user guide*, McGregor Model Forest Association, British Columbia, Canada, <http://www.mcgregor.bc.ca/>, [Ziyaret tarihi: 30 Ocak 2008].
- Moreira, J.M.M.A.P., Rodriguez, L.C.E. ve Caixeta-Filho, J.V., 2013, An optimization model to integrate forest plantations and connecting corridors, *Forest Science*, 59 (6), 661-669.
- Möykkynen, T. ve Pukkala, T., 2010, Optimizing the management of Norway spruce and Scots pine mixtures on a site infected by *Heterobasidion* coll., *Scandinavian Journal of Forest Research*, 25 (2), 127-137.
- Murray, A.T., 1998, Ecosystem management or infeasible guidelines? Implications of adjacency restrictions for wildlife habitat and timber production (Discussion), *Canadian Journal of Forest Research*, 28 (7), 1093-1094.
- Murray, A.T., 1999, Spatial Restrictions in Harvest Scheduling, *Forest Science*, 45 (1), 45-52.
- Murray, A.T., 2007, *Spatial Environmental Concerns*, Handbook of Operations Research in Natural Resources, In: Weintraub, A., Romero, C., Bjørndal, T., Epstein, R. and Miranda, J. (Eds.), Chapter 22, Springer Science & Business Media, New York, ISBN: 978-0-387-71815-6, 419-429.
- Murty, K.G., 2010, *Optimization for Decision Making: Linear and Quadratic Models*, Springer Science & Business Media, New York, ISBN: 978-1-4419-1291-6.
- Myllyviita, T., Hujala, T., Kangas, A., Eyvindson, K., Sironen, S., Leskinen, P. ve Kurttila, M., 2014, Mixing methods-assessment of potential benefits for natural resources planning, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 29 (Supplement 1), 20-29.
- Näsberg, M., 1985, *Mathematical programming models for optimal log bucking. Linköping Studies in Science and Technology*, Dissertation 132, Department of Mathematics, Linköping University, Sweden.
- Navarrete, E., 2012, Modeling optimal pine stands harvest under stochastic wood stock and price in Chile, *Forest Policy and Economics*, 15, 54-59.
- Navon, D., 1971, *TimberRAM*, Research Paper, USDA Forest Service, USA, PSW-70.
- NCASI, 2006, *HABPLAN user manual*, NCASI Statistics and Model Development Group, Canada, <http://ncasi.uml.edu/>, [Ziyaret tarihi: 15 Ocak 2008].
- Nelson, J.D., 2000, *ATLAS operations manual*, Faculty of Forestry, University of British Columbia, Vancouver, Canada, <http://www.forestry.ubc.ca/atlassimfor/extension/docs.html#ATLAS>, [Ziyaret tarihi: 20 Ocak 2008].
- Nelson, J.D., 2003, *FPS-ATLAS database manual: Version 6*, Faculty of Forestry, University of British Columbia, Vancouver, Canada, <http://www.forestry.ubc.ca/atlas-simfor/extension/docs.html#ATLAS>, 2008, [Ziyaret tarihi: 20 Ocak 2008].

- Neuner, S., Beinhofer, B. ve Knoke, T., 2013, The optimal tree species composition for a private forest enterprise applying the theory of portfolio selection, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 28 (1), 38-48.
- Nghiem, N., 2014, Optimal rotation age for carbon sequestration and biodiversity conservation in Vietnam, *Forest Policy and Economics*, 38, 56-64.
- Nieuwenhuis, M., 2000, *Terminology of forest management: Terms and definitions in English*, Revised edition, Vienna: International Union of Forest Research Organizations.
- Niinimäki, S., Tahvonen, O. ve Mäkelä, A., 2012, Applying a process-based model in Norway spruce management, *Forest Ecology and Management*, 265, 102-115.
- Nordström, E.-M., Holmström, H. ve Öhman, K., 2013, Evaluating continuous cover forestry based on the forest owner's objectives by combining scenario analysis and multiple criteria decision analysis, *Silva Fennica*, 47 (4), article id 1046.
- Odum, E.P. ve Barrett, G.W., 2008, *Ekolojinin Temel İlkeleri*, Palme Yayıncılık, Ankara, ISBN: 0-534-42066-4.
