

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ORMAN AMENAJMAN PLANLARININ HAZIRLANMASINDA KONUMSAL
YAPININ KOMBİNE OPTİMİZASYON TEKNİKLERİ İLE KONTROLÜ:
KONUMSAL PLANLAMA**

DOKTORA TEZİ

Orm. Yük. Müh. Ali İhsan KADIOĞULLARI

**EKİM 2009
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ORMAN AMENAJMAN PLANLARININ HAZIRLANMASINDA KONUMSAL
YAPININ KOMBİNE OPTİMİZASYON TEKNİKLERİ İLE KONTROLÜ:
KONUMSAL PLANLAMA**

Orm. Yük. Müh. Ali İhsan KADIOĞULLARI

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"Doktor (Orman Mühendisliği)"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 10.09.2009
Tezin Savunma Tarihi : 05.10.2009**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Emin Zeki BAŞKENT
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Selahattin KÖSE
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Vasif V. NABIYEV
Jüri Üyesi : Doç. Dr. Mehmet MISIR
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Ünal ASAN**

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Salih TERZİOĞLU

Trabzon 2009

ÖNSÖZ

“Orman Amenajman Planlarının Hazırlanmasında Konumsal Yapının Kombine Optimizasyon Teknikleri İle Kontrolü; Konumsal Planlama” adlı bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Doktora Tezi olarak hazırlanmıştır.

Öncelikle, Türkiye ormancılığı için yeni bir dönemi başlatacak olan bu güncel ve özgün tez konusunun seçilmesi ve araştırmasının yürütülmesinde bana önderlik eden, çalışmanın şekil, içerik ve kaynak bakımından geliştirilmesini sağlayan, her konuda destek ve yardımlarını esirgemeyen sayın hocam Prof. Dr. Emin Zeki BAŞKENT’ e sonsuz teşekkür ve şükranlarımı sunarım.

Çalışmalarımın tüm aşamalarında değerli görüş ve önerileriyle çalışmamı yönlendiren ve her zaman ilgi ve desteğini gördüğüm sayın hocam Prof. Dr. Selahattin KÖSE’ ye en içten teşekkürlerimi sunarım. Çalışma sürecini sürekli olarak izleyen, devamı ve başarıyla bitirilmesi için değerli görüş ve katkılarını esirgemeyen sayın hocam Prof. Dr. Vasif V. NABİYEV ve Prof. Dr. Tahsin YOMRALIOĞLU’na teşekkür ederim.

Proje ve tez çalışması kapsamında ekip olarak birlikte çalıştığım ve her zaman yardım ve desteğini benden esirgemeyen Arş. Gör. Dr. Sedat KELEŞ ve Öğr. Gör. Özkan BİNGÖL’ e sonsuz teşekkürleri sunarım. Çalışmalarım kapsamında değerli görüş ve yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Hakkı YAVUZ, Prof. Dr. Jose Guilherme BORGES, Prof. Dr. Ertuğrul BİLGİLİ, AÇÜ Orman Fakültesi Dekanı Prof. Dr. Mustafa Fehmi TÜRKER, Doç. Dr. Mehmet MISIR, Yrd. Doç. Dr. Turan SÖNMEZ, Arş. Gör. Alkan GÜNLÜ ve özellikle Arş. Gör. Uğur ŞEVİK’ e ayrıca sonsuz teşekkür ve şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmaları kapsamında yardım ve desteklerini esirgemeyen, başta Orman İdaresi ve Planlama Dairesi Başkanı (OİPD) Orm. Müh. Mustafa YURDAER olmak üzere, Orm. Yük. Müh. Rüstem KIRIŞ, Orm. Yük. Müh. Cemil ÜN, Orm. Müh. Caner AKGÜL, Orm. Müh. Mehmet Ali SAYIN ve diğer OİPD çalışanlarına gönülden teşekkür ederim.

Bu çalışmanın hazırlanmasında 2003K120750 kodlu Devlet Planlama Teşkilatı projesi ile maddi destek sağlayan KTÜ Bilimsel Araştırma Projeleri birimine sonsuz teşekkür ederim. Ayrıca TOVAG 108 O 127 kod numaralı proje ve bu proje ile burs desteği sağlayan TÜBİTAK ile yine her türlü olanaklarından sürekli olarak faydalandığım Üniversiteme sonsuz teşekkür ederim.

Çalışmalarım süresince bana destek olan aile büyüklerime ve yakınlarıma sonsuz teşekkür ve şükranlarımı sunarım.

Ali İhsan KADIOĞULLARI
Trabzon 2009

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No:</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
TABLolar DİZİNİ.....	XII
KISALTMALAR DİZİNİ	XIII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Temel Kavramlar.....	7
1.2.1. Ekosistem Tabanlı Çok Amaçlı Planlama Yaklaşımı	7
1.2.2. Orman Dinamiği	10
1.2.3. Hiyerarşik (Sıralı) Planlama.....	11
1.2.4. Orman Amenajmanında Modelleme.....	14
1.2.4.1. Simülasyon Modelleri	15
1.2.4.2. Optimizasyon Modelleri	16
1.2.4.3. Konumsal Planlama (Kombine Optimizasyon)	18
1.2.5. Karar Destek Sistemleri ve Konumsal Planlamada Kullanımı	22
1.2.6. Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Kullanımı	26
1.2.7. Konumsal Planlamada Kullanılan Tanım ve Kavramlar	27
1.2.7.1. Yakınlık Mesafesi	27
1.2.7.2. Komşuluk Mesafesi.....	28
1.2.7.3. Kesim Bloğu	29
1.2.7.4. Açma Alanı	30
1.2.7.5. Parçalılık İndeksleri	31
1.2.8. Sezgisel Arama Teknikleri.....	35
1.2.8.1. Tavlama Benzetimi (Simulated Annealing).....	36
1.2.8.2. Tabu Arama Algoritması	41
1.2.8.3. Genetik Algoritma.....	42
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	44

2.1.	Kavramsal Çerçeve.....	44
2.1.1.	Planlama.....	46
2.1.1.1.	Yazılım ve Donanım	46
2.1.2.	Sistem Analizi	48
2.1.3.	Sistem Tasarımı.....	49
2.1.3.1.	Orman Ekosisteminin Konumsal Yapısının Tanımlanması ve Konumsal Veri Tabanı Kurulumu	52
2.1.3.2.	Yardımcı Modeller	54
2.1.3.3.	Planlama Stratejileri	54
2.1.3.4.	Planlama Teknikleri	56
2.1.3.4.1.	Konumsal Simülasyon Modeli.....	56
2.1.3.4.2.	Konumsal Simülasyon Modeline İlişkin Kullanım Durumları	60
2.1.3.4.3.	Simülasyon Modeline İlişkin Sınıfların Oluşturulması	61
2.1.3.5.	Kombine Optimizasyon Modeli.....	64
2.1.3.6.	Ceza Fonksiyonları ve Ağırlıklandırılması	69
2.1.3.7.	Performans Göstergeleri (Model Çıktıları)	77
2.1.3.8.	Gerçekleştirim	78
2.1.4.	Konumsal Planlama Karar Destek Sisteminin Test Edilmesi	79
3.	BULGULAR VE DEĞERLENDİRME.....	89
3.1.	Simülasyon Tabanlı Konumsal Orman Amenajman Planlama Modeli (ETÇAPKonSimülasyon).....	90
3.1.1.	Model (Senaryo) Yönetimi	91
3.1.2.	Veri Giriş Tabloları	91
3.1.3.	Konumsal Simülasyon Ayarları	97
3.1.3.1.	Modelin Çalıştırılması Ve Çıktıların Sunumu	99
3.1.4.	ETÇAPKonSimülasyon Modelinin Hipotetik Planlama Biriminde Uygulanması	101
3.1.5.	Konumsal Simülasyon Modelinin Uğurlu Planlama Biriminde Uygulanması. 115	
3.2.	Kombine Optimizasyon Tabanlı Konumsal Orman Planlama Modeli.....	128
3.2.1.	Konumsal Ayarlar	130
3.2.2.	Modelin Çalıştırılması.....	131
3.2.3.	Kombine Optimizasyon Sonuçları (Çıktılar)	131
3.2.4.	Kombine Optimizasyon Modelinin Hipotetik Planlama Biriminde Uygulanması	132
3.2.5.	Kombine Optimizasyon Modelinin Uğurlu Planlama Biriminde Uygulanması	144

3.3.	Konumsal Simülasyon ve Kombine Optimizasyon Modellerinin Genel Değerlendirmesi.....	154
4.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	158
5.	KAYNAKLAR	164
ÖZGEÇMİŞ		

ÖZET

Ormanların ekosistem tabanlı çok amaçlı planlanması (ETÇAP) yaklaşımına uygun amenajman planların hazırlanması aşamasında, konumsal özelliklerin planlara yansıtılması ile farklı konumsal planlama alternatiflerin geliştirilmesi için Konumsal Karar Destek Sistemine (KKDS) ihtiyaç bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında ETÇAP planlama felsefesine uygun bir KKDS geliştirilmiştir. Bu KKDS, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yardımı ile üretilen konumsal veri tabanlarını ve konumsal parametreler ile diğer öznitelik verilerini (hasılat tabloları, su üretimi denklemi, ürün çeşitleri tabloları vs) kullanabilme özelliğine sahiptir. Nesne tabanlı bir yaklaşımla tasarlanmış ve kodlanmış olan KKDS, modüler yapıya sahip olup, güncelleme ve değişiklik yapılmasına imkan verebilmektedir. Simülasyon ve kombine optimizasyon tabanlı konumsal planlama olmak üzere iki ana bileşene sahip olan KKDS, orman ekosistemlerinin uzun vadeli stratejik planlarını bölmecik bazında düzenlemekte ve plan çıktılarını harita, tablo ve grafik olarak kullanıcıya sunmaktadır. KKDS'nin önemli bileşenleri, tüm konumsal özelliklerin belirlendiği konumsal parametre ve parça tanımlama bölümüdür. Aynı zamanda, meşcere bazında büyümeyi yapılan silvikültürel müdahalelerin etkisinin daha iyi belirlemek amacıyla göğüs yüzeyi oranı benzetim metodunu (GYOBEM) kullanan bir prototip büyüme modeli geliştirilmiştir.