- OGM, 2008, *Orman Amenajman Yönetmeliği*, Sayı : 26778, Orman Genel Müdürlüğü, Ankara.
- OGM, 2014a, *Ekosistem Tabanlı Fonksiyonel Orman Amenajman Planlarının Düzenlenmesine Ait Usul ve Esaslar*, Tebliğ No: 299, Orman Genel Müdürlüğü, Ankara.
- OGM, 2014b, *Silvikültürel Uygulamaların Teknik Esasları*, Tebliğ No: 298, Orman Genel Müdürlüğü, Silvikültür Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- OGM, 2014c, *Akören Orman İşletme Şefliği Ekosistem Tabanlı Fonksiyonel Orman Amenajman Planı*, Orman Genel Müdürlüğü, Ankara.
- OGM, 2015, *Türkiye Orman Varlığı 2015*, Orman Genel Müdürlüğü, Ankara.
- 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.
- Ok, K., 1997, *Aynı Yaşlı Ormanlarda Kesim Düzeninin Ekonomik Analizi*, Doktora Tezi, İÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Öhman, K., 2000, Creating continuous areas of old forest in long term forest planning, *Canadian Journal of Forest Research*, 30, 1817-1823.
- Öhman, K., 2001, *Forest planning with consideration to spatial relationships*, Thesis (PhD), Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden.
- Öhman, K. ve Eriksson, L.O., 1998, The core area concept in forming contiguous areas for long-term forest planning, *Canadian Journal of Forest Research*, 28 (7), 1032-1039.
- Öhman, K. ve Eriksson, L.O., 2002, Allowing for spatial consideration in long term forest planning by linking linear programming with simulated annealing, *Forest Ecology and Management*, 161, 221-230.

- Öhman, K. ve Eriksson, L.O., 2010, Aggregating harvest activities in long term forest planning by minimizing harvest area perimeters, *Silva Fennica*, 44 (1), 77-89.
- Öhman, K., Edenius, L. ve Mikusiński, G., 2011, Optimizing spatial habitat suitability and timber revenue in long-term forest planning, *Canadian Journal of Forest Research*, 41 (3), 543-551.
- Öhman, K. ve Lamås, T., 2005, Reducing forest fragmentation in long-term forest planning by using the shape index, *Forest Ecology and Management*, 212, 346-357.
- Özden, Ü.H., 2015, *Yöneylem Araştırması: Doğrusal Programlama Grafik Çözüm Yöntemi*, http://www.unalozden.com/Download/Yoneylem_Arastirmasi_All.pdf, [Ziyaret tarihi: 3 Kasım 2017].
- Özkan, M., 2014, *Bulanık Hedef Programlama ve Bir İşletme Üzerinde Uygulama*, Doktora Tezi, CÜ Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sivas.
- Öztürk, A., 2009, *Yöneylem Araştırması*, 12.Baskı, Ekin Yayınevi, Bursa.
- Packalen, T., Marques, A.F., Rasinmäki, J., Rosset, C., Mounir, F., Rodriguez, L.C.E. ve Nobre, S.R., 2013, Review: A brief overview of forest management decision support systems (FMDSS) listed in the FORSYS wiki, *Forest Systems*, 22 (2), 263-269.
- Pascual, A., Pukkala, T., Rodríguez, F. ve de-Miguel, S., 2016, Using Spatial Optimization to Create Dynamic Harvest Blocks from LiDAR-Based Small Interpretation Units, *Forests*, 7 (10), 220.
- Perdue, M. ve Nelson, J.D., 2000, *ATLAS/FPS tutorial manual*, Faculty of Forestry, University of British Columbia, Vancouver, Canada, <http://www.forestry.ubc.ca/atlas-simfor/extension/docs.html#ATLAS>, [Ziyaret tarihi: 20 Ocak 2008].
- Petrášek, S. ve Perez-Garcia, J., 2010, A Monte Carlo methodology for solving the optimal timber harvest problem with stochastic timber and carbon prices, *Mathematical and Computational Forestry & Natural-Resource Sciences*, 2 (2), 67-77.