KKDS, karar vericilere bütünlük planlama yaklaşımı çerçevesinde, stratejik ve taktiksel düzeyde seçenekler sunmakta ve konumsal analizler yaparak en iyi kesim düzenini oluşturmasına imkan vermektedir. Konumsal simülasyon ve tavlama benzetimi tekniği kullanarak geliştirilen KKDS, ekosistem yapısını daha iyi analiz ederek, konumsal özelliklerin de planlamaya yansıtılması ile orman amenajman planlarının konumsal bazda uygulanabilir nitelikte hazırlanmasını sağlayacaktır. Geliştirilen model, hipotetik ve Uğurlu planlama birimlerinde simülasyon ve kombine optimizasyon tabanlı konumsal planların hazırlanmasında farklı senaryolar üretilerek test edilmiştir. Modelde test aşamasında meydana gelen olası aksaklıkları giderilmiş ve arayüzü kullanıcı dostu olarak düzenlenmiştir. Uygulama sonucunda, belirlenen amaçlardan en az düzeyde taviz vermek suretiyle, konumsal yapının kontrol edilebildiği konumsal orman amenajman planları hazırlanmıştır. Hazırlanan KKDS, hem teknik ormancılık uygulamalarında hem de bilimsel çalışmaların yapılmasında ve ülkemiz ormancılık eğitiminde de kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Orman Amenajmanı, Coğrafi Bilgi Sistemleri, Konumsal Simülasyon, Kombine Optimizasyon, Ekosistem Tabanlı Çok Amaçlı Planlama, Tavlama Benzetimi

SUMMARY

Controlling Spatial Forest Structure With Meta-heuristics Techniques in Forest Management Planning: Spatial Planning

Spatial Decision Support System (SDSS) is indispensable to develop spatial planning alternative by integrating spatial parameters into forest management plans using ecosystem based multiple use forest management planning concept (EBMUFM). As part of this study, a SDSS was developed based on EBMUFM philosophy. The system has the capability to control the spatial structure of forests based on the spatial database generated by Geographical Information Systems (GIS) and spatial parameters with other attribute data (such as empirical yield table, product assortment table, water production table). The SDSS was developed with object-oriented design and programming (Delphi) language, and has the flexibility to accommodate changes in model structure. A simulation and a meta-heuristics based spatial forest management models were developed to link strategic planning with tactical planning on a sub-compartment (stand) bases and to present results with a number of performance indicators as outputs in map, graphic and table formats. SDSS has important component to determine all spatial characteristics with spatial parameters and patch description. A prototyp stand simulation model based on the relationship between actual and optimal basal area development (BARSM) was also developed to project the future stand characteristics and analyse the affects of various silvicultural treatments.

A number of spatial forest management strategies were developed to generate spatially implementable harvest schedules and perform spatial analyses as part of integrated planning. The SDSS improved the forest management concept using spatial simulation and simulated annealing techniques and helped analyze ecosystem structure using spatial characteristics for an implementable forest management plan. The model was tested both on hypothetical and Uğurlu planning units using simulation and heuristics techniques. The results indicated that the spatial models were able to satisfy spatial restrictions with minimum penalty value of various management objectives. The SDSS could be used in the implementation of contemporary forest management planning process, scientific studies and forestry education.

Key Words: Forest Management, heuristics techniques, Geographical Information Systems, Spatial Simulation, Ecosystem Based Multiple Use Forest Management, Simulated Annealing

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. ETÇAP sisteminin genel yapısı, yapım süreci ve bileşenleri	10
Şekil 2. Hiyerarşik planlamanın orman amenajmanına yansımaları ve ileri-geri bilgi iletimi (Başkent, 1996).....	13
Şekil 3. Kesim bloklarının oluşturulmasında bitişik (a), “L1” mesafe (b) ve “L2” mesafe (c) göre yakınlık mesafesinin kullanılması.....	28
Şekil 4. Açma alanlarının belirlenmesinde sıfır mesafe komşuluk (a) ile “X metre” komşuluk mesafeleri (b)	29
Şekil 5. Kesim blokları (numaralar veya renkler kesim periyotlarını göstermektedir)....	30
Şekil 6. Açma alanları (a- Erteleme süresi 1 alınarak oluşturulan açma alanları (1 ile 2, 3 ile 4. Periyotlar, b- Erteleme süresi 1 alınarak oluşturulan açma alanları (2 ile 3. Periyotlar)	31
Şekil 7. Konumsal objelerin ölçeklendirilerek sınıflandırılması.....	33
Şekil 8. Yerel ve genel minimum değerleri (Bingöl, 2009).....	38
Şekil 9. Konumsal planlamanın kavramsal çerçevesi	44
Şekil 10. Orman amenajmanı KKDS'nin mimarisi (Keleş, 2008'den uyarlandı)	51
Şekil 11. Simülasyon tabanlı konumsal orman amenajmanı planlama model yapısı	57
Şekil 12. Kombine optimizasyon tabanlı orman amenajmanı planlama modeli temel yapısı	66
Şekil 13. Farklı “k” sabiti için ceza fonksiyonu değerleri.....	71
Şekil 14. Belirlenen Amaç fonksiyonu değerinden sapmanın ceza fonksiyonu eğrisi	72
Şekil 15. Belirlenen periyodik kısıtlardan sapmaların ceza fonksiyonu eğrisi	73
Şekil 16. Hedeflenen kesim bloğu büyüklüğü ceza fonksiyonu eğrisi	74
Şekil 17. Hedeflenen açma alanı ceza fonksiyonu eğrisi	75
Şekil 18. Parça yoğunluğu ceza fonksiyonu eğrisi.....	77
Şekil 19. Hipotetik orman ekosisteminin arazi kullanım haritası	80
Şekil 20. Küçük parçalı hipotetik planlama birimi (a- yaşlı, b- karışık yaşlı, c- genç-yaşlı orman).....	81
Şekil 21. Büyük-küçük parçalı hipotetik planlama birimi (a- yaşlı, b- karışık yaşlı, c- genç-yaşlı orman).....	82
Şekil 22. Büyük parçalı hipotetik planlama birimi (a- yaşlı, b- karışık yaşlı, c- genç-yaşlı orman).....	83
Şekil 23. Bölmeciklerin parça büyüklüklerine göre adet ve alan olarak dağılımı	87

Şekil 24. Aktüel orman kuruluşunun yaş sınıfları dağılımı	87
Şekil 25. Uğurlu planlama biriminin genel tanıtımı.....	88
Şekil 26. ETÇAP Orman amenajman planlama yazılımı ana penceresi.....	90
Şekil 27. ETÇAP Simülasyon modeli başlangıç ana penceresi	91
Şekil 28. Kod yönetimi tablosu ile veri alanlarının düzenlenmesi.....	92
Şekil 29. Bölmecik tablosu seçim ve düzenleme ekranı	93
Şekil 30. Hasılat tablosu seçim ve düzenleme ekranı	94
Şekil 31. Geçiş tablosu düzenleme ekranı.....	95
Şekil 32. Komşuluk tablosu düzenleme ve oluşturma ekranı	97
Şekil 33. Konumsal Simülasyon ayarları ekranı	97
Şekil 34. Komşuluk Parametreleri (a) ve parça tanımlama (b) penceresi.....	99
Şekil 35. Konumsal simülasyon a) sonuçlar ana ekranı, b) parçalılık indeksleri ekranı..	101
Şekil 36. S1 senaryosunda, 7 numaralı bölmeciğe ait simülasyon sonuçları ekranı.....	104
Şekil 37. 7 numaralı bölmeciğin 100 yıllık süreçteki a) servet ve b) toprak koruma değeri.....	104
Şekil 38. Planlama birimi düzeyinde gerçekleşen a) ara ve son hâsılat eta miktarları b) ağaç sayısı c) dikili servet miktarları d) gençleştirme ve bakım alanları.....	105
Şekil 39. Orman ekosisteminin a) başlangıç durumundaki b) 20 yıl sonraki c) 40 yıl sonraki d) 60 yıl sonraki e) 80 yıl sonraki f) planlama süresi sonundaki yaş sınıfları dağılımı (100 yıl).....	106
Şekil 40. Farklı planlama senaryolarının periyodik olarak toplam eta miktarları.....	107
Şekil 41. Farklı planlama senaryolarının periyodik olarak toplam ağaç sayısı miktarları.....	108
Şekil 42. S1 senaryosu sonucu oluşan kesim düzeni haritası.....	108
Şekil 43. S2 senaryosu sonucu oluşan kesim düzeni haritası.....	109
Şekil 44. S3 senaryosu sonucu oluşan kesim düzeni haritası.....	109
Şekil 45. S4 senaryosu sonucu oluşan kesim düzeni haritası.....	110
Şekil 46. S5 senaryosu sonucu oluşan kesim düzeni haritası.....	110
Şekil 47. S6 senaryosu sonucu oluşan kesim düzeni haritası.....	111
Şekil 48. Planlama yörüngesi boyunca arazi bazında ortalama parça büyüklüğünün değişimi.....	112
Şekil 49. Planlama yörüngesi boyunca arazi bazında parça sayısının değişimi.....	112
Şekil 50. Planlama yörüngesi boyunca arazi bazında en büyük parça indeksinin değişimi.....	113
Şekil 51. Planlama birimi düzeyinde gerçekleşen a) ara ve son hâsılat eta miktarları b) dikili servet c) ağaç sayısı d) gençleştirme ve bakım alanları	116

Şekil 52.	10 numaralı bölmeciğin 120 yıllık süreçteki a) toprak koruma değeri b) su üretimi, c) servet, d) artım, e) göğüs yüzeyi ve f) yaşının değişimi.....	117
Şekil 53.	A1 planlama senaryosu için, orman ekosisteminin a) başlangıç durumundaki b) 20 yıl sonraki c) 40 yıl sonraki d) 60 yıl sonraki e) 80 yıl sonraki f) 100 yıl sonraki, g) planlama yörüngesi sonundaki yaş sınıfları dağılımı (120 yıl) .	118
Şekil 54.	Farklı planlama senaryolarının periyodik olarak toplam eta miktarları.....	119
Şekil 55.	Farklı planlama senaryolarının periyodik olarak toplam net karbon birikimi ..	120
Şekil 56.	Farklı planlama senaryolarının periyodik olarak toplam ağaç sayısı.....	120
Şekil 57.	A1 plan senaryosu sonucuna oluşan kesim düzeni haritası	121
Şekil 58.	A2 plan senaryosu sonucuna oluşan kesim düzeni haritası	122
Şekil 59.	A3 plan senaryosu sonucuna oluşan kesim düzeni haritası	123
Şekil 60.	A4 plan senaryosu sonucuna oluşan kesim düzeni haritası	124
Şekil 61.	Planlama yörüngesi boyunca parça sayılarının arazi bazında değişimi.....	125
Şekil 62.	Planlama yörüngesi boyunca en büyük parça indeksinin arazi bazında değişimi.....	126
Şekil 63.	Planlama yörüngesi boyunca ortalama parça büyüklüğünün arazi bazında değişimi.....	126
Şekil 64.	Kombine optimizasyon modeli başlangıç ve konumsal ayarlar penceresi	128
Şekil 65.	Amaç ve kısıtların ceza değerlerini ağırlıklandırma ekranı	130
Şekil 66.	Konumsal sonuçlar ana ekranı	132
Şekil 67.	Konumsal parametre tanımlama ekranı	133
Şekil 68.	Optimizasyon model çıktılarının a) net karbon birikimi miktarı b) dikili servet, c) su üretimi, d) toprak kaybı, e) karbon birikimi NBD miktarı, f) gençleştirme ve bakım alanlarının zamana bağlı değişimi	134
Şekil 69.	Optimizasyon sonucu parçalanmış bölmecikler	135
Şekil 70.	T1 senaryosu sonucu oluşan kesim düzeni	136
Şekil 71.	T1 senaryosunda 2, 4, 6, 8 ve 10 nolu periyotlar için açma alanlarının konumsal dağılımı.....	137
Şekil 72.	K1 senaryosu çözümü esnasında toplam ceza (a) ve eta (b) değerinin değişimi.....	138
Şekil 73.	H2 senaryosu sonucu oluşan kesim düzeni haritası	138
Şekil 74.	H2 senaryosunda 2, 4, 6, 8 ve 10 nolu periyotlar için açma alanlarının konumsal dağılımı.....	139
Şekil 75.	H3 senaryosu çözümü esnasında toplam ceza (a) ve eta (b) değerinin değişimi.....	139
Şekil 76.	H3 senaryosu sonucu oluşan kesim düzeni haritası	140