- Petridis, K., Arabatzis, G. ve Sifaleras, A., 2017, Mathematical optimization models for fuelwood production, *Annals of Operations Research*, <https://doi.org/10.1007/s10479-017-2697-7>
- Ponce, Y.R., Ruiz-Tagle, M., García-Robredo, F. ve Gutiérrez, J., 2010, Multiple-use forest planning model for second-growth forests of roble-raulí-coihue (genus *Nothofagus*), *European Journal of Forest Research*, 129 (5), 947-960.
- Porterfield, R.L. 1973, *Predicted and potential gains from tree improvement programs-a goal programming analysis of program efficiency*, Thesis (PhD), Yale University, New Haven, Connecticut.
- Porterfield, R.L., 1974, *Predicted and potential gains from tree improvement programs: a goal programming analysis of program efficiency*, North Carolina State University, School of Forest Resources, Technical Report No. 52, 112 p.

- Pos OİM, 2015, *Akören Orman İşletme Şefliği A-Kızılçam İşletme Sınıfı Detay Silvikültür Planı (2014-2023)*, Pos Orman İşletme Müdürlüğü, Adana Orman Bölge Müdürlüğü, Adana.
- Pos OİM, 2017, *Pos Orman İşletme Müdürlüğü Kesim Planı Arşivi*, [Resmi Evrak], Adana Orman Bölge Müdürlüğü, Adana.
- Power, D.J., 2002, *Decision Support Systems: Concepts and Resources for Managers*, Westport, Greenwood/Quorum, Connecticut.
- Power, D.J., 2004, Specifying an Expanded Framework for Classifying and Describing Decision Support Systems, *Communications of the Association for Information Systems*, 13, 158-166.
- Power, D.J., 2007, *A Brief History of Decision Support Systems*, DSSResources.COM, <http://DSSResources.COM/history/dsshhistory.html>, [Ziyaret tarihi: 31 Mart 2017].
- Pukkala, T., 2004, Dealing with ecological objectives in the MONSU planning system, *Silva Lusitana*, no especial, 1-15.
- Pukkala, T., 2011, Optimizing forest management in Finland with carbon subsidies and taxes, *Forest Policy and Economics*, 13 (6), 425-434.
- Pukkala, T., Kangas, J., Kniivila, M. ve Tiainen, A.-M., 1997, Integrating forest-level and compartment-level indices of species diversity with numerical forest planning, *Silva Fennica*, 31 (4), 417-429.
- Pukkala, T. ve Kellomäki, S., 2012, Anticipatory vs adaptive optimization of stand management when tree growth and timber prices are stochastic, *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 85 (4), 463-472.
- Pukkala, T., Lahde, E. ve Laiho, O., 2010, Optimizing the structure and management of uneven-sized stands of Finland, *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 83 (2), 129-142.
- Pukkala, T., Nuutinen, T. ve Kangas, J., 1995, Integrating scenic and recreational amenities into numerical forest planning, *Landscape and Urban Planning*, 32 (3), 185-195.
- 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.
- Rämö, J. ve Tahvonen, O., 2014, Economics of harvesting uneven-aged forest stands in Fennoscandia, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 29 (8), 777-792.
- Raymer, A.K., Gobakken, T. ve Solberg, B., 2011, Optimal forest management with carbon benefits included, *Silva Fennica*, 45 (3), 395-414.

- Redsven, V., Anola-Pukkila, A., Haara, A., Hirvelä, H., Härkönen, K., Kettunen, L., Kiiskinen, A., Kärkkäinen, L., Lempinen, R., Muinonen, E., Nuutinen, T., Salminen, O. ve Siitonen, M., 2005, *MELA2005 Reference Manual*, The Finnish Forest Research Institute, Helsinki, Finland, ISBN: 951-40-1974-1.
- Reynolds, K.M., 2005. Integrated decision support for sustainable forest management in the United States: Fact or fiction?, *Computers and Electronics in Agriculture*, 49 (1), 6-23.
- Reynolds, K.M., Twery, M., Lexer, M.J., Vacik, H., Ray, D., Shao, G. ve Borges, J.G., 2008, *Decision Support Systems in Forest Management*, Handbook on decision support systems 2, In: Burstein, F. and Holsapple, C.W. (Eds.), Chapter 60, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, ISBN: 978-3-662-50101-6.