Şekil 77. H3 senaryosunda 2, 4, 6, 8 ve 10 nolu periyotlar için açma alanlarının konumsal dağılımı.....	140
Şekil 78. H4 senaryosu çözümü esnasında toplam ceza (a) ve eta (b) değerinin değişimi.....	141
Şekil 79. H4 senaryosu sonucu oluşan kesim düzeni haritası.....	141
Şekil 80. Toplam eta miktarının senaryolara göre değişimi.....	142
Şekil 81. Eta (a), dikili servet (b) ve gençleştirme alanlarının (c) planlama yörüngesi boyunca değişimi.....	143
Şekil 82. Konumsal parametre tanımlama ekranı.....	144
Şekil 83. Odun üretimi çıktıların a) net karbon birikimi miktarı b) dikili servet, c) oksijen üretimi, d) gençleştirme ve bakım alanlarının zamana bağlı değişimi.	145
Şekil 84. GT1 senaryosu sonucu oluşan kesim düzeni haritası.....	146
Şekil 85. G2 senaryosu çözümü esnasında toplam ceza (a) ve eta (b) değerinin değişimi.....	147
Şekil 86. G2 senaryosu sonucu oluşan kesim düzeni haritası.....	148
Şekil 87. G3 senaryosu çözümü esnasında toplam ceza (a) ve eta (b) değerinin değişimi.....	149
Şekil 88. G3 senaryosu sonucu oluşan kesim düzeni haritası.....	150
Şekil 89. G4 senaryosu çözümü esnasında toplam ceza (a) ve eta (b) değerinin değişimi.....	151
Şekil 90. G4 senaryosu sonucu oluşan kesim düzeni haritası.....	151
Şekil 91. Toplam eta miktarının senaryolara göre değişimi.....	152
Şekil 92. Eta (a), dikili servet (b) ve gençleştirme alanlarının planlama yörüngesi boyunca değişimi.....	153

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Konumsal planlamaya hizmet etmek amacıyla geliştirilmiş bazı konumsal KDS'leri ve özellikleri	24
Tablo 2. Çalışmada kullanılan konumsal analiz ölçütleri	33
Tablo 3. Konumsal parametre belirleme kullanım durumu aşamaları	61
Tablo 4. Parça tanımlama ve parçalılık indeksleri tanımlama kullanım durumu aşamaları	61
Tablo 5. Uğurlu planlama birimindeki fonksiyonlar, işletme amaçları/koruma hedefleri	85
Tablo 6. Uğurlu planlama birimi toplam alan, ağaç serveti ve artımının işletme sınıflarına dağılımı	86
Tablo 7. Uğurlu planlama birimi meşcere tipleri alan ve bölmecik sayısı	86
Tablo 8. Planlama senaryosu alternatifleri	103
Tablo 9. Yaş sınıfları bazında parça tanımları	103
Tablo 10. S2 ve S6 planlama senaryolarının parça büyüklüğünün (ha) sınıf bazında planlama yörüngesi boyunca değişimi	114
Tablo 11. Planlama senaryosu alternatifleri	115
Tablo 12. Yaş sınıfları bazında parça tanımları	116
Tablo 13. Yaş sınıfları bazında sınıf alanlarının planlama yörüngesi boyunca değişimi (A3 ve A4)	127
Tablo 14. Yaş sınıfları bazında ortalama parça büyüklüğünün planlama yörüngesi boyunca dağılımı (A3 ve A4)	127
Tablo 15. Konumsal planlama senaryoları ve hedef ağırlıkları	133
Tablo 16. Eta ve müdahale alanı miktarlarının periyotlara bağlı değişimi	135
Tablo 17. Konumsal planlama senaryoları ve hedef ağırlıkları	144

KISALTMALAR DİZİNİ

AROBEM	: Artım Oranları Benzetim Metodu
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
DP	: Doğrusal Programlama
ETÇAP	: Ekosistem Tabanlı Çok Amaçlı Planlama
FRIS	: Orman Kaynakları Bilgi Sistemi
GA	: Genetik Algoritma
GYOBEM	: Göğüs Yüzeyi Oranları Benzetim Metodu
TB	: Tavlama Benzetimi
UA	: Uzaktan Algılama
KKDS	: Konumsal Karar Destek Sistemi
KO	: Kombine Optimizasyon
HO	: Hücersel Otomasyon
AP	: Amaç Programlama

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Dünyada hızla artan nüfus, şehirleşme ve tüketim alışkanlıkları doğal kaynakların bilinçsizce kullanımını doğurmuştur. Toprak ve su kaynaklarının kirletilmesi, erozyon, sel, taşkın, çığ, asit yağmurları ve sera etkisi, yeryüzündeki canlı hayatı ve onun yaşam ortamını tehdit eder hale gelmiştir (Konukçu, 2001). Bu olumsuz gelişmeleri tetikleyen sebeplerden biri, ormanların sağladığı ürün ve hizmet değerlerinin orman ekosistem dengesinin korunarak planlı ve sistemli olarak işletilememesidir. Kaldı ki, mevcut planlar da standart olarak hazırlandığından sebep-sonuç ilişkileri kurulamamakta ve dolayısıyla işletme amacına yahut amaçlar bütününe göre en uygun seçenek belirlenememektedir. Halbuki orman amenajmanı, çok sayıda plan seçenekleri üretebilme ve aralarından en uygununu belirleme yada karar verme sanatıdır (Baskent vd., 2000).

Karar verme sanatı olan orman amenajmanı, planlama tekniği itibarıyla değerlendirildiğinde, basit formüller yaklaşımlarla başlamış olup bilişim teknolojileri (Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama Teknikleri) ve bilimsel karar verme teknikleri (yöneylem araştırması) ile günümüzdeki konumuna gelmiştir. Günümüze dek, orman amenajman problemlerinin çözümü ve planların yapımı için, ormanın dinamik yapısının modellenmesinde önemli bir yer teşkil eden, bir veya birden fazla amaç içeren simülasyon teknikleri ile optimal çözümler veren matematiksel optimizasyon teknikleri (doğrusal programlama, amaç programlama ve tamsayı programlama gibi) kullanılmış ve halen yoğun bir biçimde kullanılmaktadır. Son yıllarda ise, biyolojik çeşitliliğin sürdürülebilirliği, orman ekosistemlerinin bütünlük ve hayatiyetinin devamlılığı ve konumsal özelliklerin amenajman planlarına dahil edilmesi zorunluluğu tabu arama, tavlama benzetimi ve genetik algoritma gibi karma optimizasyon tekniklerini kullanmayı gerektirmiştir (Başkent vd., 2002).

Ekolojik ve çevresel özellikler hem toplum için hem de bireysel orman sahipleri veya karar vericiler için önemli olduğundan, orman ekosistemlerinin konumsal yapısının gelişim ve değişimini analiz etmek ve konumsal amaçların orman amenajman planlamasında açıkça/kesin sınırlarla içermesini sağlayacak araçların geliştirilmesi yönünde artan bir gereksinim ortaya çıkmıştır (Başkent 2001). Konumsal ayrıntıların planlamada dikkate alınmaması durumunda; biyolojik çeşitliliğin korunması ve sürdürülmesi, derelerdeki

sediment miktarının kontrol altına alınması, habitat bozulmalarının azaltılması, kimi yaban hayvanları için gerekli olan yaşam alanlarının devamının sağlanması ve görsel kalitenin kaybolmasının önlenmesi gibi çevresel ve ekolojik koşulların sürekliliğini sağlamak imkansızlaşır (Church vd. 1998; Kurttila 2001; Malchow-Moller vd.2004).

Herhangi bir planlama birimindeki üretim etkinlikleri çoğunlukla komşu üretim birimlerini ve diğer orman alanlarını da etkilemektedir. Örneğin, bir üretim birimi veya meşcerede yapılan tıraşlama kesimi, komşu meşcere (bölmeçik) veya üretim biriminde rüzgar zararı, drenaj problemleri, gövde veya kabuk yaralanmaları ve yetiştirme ortamının bozulması gibi olumsuzluklara neden olabilmektedir (Snyder ve Revelle 1996; Tarp ve Helles 1997). Benzer şekilde, üretim (kesim) alanlarının coğrafi büyüklüklerinin artması durumunda başarısız gençleştirme, erozyon tehlikesi, görsel kalitede bozulma ve biyolojik çeşitliliğin kaybolma tehlikesi yada riskini artırmaktadır. Aksine, üretim alanlarının küçültülmesi bir taraftan gençleştirmede kontrol mekanizmasını güçlendirse de, öte yandan ekonomik işletmeciliği zayıflatmakta ve parçalı orman ekosistem yapısının oluşumuna neden olmaktadır. Bu nedenle, gençleştirme alanlarının küçük yada büyük olması durumundaki olası orunları ortadan kaldırmak yada en aza indirmek amacıyla üretim alanlarının büyüklüklerinin ve konumsal dağılımlarının kontrole edilmesi gerekmektedir.

Ancak, konumsal özelliklerin, işletme amaçlarıyla beraber, çok yönlü bir orman amenajman modelinde bütünleştirilmesi oldukça güçtür. Konumsal özelliklerin plana aktarılması denildiğinde; modelde, plan üniteleri (kesim-bakım blokları gibi silvikültürel işlem birimleri) büyüklüğü, şekli ve komşuluk ilişkilerinin bütünleştirilerek zamansal boyutta kontrol edilmesi, yani konumsal içerikli üretim düzeninin kurulması anlaşılır. Örneğin, üretim bloklarının maksimum ve minimum büyüklükleri belli sınırlar çerçevesinde tutulabilir, mevcut ve tahmini yol ağına uygun kesim blokları düzenlenebilir ve/veya komşu üretim bloklarının ardışık periyotlarda üretime alınması yahut işlem sürelerinin ertelenmesi etkin şekilde plana aktarılabilir. Su üretimini yahut erozyonu doğrudan etkileyen meşcerelerin bir su toplama havzasındaki nispi konumsal ilişkileri planlamaya aktarılabilir. Tüm bu ve benzer konumsal ayrıntılar giderek çeşitlenen işletme amaçlarının gerekli unsurlarıdır (Başkent vd., 2005).

Benzer şekilde, doğal yaşlı orman alanlarının parçalanmasının azaltılması, anahtar habitatlar etrafında kesilmeden bırakılan alanların sürekliliği, önemli habitatlar arasında koridor veya geçişlerin oluşturulması, farklı işletme etkinliklerinin ekonomik analizinin gerçekleştirilmesi, orman ekosistemlerinin konumsal yapısındaki gelişim ve değişimlerin

izlenmesi gibi ekolojik, ekonomik ve sosyal amaçların karşılanması için farklı üretim stratejilerinin konumsal olarak değerlendirilmesi yönünde çalışmalar artmıştır (Öhman, 2001).

Uluslararası düzeyde hazırlanan Konumsal Karar Destek Sistem (KKDS)'lerin de bazı konumsal parametrelerin; kesim bloğu büyüklüğü ve erteleme süresinin (Boston ve Bettinger, 2006; Baskent, 1999.b; Baskent vd., 2001), orman yollarının (Murray ve Church, 1996; Nelson ve Brodie, 1990), yaban hayatı koşullarının (Bettinger vd., 2003; Bettinger vd., 1997) ve bazı konumsal yapı indekslerinin (Heinonen vd., 2007) planlara yansıtılmasına çalışılmıştır. Ancak, bu çalışmalarda aynı anda farklı konumsal parametreleri çok amaçlı planlara yansıtmakta yetersiz kalınmış ve planlamaya etki eden konumsal parametreler bir bütün olarak ele alınmamış, tüm orman fonksiyonları çakıştırılarak ortaya çıkan en küçük konumsal müdahale birimi bazında uygulamaya yönelik planlar üretilmemiştir.

Ülkemizde ise, orman amenajman planları kalkınma planlarının ilk hazırlanmaya başladığı 1963 yılından itibaren 10 veya 20 yıllık periyotlarla düzenlenmektedir. Günümüze gelinceye kadar envanter ve teknik ormancılık uygulamalarında bir takım gelişmeler olmasına rağmen, odun üretimi eksenli geleneksel ormancılık anlayışından öteye tam anlamıyla geçilememiş, hazırlanan planlarda konumsal düzenlemelere yer verilmemiştir. Genelde klasik planlama sistemi özelde ise Akdeniz Orman Kullanım Projesi, Münferit Planlama, Fonksiyonel Planlama adları altında model amenajman planlama sistemleri geliştirilmiş ve uygulamaya aktarılmıştır. Hazırlanan orman amenajman planlarında ana amaç, en yüksek odun hâsılatı elde etmek ve bunun sürekliliğini sağlarken, envanter amaçları da bu doğrultuda belirtilmiştir. Orman ekosistemlerinin sunmuş olduğu diğer ürün ve hizmetler (fonksiyonlar) sayısal olarak belirlenmediği gibi, bunlara bağlı koruma hedefleri ve işletme amaçları, öncelikleri ve ağırlıkları da tespit edilmemiş, orman ekosistemini bir bütün olarak ele alıp konumsal düzenleme yapılmadığı görülmektedir (Köse ve Başkent, 2003; Yolasığmaz vd., 2005; Keleş, 2008). Son beş yıllık dönemde ise, çok amaçlı planlama yaklaşımı değişim ve gelişim göstererek, ekosistem, biyoçeşitlilik ve katılımcılık altlıklarını da alarak, Ekosistem Tabanlı Çok Amaçlı (Fonksiyonel) Planlama (ETÇAP) adını almıştır. Bu gelişmelere bağlı olarak; ülkemiz ormancılık politikalarını, amenajman yönetmeliğini, ülkenin sosyo-kültürel yapısını dikkate alan, bilişim teknolojilerinin etkin şekilde kullanıldığı, konumsal parametre ve parçalılık indekslerin planlara yansıtılabildiği konumsal orman amenajman

planlarının modern planlama yaklaşımına göre düzenlendiği uygulanabilir bir plan hazırlamak için Konumsal Karar Destek Sistemine (KKDS) gereksinim duyulmaktadır.

Ülkemizde, gelişmiş ülkelerdeki orman amenajmanı planlaması alanında yaşanan gelişmelerden hareket ederek, gerek akademik çalışmalarla ve gerekse ormancılık teşkilatındaki çalışmalarla/projelerle bilişim teknolojileri ve yöneylem araştırması tekniklerinin etkin şekilde kullanıma açıldığı görülmektedir. Ülkemizde orman amenajman plan yapım sürecinde yöneylem araştırması tekniklerinin ilk kullanımı Soykan (1979) tarafından gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada, eşit yaşlı ormanlarda idare sürelerinin optimizasyonunda doğrusal programlama yöntemi, optimal kuruluşların belirlenmesinde de simülasyon yöntemi kullanılmıştır. Yararlanmanın düzenlenmesinde Kademeli Simülasyon Modeli (KASİMOD), Seçimlik Simülasyon Modeli (SESİMOD) ve Grafiksel Simülasyon Modeli (GRASİMOD) adı verilen üç adet simülasyon modeli geliştirilmiştir. Köse (1986) tarafından Trabzon Meryemana Araştırma Ormanında MERAPMO 1 (Meryemana Araştırma Ormanı Planlama Modeli 1) ve MERAPMO 2 (Meryemana Araştırma Ormanı Planlama Modeli 2) olmak üzere iki adet planlama modeli amaç programlama yöntemine göre tasarlanmış ve yazılımı geliştirilmiştir. Gül (1990), Basic programlama dili kullanarak orman amenajman planlarını düzenleyen bir yazılım geliştirmiştir. Mısır (2001), nesne tabanlı bir programlama tekniği ile amaç programlama tekniğini kullanarak çok amaçlı bir orman amenajmanı planlama modeli geliştirmiştir. Torul orman işletmesi Karanlıkdere planlama biriminde Keleş (2003) tarafından orman ekosistemlerinin su üretim fonksiyonunu, Karahalil (2003) tarafından ise toprak koruma fonksiyonlarını doğrusal programlama tekniği ile amenajman planlarına entegre edilmişlerdir. Artvin planlama birimi Yolasığmaz (2005) tarafından, ETÇAP anlayışı kapsamında doğrusal programlama tekniği kullanarak uzun vadeli amenajman plan senaryoları geliştirmiştir. Sivrikaya (2008), klasik (sezgisel) planlama tekniğini CBS teknolojileri ile entegreli kullanmak suretiyle orman ekosistemlerinin çok amaçlı planlanması için, yürürlükteki orman amenajman yönetmeliğine uygun bir yazılım geliştirmiş ve test etmiştir. Keleş (2008) tarafından, ETÇAP planlama yaklaşımı temel esaslarını dikkate alan, ülkemiz teknik, ekosistemin tüm öğelerini bir bütün olarak kabul eden, Türkiye ormancılık politikası, mevzuat ve sosyo-kültürel koşullarına uygun Karar destek sistemi (KDS) tasarımı ve yazılımı geliştirilmiştir.

Akademik anlamdaki amenajman planı model yazılım denemelerine paralel olarak, küresel bir boyut kazanan sürdürülebilir orman işletmeciliği kavramını yakalayabilmek için, orman teşkilatı da çeşitli ulusal ve uluslararası düzeyde projeler geliştirmiştir.

Bunlardan ilki 1972 yılında Akdeniz Orman Kullanım Projesi kapsamında geliştirilen makineli üretime dayalı sistemdir. Bir diğer proje, 1998 yılında OGM ile Finlandiya'nın Enso Forest Development Oy. Ltd.'nin ortak çalışması olan Orman Kaynakları Bilgi Sistemi (FRIS) projesidir. Proje kapsamında FRIS isimli bir yazılım ülkemiz koşullarına göre düzenlenmiştir. Bu program, sadece bilgisayar yazılımı olmaktan öte, geniş bir alana yayılmış bir sistemin kullanıcı ara yüzüdür. FRIS, genelde meşçere simülasyon ağırlıklı bir program olup CBS veri tabanı altlığını kullanmasına rağmen konumsal bir planlama modeli özelliği taşımamaktadır.

Günümüzde orman amenajman planları klasik (sezgisel) yöntem ile yapılmakta, planlayıcı yada karar vericinin bilgi, beceri ve tecrübesi dahilinde gençleştirme alanlarına karar verilmekte, uzun ve kısa vadeli bir konumsal düzenlemeyi içermemektedir. Her ne kadar doğrusal programlama, amaç programlama ve simülasyon tekniği kullanılarak yapılmış çalışmalar bulunsa da, bu planlar konumsal düzenlemeler içermediğinden doğrudan uygulamaya aktarılamamakta, konumsal parametre ve parçalılık indekslerini planlamaya yansıtamamaktadır. Diğer bir ifadeyle alanda, yapılacak müdahalelerin konumsal dağılımları ve diğer orman alanlarının buna bağlı olarak zamansal olarak kontrolü yapılmamaktadır. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar doğrudan uygulamaya aktarılabilecek nitelikte değildirler. Bunların doğal sonucu olarak;

- Planlamaya bir bütün olarak sistem anlayışı ile yaklaşamamakta ve sıralı (hiyerarşik) planlama sistemi benimsenememektedir,
- CBS destekli alan envanteri ve konumsal düzenleme yeterli düzeyde yapılamamakta, sadece “veri tabanı” olarak kullanılmakta ve CBS gibi çağdaş bilgi sistemlerinden yeterince yararlanılmamaktadır,
- Meşçere bazında bilgilerin Uzaktan Algılama (UA) ve CBS ile etkin bir şekilde planlara/modellere yansıtılamamaktadır,
- Model kullanılarak hazırlanan planlar standart ekonomik yorum ve analizler içermesine rağmen, konumsal parametrelerin ekonomik etkileri planlara yansıtılamamaktadır,
- Uygulanmadaki orman amenajman planları daha çok taktiksel yapıda olup, uzun vadeli stratejik planlar ile orta vadeli taktiksel ve kısa vadeli operasyonel planlar arasında eşgüdüm sağlanamamaktadır,
- Hazırlanan klasik planlarda, gençleştirme alanlarının birbirlerine göre nispi konumsal dağılımı tamamen planlayıcının tecrübesine bağlı olmakta, her hangi bir

bilimsel temele dayanmamakta, gençleştirme alanları dışındaki ormanlık ve diğer alanların konumsal dağılımı da dikkate alınmamaktadır,

- Optimizasyon teknikleri kullanılarak en iyi çözüm sonucuna ulaşılsa da aynı bölmeciklerin birden fazla plan periyodunda kesime tabi tutulabileceğinden, bölmecikler parçalanarak kesirli sonuçlar ortaya çıkacaktır,
- Simülasyon ve optimizasyon tabanlı modellerde, konumsal özelliklerin kullanılmaması nedeniyle çok büyük alanların gençleştirmeye açılabilceği gibi, periyodik olarak gençleştirme alanlarının konumsal dağılımı da kontrol edilemeyecektir. Bu nedenle, geleneksel modeller ile konumsal düzenleme yapılması zordur. Bu durumda, tamsayı programlama tekniği kullanılsa bile, karar değişkeni sayısı aşırı derecede artacağından özellikle çok fonksiyonlu ve geniş alanları kapsayan planlama birimlerinde modelin çözümü zorlaşacaktır,
- Planlama yörüngesi boyunca ve sonunda oluşacak olan orman parçalarının alan büyüklüğü yanında, şekli ve coğrafi dağılımı ile birlikte tanımlanabilen her orman parçasının (bölmecik, doğal yaşlı orman, yaş sınıfı, yaban hayatı yaşam alanı-habitat vb) konumsal özellikleri ve parçalılık indeks değerleri (ortalama parça büyüklüğü, parça sayısı, parça yoğunluğu gibi) planlamada temsil edilmemektedir.
- Hazırlanan planlar modelleme tekniği kullanılmasına rağmen, ekosistem tabanlı planlamanın gereği olan farklı orman fonksiyon ve yapısının sürdürülebilirliğini dikkate alacak detayda konumsal özellikleri içermemektedir. Örneğin, yangına hassas bir orman ekosisteminde, parçalı bir orman yapısı oluşturmayı ve parça büyüklüğünün belli değerler arasında tutulmasını sağlamayı yada yaban hayatı için koridor oluşturmayı veya önemli bir ekosistemde 100 ha orman alanında en az 10 ha orman içi açıklık yada doğal yaşlı orman oluşturmayı gerekli kılacak bir konumsal düzenleme yapılmamaktadır.