- Rode, R., Leite, H.G., da Silva M.L., Ribeiro, C.A.A.S. ve Binoti, D.H.B., 2014, The economics of optimal management regimes of eucalyptus plantations: A case study of forestry out grower schemes in Brazil, *Forest Policy and Economics*, 44, 26-33.
- Romero, C., 1991, *Handbook of Critical Issues in Goal Programming*, Pergamon Press, Oxford, ISBN: 978-1-483-29511-4.
- Romesburg, H.C., 1974, Scheduling models for wilderness recreation, *Journal of Environmental Management*, 2, 159-177.
- Rönnqvist, M., 2003, Optimization in forestry, *Mathematical Programming*, Ser. B 97, 267-284.
- Rönnqvist, M., 2005, *Forest operations and logistic planning*, FOR@C Summer School, Quebec, Canada.
- Rustagi, K.P., 1973, *Forest management planning for timber production: a goal programming approach*, Thesis (PhD), Yale University, New Haven, Connecticut.
- Salehi, A. ve Eriksson, L.O., 2010, A model for management of mixed coppice stands in semiarid Persian oak forests, *Mathematical and Computational Forestry & Natural Resource Sciences*, 2 (1), 20-29.
- Sauter, V., 1997, *Decision Support Systems*, John Wiley & Sons, New York.
- Savage, D.W., Martell, D.L. ve Wotton, B.M., 2011, Forest management strategies for dealing with fire-related uncertainty when managing two forest seral stages, *Canadian Journal of Forest Research*, 41 (2), 309-320.
- Schou, E. ve Meilby, H., 2013, Transformation of even-aged European beech (*Fagus sylvatica* L.) to uneven-aged management under changing growth conditions caused by climate change, *European Journal of Forest Research*, 132 (5-6), 777-789.
- Schrijver, A., 1998, *Theory of Linear and Integer Programming*, John Wiley & Sons, ISBN: 978-0-471-98232-6.

- 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.
- Schuler, A.T., Webster, H.H. ve Meadows, J.C., 1977, Goal programming in forest management, *Journal of Forestry*, 75 (6), 320-324.
- Scott, J., 1991, *SARA User's Manual, Version 1991.1*, Berkeley, CA: Department of Forestry and Resource Management, University of California at Berkeley, USA.
- Scott Morton, M.S., 1971, *Management Decision Systems; Computer-Based Support for Decision Making*, Division of Research, Graduate School of Business Administration, Harvard University, Boston.
- Segura, M., Ray, D. ve Maroto, C., 2014, Decision support systems for forest management: A comparative analysis and assessment, *Computers and Electronics in Agriculture*, 101, 55-67.
- Sessions, J., 1992, Notes: Solving for Habitat Connections as a Steiner Network Problem, *Forest Science*, 38 (1), 203-207.
- Sessions, J., 1988, Making Better Tree Bucking Decisions in the Woods: an Introduction to Optimal Bucking, *Journal of Forestry*, 86 (10), 43-45.
- Sessions, J. ve Bettinger, P., 2001, Hierarchical planning: Pathway to the future? *In Proceedings of the First International Precision Forestry Symposium*, University of Washington College of Forest Resources, University of Washington College of Engineering, and USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Seattle, WA. pp. 185-190.
- Sessions, J., Bettinger, P. ve Murphy, G., 2007, *Heuristics in Forest Planning*, Handbook of Operations Research in Natural Resources, In: Weintraub, A., Romero, C., Bjørndal, T., Epstein, R. and Miranda, J. (Eds.), Chapter 23, Springer Science & Business Media, New York, ISBN: 978-0-387-71815-6, 431-448.
- Sessions, J., Garland, J. ve Olsen, E., 1988, BUCK: A Computer Program for Optimal Tree Bucking, *The Compiler*, 6 (3), 10-13.
- Sessions, J., Garland, J. ve Olsen, E., 1989. Testing Computer-Aided Bucking at the Stump, *Journal of Forestry*, 87 (4), 43-46.
- Shan, Y., Bettinger, P., Cieszewski, C.J. ve Li, R.T., 2009, Trends in spatial forest planning, *Mathematical and Computational Forestry & Natural-Resource Sciences*, 1 (2), 86-112.