Bu sebeplerden dolayı stratejik düzeyde (konumsal olmayan bazda) ve taktiksel düzeyde (konumsal bazda) planlar arasında entegrasyon sağlayacak ve uygulanabilir en iyi kesim düzenini ortaya koyacak bir ekosistem tabanlı konumsal orman amenajman model tasarımı ve yazılımına ihtiyaç duyulmaktadır.

Temelde bu sorunların çözümüne yönelik olarak gerçekleştirilen bu çalışma, sistem yaklaşımı çerçevesinde ETÇAP yaklaşımı prensiplerini dikkate alan, bilişim teknolojileri ve yöneylem araştırması teknikleri ile nesne tabanlı bir konumsal planlama modeli

(ETÇAPKombine) tasarımının ve uygulamasının geliştirilmesini hedeflemektedir. Konumsal planlama model tasarımı; CBS tabanlı konumsal verilerin ve bölmecik bazında komşuluk ilişkileri baz alınarak, optimal karar verme teknikleri yardımıyla hazırlanmış stratejik ve taktiksel düzeyde seçenekleri kullanarak, uygulanabilir bir konumsal orman amenajman planı kavramını içermektedir. Geliştirilen konumsal planlama modeli, Türkiye ormancılık politikası, mevzuat ve sosyo-kültürel koşullarına uygun bir şekilde uygulanabilir özelliğe sahip olacak ve dolayısıyla ormancılık sektöründe yaygınlaştırılması gündeme gelebilecektir. Bu sayede, orman amenajman planları-modelleri artık sezgisel karar verme yöntemleri yerine, konumsal özellikleri de dikkate alan uzun vadeli stratejik, orta vadeli taktiksel ve ileride de kısa vadeli uygulama planlarının bütünleştirildiği bir süreçte hazırlanacaktır.

Hazırlanan tez çalışmasının; birinci bölümü olan teorik kısmında orman amenajmanı, konumsal planlama ve sezgisel karar verme teknikleri ile doğrudan bağlantılı olan diğer teknik kavramlar tanıtılmıştır. Uygulama ayağının ele alındığı ikinci bölümde, konumsal simülasyon modeli ve ETÇAPKombine modelinin geliştirilmesi için gerekli analiz ve tasarım aşamaları, konumsal planlama modelinin genel yapısı (veri tabanı kurulması, konumsal özelliklerin belirlenmesi, ceza fonksiyonları gibi) tanıtılmıştır. Simülasyon ve kombine optimizasyon tekniklerine dayalı geliştirilen konumsal planlama modelinin arayüz programı ile bu modelin hipotetik ve gerçek bir planlama birimindeki pilot uygulaması bulgular kısmında ele alınmıştır. Sonuçlar bölümünde ise, elde edilen sonuçlar, karşılaşılan darboğazlar ve bunların aşılmasında izlenecek yaklaşımlar ve ilerideki yapılacak çalışmalara yönelik değerlendirmelere yer verilmiştir.

1.2. Temel Kavramlar

1.2.1. Ekosistem Tabanlı Çok Amaçlı Planlama Yaklaşımı

Ekosistem tabanlı çok amaçlı ya da fonksiyonel planlama (ETÇAP) anlayışı, toplumun katılımcı ilgisini sağlayacak birçok orman fonksiyonuna (orman değerine) sahip orman ekosistemlerini sayısal bazda tanımlayacak ve kontrol edecek planlama stratejilerinin tasarım ve uygulanmasını ifade etmektedir. Bu anlayış, biyoçeşitliliğin korunmasını ve sürdürülebilir kullanımın orman ekosisteminin üretim, yenilenme kapasitesi, canlılık ve bu ekosistemlerinin uzun vadeli dengesine zarar vermeden onların ekolojik, ekonomik ve sosyo-kültürel fonksiyonlarından azami düzeyde sürdürülebilir

yararlanmaya odaklıdır (Başkent vd., 2004).

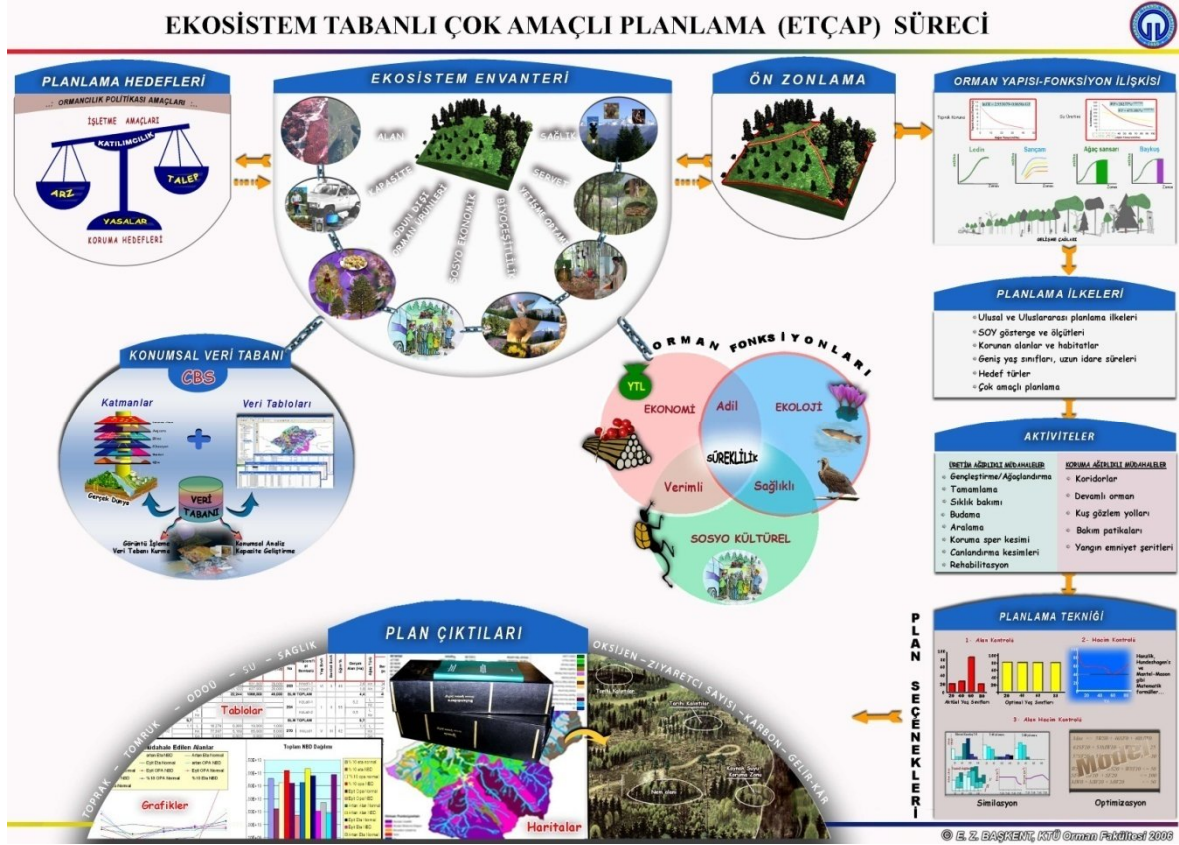
ETÇAP yaklaşım sürecinin geleneksel planlamadan bir hayli kapsamlı olduğu görülmektedir. İlk olarak, çok amaçlı planlama anlayışı, biyolojik çeşitlilik (BÇ) ve orman değerlerini yansıtan ayrıntılı ve kapsamlı bir orman envanter sürecini kullanır. İkinci olarak, bu yaklaşım uygulanabilir bir orman amenajman planının hazırlanmasında hayati öneme sahip ilgi ve çıkar gruplarının (paydaşların) etkin katılımını sağlar. Üçüncü olarak, bu yaklaşım, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve uzaktan algılama ile destekli konumsal veri tabanını kullanır. Dördüncü olarak, koruma hedeflerini ve işletme amaçları paydaş beklentileri ve potansiyel orman fonksiyonlarına göre belirlenir. Beşinci aşamada, silvikültürel müdahaleler biyolojik kanuniyetlere ve orman fonksiyonlarına karşılaştırılır. Son olarak, uygun planlama tekniklerinin kullanılması ile geliştirilen plan seçeneklerinde en iyisinin seçilmesini belirlemeyi hedefler. Böylece, ortaya çıkan planlama yaklaşımı ile plan çıktıları tablo, grafik, metin ve harita formatında oluşturulur ve performans göstergeleri olarak plan başarısı ölçülür (Başkent vd., 2005a). Özellikle son dönemde ülkemizde Türkiye koşullarına uygunluğu üzerinde çalışmaları yoğunlaşan ve prensipte ormancılık sektörü tarafından da benimsenen bu planlama anlayışının işlem aşamaları sırasıyla Şekil 1’de verilmiştir (Başkent vd., 2005):

- Planlama hedefleri ile işletme amaçları ve koruma hedeflerinin ortaya konulması: Orman ekosisteminden beklenen işletme amaç, hedef ve kısıtlayıcı koşulların (bütçe, zaman ve işgücü gibi) belirlenmesi. İşletme amaçları, ekonomik gelirin maksimizasyonu olduğu gibi orman ekosisteminin biyolojik bütünlüğünün sürdürülmesi ve geliştirilmesi şeklinde koruma hedefleri olarak da belirlenebilmektedir. Burada en önemli husus, işletme amaçlarının ulusal ve uluslar arası amaçlar - hedefler ile birlikte yasal bir zeminde ve paydaşların da katılımı ile toplumun beklenti ve ihtiyaçlarına karşılayacak şekilde belirlenmesi gerekliliğidir.
- Orman ekosistem envanteri: Orman ekosistemlerinin yapı ve kuruluşunun ortaya konulması ile birlikte, ekosistemi oluşturan öğelerin alan, topografya (eğim, bakı ve yükselti), yetişme ortamı ve toprak tiplerinin belirlenmesi başta olmak üzere, yol ulaşım ağı, yaban hayatı kaynakları, odun dışı ürünler ile diğer ekonomik-ekolojik-sosyal değerlerin belirlenmesidir. Ayrıca, orman ekosisteminde ki geçmiş ve mevcut işletme faaliyetleri ve orman ekosisteminde geçmişte meydana gelmiş yangın, hastalık, böcek ve aşırı otlama gibi her türlü doğal ve

sosyal müdahalelerin etkileri ile ilerde meydana gelebilecek olası riskler şeklinde orman ekosistemi tanımlanmaktadır.

- Orman ekosistemlerinin sınıflandırılması: Orman amenajman planının hazırlanmasında etkili olan paydaşların (sivil toplum kuruluşları, devlet organları, meslek odaları ve yerel halk) ortak katılımının sağlanması ile konumsal veri tabanının kullanılarak orman ekosisteminin fonksiyonel ayırımının yapılmasıdır.
- Amaç ve orman yapı ve kuruluşu arasındaki bağın kurulması: Orman ekosistemlerinin topluma sunduğu ekolojik, ekonomik ve sosyo-kültürel değerler (fonksiyonlar) doğrudan ormanların yapı ve kuruluşu ile bağlantılıdır ve bu bağın ortaya konulması esastır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, her bir fonksiyonun (ürün ve hizmet) birim alandaki üretim/hizmet değerinin mevcut durum ve gelecekteki miktarının ortaya konularak işletme amaçlarıyla ilişkilendirilmesidir.
- Planlama ilkeleri, uluslar arası gereklilik ve yasal zemine uygun olarak ortaya konur: Ulusal ve uluslar arası çağdaş ormancılık prensipleri ve gelişen ve değişen toplum gereksinimleri dikkate alınarak, mevcut yasal düzenlemelere göre planlar hazırlanmaktadır.
- Her bir koruma-kullanım şekli için uygun silvikültürel müdahale şeklinin belirlenmesi: Orman ekosistemlerinden en uygun yararlanma şekline göre sebep-sonuç ilişkilerini sayısal olarak kavranır. Sürdürülebilir orman işletmeciliğinin başarısı, işletme stratejisinin doğal dinamik yapıya uygunluk yeteneğine veya işletme amacına göre doğal süreçleri başarıyla işlemesine yani silvikültür tekniklerinin ustalıkla kullanılmasına bağlıdır. Yapılacak olan silvikültürel müdahale rejimlerinin orman dinamiğinin değişimini nasıl etkilediği ortaya konulur.
- Çok amaçlı faydalanmaya yönelik alternatif plan seçeneklerinin üretilmesi ve bunlar arasından en uygun olanının seçilmesi: Ekosistem tabanlı çok amaçlı planlamanın etkin bir şekilde gerçekleştirilmesi için, planlama probleminin yapısına bağlı olarak, en uygun karar verme tekniğinin seçilmesi ve farklı amaç, hedef ve kısıtlayıcı koşullara göre çok sayıda planlama alternatifleri üretilir. Üretilecek olan farklı planlama alternatiflerinden belirlenen işletme amaçlarına en uygun olanı seçilir.

- Amenajman plan çıktılarının hazırlanması: Burada belirlenen en iyi planlama alternatifini, amenajman plan yazım formatına uygun olacak şekilde plana/yazıya dökülür ve uygulamaya aktarılır.



Şekil 1. ETÇAP sisteminin genel yapısı, yazım süreci ve bileşenleri

1.2.2. Orman Dinamiği

Orman dinamiği denilince, farklı yapı ve büyüme seyrine bağlı (yapı-kuruluş, gelişme çağları ve yetiştirme ortamı) çok sayıda meşcere tiplerinin oluşturduğu bir orman alanının gerek insan müdahalesiyle ve gerekse doğal müdahaleler nedeniyle zamana ve mekana göre kuruluş ve diğer özelliklerinin değişmesi anlaşılmaktadır. Belirli bir zamanda, örneğin, bir ormanda toplam meşcerelerin yarısı gençlik çağında olabildiği gibi, diğer yarısı da kalın ağaçlık çağında olabilir. İnsan müdahalesinin olmadığı varsayılan bu ormanda yaşlı meşcereler bir kaç periyot sonra genç meşcerelere, genç meşcereler de kendilerini olgun meşcerelere bırakacaktır. Dolayısıyla, çok basite indirgenmiş bu örnekte görüldüğü gibi, zamanla ormanın kuruluşu ve yapısı farklı olacağından sunacağı

fonksiyonların miktarı ve etkinliği de değişecektir. Bu durum da ormandan uzun vadeli faydalanmanın düzeyini doğrudan etkileyecektir. Ormana insan müdahalesi (gençleştirme, kaçak kesim, bakım, ağaçlandırma, koruya tahvil gibi) ve diğer yangın, fırtına, kar ve böcek gibi doğal olayların eklendiği, orman dinamiğinin daha karmaşık bir seyir çizdiği görülür. Dolayısıyla, planlamada orman dinamiğinin ya da sebep-sonuç ilişkilerinin kavranması gerekmektedir. Bu durumda, ancak ormanın sunabileceği mal ve hizmet arzının zaman ve mekana göre isabetli projeksiyonu yapılabilecek ve gerçeğe daha 'yakın', uygulanabilir, isabetli amenajman planları hazırlanabilecektir (Başkent, 1999.a).

Orman ekosistemlerinin doğal gelişim seyri, sürekli olarak içten ve dışarıdan müdahalelere maruz kalmakta, bu müdahalelerin etkisiyle zamanla yapı ve fonksiyonlarında değişimler/bozulmalar meydana gelmektedir. Orman ekosistemlerine yapılan doğrudan veya dolaylı müdahaleler çoğunlukla silvikültürel müdahalelerden kaynaklanmaktadır. Aynı zamanda orman ekosistemlerinin yapı, kuruluş ve fonksiyonları üzerinde iklimik faktörler, cansız yetişme ortamı koşulları, yangın, böcek ve küçük mikroorganizmalar gibi doğal olaylar veya müdahaleler de önemli etkilere neden olmaktadır. Orman ekosistemlerinin dinamik yapısı ve sunduğu değerler üzerinde etken olan silvikültürel müdahaleler, orman ekosistemlerinin yapı ve kuruluşunu belirleyen ve aynı zamanda faydalanmayı gerçekleştiren araçlardır (Başkent vd., 2002). Planlama yörüngesi boyunca her bir meşcereye uygulanabilecek alternatif müdahaleler mevcut durum, uygulanabilirlik, belirlenen silvikültürel amaçlar ve orman işletme amaçları doğrultusunda belirlenir. Ormana yapılacak müdahaleler sonucunda, orman yapısının dolaylı olarak sunduğu çıktılarının (ürün ve hizmetlerin) nasıl bir seyir ilettiği bilinmelidir. Bu durumda, ancak en iyi çıktıyı sağlayan müdahale listesine karar verilebilir. Sebebinin bilinmediği bir etkinliğin sonucunu da bulmak zordur. Dolayısıyla, ormanda bir sebep-sonuç ilişkisi kurularak ormanın zamana bağlı değişiminin seyri algılanır ve böylece ancak uygun / en iyi plan seçeneğine karar verilir.

1.2.3. Hiyerarşik (Sıralı) Planlama

Orman amenajmanı bir karar verme süreci olduğu için kararların alınması da bu süreç içerisinde zaman ve mekana, hassasiyete ve ölçüğe göre şekillenen sıralı bir yapı çerçevesinde gerçekleşmektedir. Belirli bir konu bakımından ele alındığında planlamanın genel olarak zaman ve ölçek (süre ve kapsam) itibarıyla ekonomik işletmecilik ve diğer

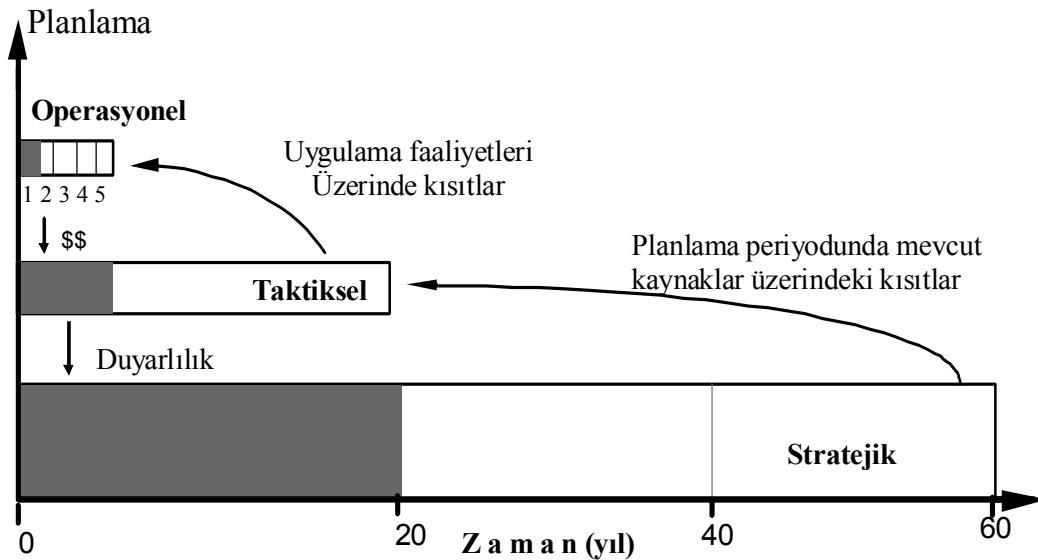
ormancılık ilkeleri gereği belirli bir yapıya oturtulması gerekmektedir (Başkent, 1995; Gunn, 1991; Eraslan, 1982). Başta süre olmak üzere, diğer bir takım planlama karakteristikleri dikkate alındığında, orman amenajman planlamasının hiyerarşik bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Genel olarak, her türlü karar verme sürecinin incelenmesi için belli bir çerçeve çizilir. Genellikle gerçek sistemler dinamik yapıda olup gerek zaman aralığı, gerek süreç ve gerekse de karar verici açısından belirli kesin bir sınır ile bölünemez iseler de, bir dinamik sistem hakkında verilecek kararları üç kategoriye ayırarak irdelemek karar verme sürecini ve etkinliğini daha iyi kavramak için gerekli bir yaklaşımdır. Bu hiyerarşik yapı stratejik, taktiksel ve operasyonel olmak üzere üç temel düzeye ayrılmaktadır (Weintraub ve Cholaky, 1991; Gunn, 1991; Başkent ve Keles, 2005; Sessions ve Bettinger, 2007).

Stratejik planlamada, orman kaynaklarının zaman ve konum itibarıyla miktarı tespit edilir, tahsisi yapılır ve zaman (en az bir buçuk idare süresi) ve konum boyutunda sürekliliği araştırılarak sonuç taktikal planlamaya kısıtlar olarak iletilir (Şekil 2). Zaman, bir planlama birimindeki ağaç türlerine bağlı olarak genellikle baskın ağaç türünün idare süresinin bir veya katı uzunluğundadır (Weintraub ve Cholaky, 1991; Martell vd., 1998; Sessions ve Bettinger, 2007). Alınan kararlar tamamen 'ekonomik' açıdan verilmezler ve genellikle çok yönlü ya da kriterli olup, hayli riskli ve belirsizdirler. Kararlar, genellikle ileride nasıl olabileceği ve işletme yetkililerin kendilerini nasıl görmek istedikleri şeklindedir (Başkent 1999.a).