- Shan, Y., Bettinger, P., Cieszewski, C.J. ve Wang, W., 2012, Pitfalls and potential of particle swarm optimization for contemporary spatial forest planning, *Forest Systems*, 21 (3), 468-480.
- Sierksma, G., 2001, *Linear and Integer Programming: Theory and Practice*, Second Edition, CRC Press, Taylor & Francis Group, Florida, ISBN: 978-0-8247-0673-9.

- 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.
- Sims, C., 2014, Optimal timing of salvage harvest in response to a stochastic infestation, *Natural Resource Modeling*, 24 (3), 383-408.
- Soltani, A., Eid, T. ve Hofstad, O., 2015, Optimizing management of goats and oak trees for sustainability and community's welfare: A case study from Zagros, Iran, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 30 (1), 49-59.
- Soykan, B., 1979, *Aynıyaşlı ormanların aktüel kuruluşlarının optimal kuruluşa yaklaştırılmasında yöneylem araştırması metotlarından yararlanma olanaklarının araştırılması*, K.T.Ü. Yayın No: 106, Orman Fakültesi Yayın No:5, Trabzon, 252 s.
- Strimbu, B.M., Innes, J.L. ve Strimbu, V.F., 2010, A deterministic harvest scheduler using perfect bin-packing theorem, *European Journal of Forest Research*, 129, 961-974.
- Tahvonen, O., Pukkala, T., Laiho, O., Lähde, E. ve Niinimäki, S., 2010, Optimal management of uneven-aged Norway spruce stands, *Forest Ecology and Management*, 260 (1), 106-115.
- 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.
- TBD, 2010, *Kamuda Karar Destek Sistemlerinin Kullanımı ve Bir Model Önerisi* (Nihai Rapor), Türkiye Bilişim Derneği, <http://kamu-bib.org.tr/kamubib-12/rapor/RP2-2010.pdf>, [Ziyaret tarihi: 25 Mart 2017].
- TDK, 2006, *Genel Türkçe Sözlük*, <http://www.tdk.gov.tr>, [Ziyaret tarihi: 25 Mart 2017].
- Theiler, T.C., 1959, Linear Programming and Optimal Cutting Policies, *Paper Industry*, 41, 384-386.
- Torres, I.L., Pérez, S.O., Fernández A.M. ve Belda C.F, 2010, Estimating the optimal rotation age of *Pinus nigra* in the Spanish Iberian System applying discrete optimal control, *Forest Systems*, 19 (3), 306-314.
- Tóth, S.F., McDill, M.E., Könnyü, N. ve George, S., 2012, A strengthening procedure for the path formulation of the area-based adjacency problem in harvest scheduling models, *Mathematical and Computational Forestry & Natural-Resource Sciences*, 4 (1), 27-49.
- Tóth, S.F., McDill, M.E., Könnyü, N. ve George, S., 2013, Testing the use of lazy constraints in solving area-based adjacency formulations of harvest scheduling models, *Forest Science*, 59 (2), 157-176.

- Troncoso, J., D'Amours, S., Flisberg, P., Rönnqvist, M. ve Weintraub, A., 2015, A mixed integer programming model to evaluate integrating strategies in the forest value chain - A case study in the Chilean forest industry, *Canadian Journal of Forest Research*, 45 (7), 937-949.
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), 2017, *Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi*, http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1059, [Ziyaret tarihi: 4 Aralık 2017]
- Türkay, M., 2011, *Optimizasyon Modelleri ve Çözüm Metotları*, Koç Üniversitesi, İstanbul, <http://home.ku.edu.tr/~mturkay/indr501/Optimizasyon.pdf>, [Ziyaret tarihi: 3 Nisan 2017]
- UN General Assembly, 2008, *Non-legally binding instrument on all types of forests*, A/RES/62/98 (31 January 2008), available from undocs.org/A/RES/62/98.
- U.S. Department of Agriculture (USDA), Forest Service, 1974, *Goal programming user's manual*, [45 p. ID. Monteith, ed.] USDA Forest Service, East. Reg., Milwaukee.
- USDA Forest Service, 1995, *Spectrum User's Guide*, Ecosystem Management Analysis Center.