Taktiksel planlama, daha kısa süreli (örneğin bir periyot) ve detaylı olduğundan, stratejik hedeflere ulaşmak için gerekli işlemler dizinini gerçekleştirerek uygulama faaliyetlerinin hareket sınırlarını çizer. Zamana bağlı olarak detaylı uygulama faaliyetlerin belirli bir arazi üzerinde, örneğin kesim ve silvikültürel işlemlerin ya da müdahalelerin nasıl yapılacağı, yıllık veya mevsimlik olarak planlanmaktadır (Van Raffe, 2000; Başkent ve Keles, 2005; Sessions ve Bettinger, 2007). Taktiksel planlamanın en azından üç yönü bulunmaktadır. Birincisi, beklenen geliri en yüksek derecede tutmak kaydıyla uzun vadedeki odun üreten endüstrilerin ihtiyaçlarını ya da arzını garanti altına almaktır. Bu üretim problemi, sadece genel anlamda odun miktarını değil, aynı zamanda bu ürünün uygun kategorilere göre de (yapraklı, iğne yapraklı, kerestelik, kaplamalık, kağıt üretimi gibi) dağılımını dikkate alır. İkincisi ise, meşcere bazında kesim-bakım gibi her türlü teknik müdahaleleri içeren işlemleri kapsar. Burada, kesim bloklarının hazırlanması, yol ağının düzenlenmesi gibi konumsal düzenlemeler dikkate alınır. Üçüncüsü ise, gelirin en

yüksek olması için belirgin olarak nerelerde kesim-bakım yapılacağı ve elde edilecek ürünlerin çeşidine göre hangi işletme veya firmalara tahsis edileceği kararlaştırılır. Mevcut işgücü ve mekanizasyon, fabrika üretim planı, pazardaki mevsimlik değişiklikler ve stok edilmiş mamul ürünlerin işletimi gibi konularda buraya dahil edilebilir. Bu aşamada, bir üretim (kesim) ve silvikültürel müdahalelerin daha detaylı olarak orta vadede planlanmasını içerir (Başkent 1999.a).

Operasyonel (uygulama) planlar da, çok daha kısa süre ve alanda gerçekleştirilebilecek faaliyetleri belirleyerek bir bakıma ormanda bizzat yapılacak işlerin kesin zaman ve yerleri ve aynı zamanda yapılış şekli, iş gücü miktarı ve bunun arazideki seyri düzenlenir. Ormancılıkta uygulamaya yönelik kararlar genellikle aylık, haftalık hatta günlük gibi daha kısa süreli kararlardan oluşur. Bir uygulamalı karar ilgili taktiksel planın, biraz değişiklik yapılmak suretiyle, izleyen periyottaki uygulamaya aktarılmasının kararlaştırılmasıdır. Bu planlar, kesim grubunun veya işçi postasının ve ilgili makinaların meşcerelere göre hazırlanması, makina bakım programı, taşıma için araba tahsisi ve programı, ürün çeşitlerinin sınıflandırılması ve fabrika üretim programı, kesim optimizasyonu ve diğer bir dizi işlemleri içerir. Kısaca, uygulama aşamasındaki karar verme işlemleri genellikle belirli bir işletme için hayli belirgin ve detaylı olup planların riski ve belirsizliği daha düşüktür (Başkent 1999.a).



Şekil 2. Hiyerarşik planlamanın orman amenajmanına yansımaları ve ileri-geri bilgi iletimi (Başkent, 1996)

Hiyerarşik yaklaşımla, karmaşık sistemler parçalanarak daha küçük bölümler halinde

anlaşılabilir şekilde modellenmeye çalışılmakta ve planlamaya dinamiklik kazandırılmaktadır. Sistemde elemanlar arasında fonksiyonel ilişki kurulur ve sisteme etki eden unsurlar daha uygun bir şekilde lokalize edilerek etki alanlarının tespit edilmesi ve dolayısıyla çözüm önerilerinin getirilmesi daha da kolaylaşır. Gelişen teknoloji ve coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla hiyerarşik planlar arasında uyum sağlanabilmekte, bilgi akış trafiği düzenlenebilmekte ve orman amenajman modelleri hiyerarşik yapı içerikli tek bir bütünleşik modelde toplanabilmektedir (Başkent, 1995; Başkent, 1996.a). Stratejik düzeyde optimizasyon ya da simülasyon tekniği ile çözülmüş modellerin, kombine optimizasyon teknikleri ile kısa vadeli (taktiksel) plan olarak düzenlenmesi aşamasında konumsal özellikler planlara dahil edilmektedir. Bu şekilde, hazırlanan taktiksel planlar konumsal plan özelliği taşımakta ve uzun vadeli stratejik planlardan belli oranlarda taviz vermek suretiyle konumsal düzenlemelere yani konumsal parametre ve parçalılık indekslerinin planlara yansıtılmasına izin vermektedir. Hazırlanan konumsal planlar, hem kısa vadeli taktiksel düzeyde, hem de uzun vadeli stratejik düzeyde konumsal düzenlemeleri içermektedir.

1.2.4. Orman Amenajmanında Modelleme

Modelleme, herhangi bir nesne, olay veya süreci sistem olarak ele alıp, söz konusu sistemin elemanlarını ve aralarındaki ilişkilerini belirli bir düzen dahilinde matematiksel semboller, kelimeler, şekiller veya işaretler ile tanımlama olayıdır. Modeller sistemi temsil etme şekline göre farklı biçimlerde olabilir, ancak her modelin ortak hedefi, sistemin işleyişi hakkındaki düşünce ve teorileri daha uygulamaya aktarmadan test etmeye yaramasıdır. Orman ekosistemlerinin karmaşık dinamik yapısının daha iyi kavranması ve anlaşılmasında modeller ve modelleme teknikleri kullanılmaktadır. Örneğin bir ağacın, bir meşcerenin ya da bir orman ekosisteminin belirli bir süre sonundaki durumunu bilmek veya görmek çok zordur. Dolayısıyla orman ekosistemlerini anlamak, bu sistemler hakkında doğru tahminler yapmak ve sistemin sunmuş olduğu değerlerden, sistemin sürekliliği çerçevesinde optimal olarak faydalanmak için ormancılıkta ve orman amenajmanında modelleme kullanım gereksinimi bulunmaktadır (Başkent, 2004).

Ormanın dinamik yapısını planlama yörüngesi boyunca tahmin edilmesi, karar verme sürecinde alternatifler oluşturulması, müdahaleler karşısında orman ekosistemlerindeki değişikliklerin izlenmesi, orman ekosistemlerinin sunduğu hizmet ve ürünlerin zamana

göre seyrinin takip edilmesi ve dolayısıyla en iyi ve uygun planların yapılmasında farklı modelleme teknikleri kullanılmaktadır. Bu tekniklerin her birinin diğer tekniklere kıyasla avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Modelleme tekniklerinin kullanılması ile, planlama aşamasında çok sayıda planlama stratejisinin türetilmesi ve bunlar arasından amaca göre en uygun alternatifin seçilmesi en önemli avantajını oluşturmaktadır. Ekosistem tabanlı çok amaçlı planlama da simülasyon, optimizasyon, konumsal simülasyon ve kombine optimizasyon modelleme teknikleri kullanılmaktadır.

1.2.4.1. Simülasyon Modelleri

Simülasyon, teoriksel yada gerçek fiziksel bir sisteme ait neden sonuç ilişkilerinin bir bilgisayar modeline yansıtılmasıyla, değişik koşullar altında gerçek sisteme ait davranışların bilgisayar ortamında izlenmesini sağlayan bir tekniğidir. Bir simülasyon modeli, temel olarak “ne-eğer” (“what-if”) analizlerinin yapılmasını sağlayan bir araçtır. Kullanıcısına değişik tasarım ve işletim stratejilerinin genel sistem performansı üzerindeki etkisini gösterir (Başkent, 2004). Simülasyon, deterministik ve stokastik simülasyon olmak üzere olarak ikiye ayrılır. Deterministik simülasyon, bir sistemin gelecekteki durumunun mevcut bilgilerden hareketle ortalama olarak tahmin edilebileceğini varsayar. Stokastik bir simülasyon modeli ise, bütün tahminlerin belirsizliğini açık bir şekilde kabul eder (Keleş, 2008).

Simülasyon, ormanın dinamik yapısının modellenmesinde önemli bir yer teşkil eden sezgisel bir yaklaşımdır ve karmaşık matematiksel kuramlardan uzaktır. Öncelikle, ormanın aktüel kuruluşu tanımlanır, işletme amaçları belirlenir, olası teknik müdahalelerin meşçereye yada analiz alanlarına uygulanma kuralları tespit edilir, her bir teknik müdahalenin uygulanacağı miktar ve eğer konumsal özellikleri de dikkate alan bir konumsal simülasyon yapılacak ise konumsal parametreler kullanıcı tarafından belirlenir. Bu işlemler yapıldıktan sonra, mevcut orman kuruluşu periyodik olarak “ardışık çözümle” belirlenen tüm konumsal ve diğer kısıtları sağlayacak şekilde planlama yörüngesi sonuna kadar kestirilir. Simülasyonda özgün belirleyici unsurlar, hedeflerin ve kuralların önceden belirlenerek her bir periyottaki çözümün diğer periyotlardan bağımsız olmasıdır, yani bir önceki periyottaki çözümün olası etkisi dikkate alınmamaktadır. Ancak, konumsal özellikleri içeren (açma alanı-erteleme süresi) konumsal simülasyon modelinde, gençleştirme alanlarına karar verilirken önceki periyotlardaki gençleştirilmiş alanlar

erterleme süresi kadar süre boyunca kontrol edilir.

Simülasyonun modelleri ile orman dinamiği zaman boyutunda daha iyi kavranmakta ve verilecek kararlar ise anlaşılır ve sebep-sonuç ilişkilerine dayandırılarak daha isabetli olarak verilebilmektedir. Fakat, Simülasyon yöntemi zaman içerisindeki periyotlar-arası mübadeleyi ele almakta yetersiz olduğu için optimal bir çözüm üretmez. Ayrıca aynı anda birden fazla amacın eniyilemesinde simülasyon modelleri yetersiz kaldığından etkin değildirler. Oysaki, orman amenajmanında birden fazla amaç yer almaktadır; bunların bir çoğu birbiriyle çelişmekte, konumsal özellik içermektedirler (belli ölçüde dikkate alınmakta) ve genellikle optimal ya da optimale yakın çözümler gerektirmektedirler (Başkent, 2004). Simülasyon modelinin ormancılık uygulamalarını, Andison ve Marshall 1999; Baskent ve. Jordan, 1991; Bettinger vd., 2005; Cieszewski vd., 2004; Gustafson ve Crow, 1996; Gustafsonvd., 2006; Hoganson ve Rose, 1984; Howard ve Nelson, 1993; Jamnick, 1990; Jordan ve Baskent, 1992; Li vd., 1993; Wightman ve Baskent, 1994; ve Keleş, 2008 çalışmalarında görmek mümkündür.