- Vacik, H. ve Lexer, M.J., 2014, Past, current and future drivers for the development of decision support systems in forest management, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 29 (Supplement 1), 2-19.
- Verhulst, M., 1958, Joint Optimization of Long-Range Planning and Short-Range Programming, *Operations Research*, 6 (4), 580-590.
- Walters, K.R., 1993, Design and development of a generalized forest management modeling system: WOODSTOCK, *Proceedings of the International Symposium on Systems Analysis and Management Decisions in Forestry*, Valdivia, Chile, 190-196.
- Walters, K.R., Feunekes, H., Cogswell, A. ve Cox, E., 1999, A forest planning system for solving spatial harvest-scheduling problems, *Canadian Operations Research Society National Conference*, 7-9 June 1999, Windsor, Ontario.
- Wang, J., LeDoux, C.B. ve McNeel, J., 2004, Optimal Tree-Stem Bucking of Northeastern Species of China, *Forest Products Journal*, 54 (2), 45-52.
- Wang, P., 1987, *Wood Supply Forecasting Techniques*, Research Paper, Canada
- Ware, G.O. ve Clutter, J.L., 1971, A Mathematical Programming System for the Management of Industrial Forests, *Forest Science*, 17 (4), 428-445.
- 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.
- Wei, Y., Bevers, M., Nguyen, D. ve Belval, E., 2014, A spatial stochastic programming model for timber and core area management under risk of fires, *Forest Science*, 60 (1), 85-96.
- Wildhelm, W.B., 1981, Extensions of goal programming models, *Omega*, 9, 212-214.

- Wikström, P., Edenius, L., Elfving, B., Eriksson, L.O., Lämås, T., Sonesson, J., Öhman, K., Wallerman, J., Waller, C. ve Klintebäck, F., 2011, The Heureka Forestry Decision Support System: An Overview, *Mathematical and Computational Forestry & Natural-Resource Sciences*, 3 (2), 87-94.
- Williams, J.C., 1998, Delineating protected wildlife corridors with multi-objective programming, *Environmental Modeling & Assessment*, 3 (1-2), 77-86.
- Wood, D.B., Fox, B.E. ve Covington, W.W., 1989, Computer-based approach for teaching multi-resource management, *Journal of Forestry*, 87 (11), 11-15.
- Xin, J. ve Wang, X., 2013, Optimal harvest decision model for the forest: A new analysis framework to Chinese forestry economic policy, *Scientia Silvae Sinicae*, 49 (9), 178-185.
- Yenilmez, N., 2010, *Tomruk Üretiminde Optimum Boylama Metodunun Tek Ağaç Düzeyinde Uygulanması*, Yüksek Lisans Tezi, KSÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Yılmaz, E., 2004, *Orman Kaynaklarının İşlevsel Bölümlemesine İlişkin Çözümlemeler*, Doktora Tezi, İÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yolasığmaz, H.A., 2004, *Orman Ekosistem Amenajmanı Kavramı ve Türkiye’de Uygulaması*, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Yoshimoto, A., Asante, P. ve Konoshima, M., 2017, Optimal Forest Stand Aggregation and Harvest Scheduling: Using Compactly Formulated Integer Programming, *Formath*, 16.
- Yoshimoto, A. ve Brodie, J.D., 1994, Short- and long-term impacts of spatial restrictions on harvest scheduling with reference to riparian zone planning, *Canadian Journal of Forest Research*, 24 (8), 1617-1628.
- Zengin, H., 2009, *Orman Kaynaklarından Fonksiyonel Yaklaşım ile Çok Amaçlı Faydalanmanın Optimizasyonu*, Doktora Tezi, İÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- 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.
- Zhai, W., Zhao, Y., Lian, X., Yang, M. ve Lu, F., 2014, Management planning of fast-growing plantations based on a bi-level programming model, *Forest Policy and Economics*, 38, 173-177.
- Zhang, G., Lu, J. ve Gao, Y., 2015, *Multi-Level Decision Making: Models, Methods and Applications*, Springer Berlin Heidelberg, 978-3-662-46059-7.
- Zhou, M. ve Buongiorno, J., 2011, Effects of stochastic interest rates in decision making under risk: A Markov decision process model for forest management, *Forest Policy and Economics*, 13 (5), 402-410.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Mehmet DEMİRCİ
Doğum Yeri	İlgın
Doğum Tarihi	02.03.1978
Uyruğu	☒ T.C. ☐ Diğer:
Telefon	+90 505 930 58 42
E-Posta Adresi	mehmetdemirci@yahoo.com
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Fakülte	Orman Fakültesi
Bölümü	Orman Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	20.07.2000

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Orman Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	Orman Amenajmanı Programı

Doktora	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Orman Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	Orman Mühendisliği Programı

Makale ve Bildiriler	
Bettinger, P., Demirci, M. ve Boston, K., 2015, Search reversion within s-metaheuristics: impacts illustrated with a forest planning problem, <i>Silva Fennica</i> , 49 (2), article id 1232. 20 p.	
Bettinger, P., Merry, K., Demirci, M. ve Klepacka, A.M., 2015, <i>Tongass National Forest, Alaska, United States of America, Forest Plans of North America</i> , In: Siry, J.P., Bettinger, P., Merry, K., Grebner, D.L., Boston, K., Cieszewski, C. (eds). Chapter 46, Academic Press, ISBN: 978-0-12-799936-4, San Diego, CA, USA, 413-422.	

- Demirci, M., 2010, *Arazi Envanter Rehberi*, Türk Ulusal Orman Envanteri Temelinin Oluşturulması Projesi, OGM, Ankara, <http://amenajman.ogm.gov.tr/> [Ziyaret Tarihi: 26 Aralık 2012].
- 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., Bettinger, P. ve Merry, K., 2015, *San Juan National Forest, Colorado, United States of America, Forest Plans of North America*, In: Siry, J.P., Bettinger, P., Merry, K., Grebner, D.L., Boston, K., Cieszewski, C. (eds). Chapter 45, Academic Press, ISBN: 978-0-12-799936-4, San Diego, CA, USA, 403-412.
- Demirci, M., Ceylan, M. ve Guneyoglu, M., 2016, *Ecosystem-based Functional Forest Management Plan (2016-2035) for the Jeti-Oguz Planning Unit*, State Agency for Environmental Protection and Forestry, Republic of Kyrgyzstan.
- Demirci, M. ve Haliloğlu, M., 2011, *En Az Gelişmiş Ülkelerde Bozulmuş ve Kurak Alanlarda Yapılacak Ormancılık Faaliyetlerine Türkiye'nin Desteği: Fırsatlar ve Sorunlar - Kaynak Kitap*, AGM, Ankara, <http://eagu2011.ogm.gov.tr/> [Ziyaret Tarihi: 26 Aralık 2012]
- Demirci, M., Yilmaz, S. ve Erturk, T., 2015, *Ecosystem-based Functional Forest Management Plan (2015-2034) for the Pristina III Planning Unit*, Kosovo Forest Agency, Republic of Kosovo.
- Kırış, R., Koç, M. ve Demirci, M., 2011, Kurak ve Yarı Kurak Alanlarda Sürdürülebilir Orman Yönetimi ve Planlama, *Kurak ve Yarı Kurak Alan Yönetimi Çalıştayı Sonuç Bildirgesi ve Bildiriler*, 05-08 Aralık 2011 Nevşehir, Ankara, ÇEM, 320-341.
- Koç, M., Karagöz, G. ve Demirci, M., 2012. *Türkiye Ormanlarının Durumu 2012*, OGM, Ankara.
- Yurdaer, M. ve Demirci, M., 2009, Odun Dışı Orman Ürünlerinin Planlanmasında Karşılaşılan Sorunlar ve Bu Konuda Yapılabilecekler, *Odun Dışı Orman Ürünleri Paneli - Tebliğler*, 21-22 Ekim 2009 İzmir, Ankara, OGM, 24-30.
- Yurdaer, M. ve Demirci, M., 2010, Türk Ormancılığında Planlama Sürecinin Gelişimi ile Orman İdaresi ve Planlama Dairesi Başkanlığı'nın Günümüzdeki Uygulamaları, *Orman Amenajmanının Dünü, Bugünü ve Geleceği Çalıştayı Sonuç Bildirgesi ve Tebliğler*, 19-22 Nisan 2010 Antalya, Ankara, OGM, 356-386.