1.2.4.2. Optimizasyon Modelleri

Optimizasyon teknikleri, bir veya birçok amacı içeren optimal çözümler sunmakta ve karar vericiler tarafından doğal olarak daha cazip görünen modelleme teknikleridir. Optimizasyon tekniklerinin önemli özellikleri; planlamayı bir bütün olarak ele alması, çözüme sistematik yaklaşması ve optimal (en iyi) çözümü her zaman garantilemesidir. Modellemede daha önceden sayısallaştırılan orman kuruluşu, hasılat matrisleri ve potansiyel işletme tekniklerine göre uzun vadeli kestirim yapılabilmektedir. Öncelikle, burada planlama yörüngesi boyunca her bir planlama ünitesine uygulanabilecek bir alternatif müdahale listesi hazırlanır. Modelleme tekniği ise, hazırlanan bu listeden belirlenen amacı yahut amaçları eniyileyen tek bir seçeneği çözüm olarak belirler. Optimizasyonda dikkat edilecek önemli husus, planlayıcının potansiyel alternatif listesini hatasız ve kapsamlı hazırlayabilmesidir. Çünkü optimal çözüm, matematiksel formülasyonla ya da alternatif üretme ile doğrudan orantılıdır. Optimizasyon tekniğinin planlayıcıya sağladığı diğer bir fayda ise, elde edilen çözüme ilişkin ileri duyarlılık analizlerinin (ekonomik analiz) yapılmasına yardımcı olacak ek bilgilerin sunulmasıdır. Burada planlayıcı, çözümler üzerinde yapılabilecek değişikliklerin planlamaya olan etkilerini sayısal olarak belirleyebilmektedir ki bu da optimizasyonun sunduğu önemli bir

avantajdır (Başkent, 2004; Keleş, 2008). Optimizasyon tekniklerinin sunduğu duyarlılık analizi ile problem kapsamında zamanla meydana gelebilecek değişiklikler etkin bir şekilde incelenebilmekte ve alternatif kararlar üretilebilmektedir.

Orman amenajmanı planlama problemlerinin çözümünde en çok kullanılan optimizasyon teknikleri Doğrusal Programlama (DP), Amaç Programlama (AP) ve Tamsayı Programlamadır (TP). Doğrusal Programlama; amaç fonksiyonu ve kısıtlayıcıların doğrusal fonksiyonlar olarak yer aldığı problemlerin çözümü için kullanılan bir modelleme tekniğidir. DP modelinde yer alan kısıtlayıcılar eşitlik veya eşitsizlikler şeklinde olabilir. DP tabanlı modellerde, tek ve öne çıkan bir amaç eniyilenirken (ekonomik gelirin eniyilenmesi veya toprak kaybının en aza indirgenmesi gibi), diğer amaçlar (periyodik olarak eşit eta üretimi, karbon birikimi gibi) kısıtlayıcılar olarak modele dâhil edilir. DP modeli orman amenajman planlarının hazırlanmasında uzun zamandır kullanılmaktadır (Başkent vd., 2001; Borges vd., 1997; Chong ve Beck, 1991; Daust ve Nelson, 1993; Gassmann, 1989; Hof ve Joyce, 1992; Hoganson ve McDill, 1993; Murray ve Church, 1995a; O'Hara vd., 1989; Öhman ve Eriksson, 2002; Keleş vd., 2005; Keleş ve Başkent, 2006; Keleş ve Başkent, 2006).

Amaç Programlama (AP); birden fazla amacın yer aldığı karar verme durumlarında kaynakların en uygun tahsisini yerine getiren bir modelleme tekniği olarak öne çıkmaktadır. Genellikle orman kaynaklarının çok amaçlı planlanmasında birden fazla amaç söz konusu olup, çoğunlukla bu amaçlar birbiriyle çelişmekte veya çatışmaktadır. Günümüzde, orman ekosistemlerinin sunmuş olduğu değerlerden en uygun karışımın sağlanması temel amaçtır. Bu kapsamda amaç programlama, birden fazla amacı aynı anda dikkate alabilmektedir. Amaç programlama, DP modelinin farklı bir versiyonu olmasına rağmen, doğrusal programlama ile kıyaslandığı takdirde bazı üstünlük ve eksiklik/yetersizliklere sahiptir. Farklı birimlere (m^3 , ha, ton, TL) sahip olan birden fazla amacın amaç fonksiyonunda yer alması, istisnai durumlar hariç (mutlak/katı kısıtlayıcıların modele eklenmesi gibi) her zaman uygun bir çözümün elde edilmesi bu tekniğin önemli üstünlükleri olarak ortaya çıkmaktadır. AP tekniğinin ETÇAP uygulamaları Bartomeu ve Romero, 2001; Mısır, 2001; Diaz-Balterio ve Romero, 2003; Keleş vd., 2005; Keleş, 2008 çalışmalarında görülmektedir.

1.2.4.3. Konumsal Planlama (Kombine Optimizasyon)

Konumsal planlama, birden fazla ve birbirleriyle çelişen amaçlar ile birlikte orman ekosisteminin konumsal yapısını tanımlayan ve kontrol eden bir modelleme yaklaşımıdır. Ormanın konumsal yapısı, tanımlanan orman parçalarının (patch) orman ekosistemindeki alan, şekil ve coğrafi dağılım desenini ifade eder ve konumsal parametre ve parçalılık indeksleri ile karakterize edilir. Konumsal parametreler ve parçalılık indeksleri genellikle, işletme veya gençleştirme alanlarının (meşcereler, üretim blokları gibi) ve diğer orman alanlarının (yaban hayatı habitatları ve yaş sınıfları gibi) alan, şekil, coğrafi dağılımı, maksimum ve minimum üretim alanı kısıtları, komşuluk ilişkileri, açma alanı kısıtları, bağlantı, yakınlık gibi ölçütleri içermektedir.

Konumsal parametrelerden öne çıkan komşuluk veya erteleme süresi kavramları, belirli bir periyotta komşu alanlar veya üretim birimlerinin aynı anda üretime alınmasını önlemeyi ifade eder ve birbirlerinden belli bir mesafede olan veya ortak bir sınırı paylaşan üretim birimleri (meşcere, üretim bloğu, açma alanı gibi) olarak tanımlanır. Erteleme süresi ve maksimum müdahale alanı büyüklüğü kısıtlarının yokluğunda, klasik olarak yapılan eşit eta akışı planlama modellerinde kısa periyotlarda birbirine komşu çok büyük alanlarda üretim yapılabilmektedir (Daust/Nelson 1993). Büyük alanlarda üretim yapılması durumunda ise, orman ekosistemlerinin sunmuş olduğu rekreasyon, toprak koruma, biyolojik çeşitlilik ve su kalitesi gibi değerler üzerinde önemli derecede ve özellikle olumsuz etkiler oluşmaktadır. Bununla birlikte, bu komşuluk kısıtları vasıtasıyla, bireysel meşcerelerin planlama alanındaki sürekliliği sağlanarak orman ekosistemlerinin konumsal yapı ve fonksiyonları kontrol altında tutulabilmektedir.

Benzer şekilde, orman parçalarının alanı, şekli ve dağılımı, konumsal planlamada önemli olan diğer özelliklerdendir. Türün dinamik yapısı, potansiyel habitatlar, potansiyel orman ürünleri, besin ve su döngüsü gibi sayısız değerlerin hepsi, orman parçalarının büyüklüğü, şekli ve dağılımından etkilenmektedir. Örneğin, orman parçalarının geometrik şekilleri odun hammaddesi üretimi kadar yaban hayatı için de önemlidir. Yine, çoğu kuş türlerinin varlığı, kullanılabilir büyük çekirdek alanlara (bir meşcere için çekirdek alan, çevre meşcerelerin kenar etkisinden bağımsız olan doğal yaşlı ormanın iç/çekirdek habitatından oluşan alandır) sahip büyük orman parçalarına bağlıdır (Temple, 1985; Baskent/Jordan, 1995). Bununla birlikte, toplam habitat alanı, habitatların şekli veya nispi düzeni ile habitatlar arasındaki bağlantı, çoğu tür için hayati önem taşımaktadır.

Belirlenen bu konumsal parametre ve parçalılık indekslerinin ekosistem tabanlı orman amenajman planlarında dikkate alınması zorunluluğu günümüzde konumsal planlamayı zorunlu kılmaktadır. Bu planlama yaklaşımı için farklı karar verme teknikleri kullanılmaktadır. Bu teknikler, simülasyon, karışık tamsayılı programlama (Mixed Integer Programming (MIP)) ve kombine optimizasyon (Tavlama Benzetimi (TB), Tabu Arama (TA), genetik algoritma (GA) ve hücresel otomasyon (HO)) olarak sıralanabilmektedir.

Belirtilen çözüm tekniklerinden, simülasyon tekniği, ormanın dinamik yapısının modellenmesinde önemli bir yer teşkil eden heuristik bir teniktir. Ancak, simülasyon tekniği karmaşık problemlerin çözümünde ve zaman içerisindeki değişimi ele almakta yetersiz olduğu için optimal bir çözüm üretememektedir. Ayrıca birden fazla amaç hedeflerine en yakın ulaşmayı simülasyon modelleri sağlamadığı için etkin bir planlama tekniği değildir. Oysaki, orman amenajmanında birden fazla amaç yer almakta, hatta bir çoğu birbiriyle çelişmekte, konumsal özellik içermekte ve genellikle optimal ya da optimala yakın çözümleri gerektirmektedirler (Başkent ve Jordan, 1991; Bettinger ve Johnson, 2003; Bettinger vd., 2005; Howard ve Nelson, 1993; Wightman ve Başkent, 1994).

Bir diğer yöntem olan optimizasyon teknikleri, bir çok amacı içeren optimal çözümler sunduğu için cazip görünmektedir. Ancak, konumsal planlama problemlerinin çözümünde kullanılan doğrusal programlama ve amaç programlama gibi matematik optimizasyon tekniklerinin yetersiz olduğu bilinmektedir. Bu yetersizlikleri ifade eden gerekçeler şunlardır;

- Konumsal parametrelerin veya parçalılık indekslerinin tanımlanmasında kullanılan karar değişkenleri arasında doğrusal ilişki olmayabilir,
- Bu teknikler, kesirli sonuçlar vermektedir. Örneğin 20 hektarlık Çsd2 bölmeceği optimal çözümde üçüncü periyotta 12,5 hektar, beşinci periyotta ise 7,5 hektar bir alanda üretim verilebilir.
- Konumsal özelliklerin eklenmesi ile karar değişkenleri ve kısıtların sayısı exponansiyel olarak artacağından modelin kurulumu ve çözümü zorlaşacak hatta imkansızlaşacaktır.
- Konumsal orman amenajman problemlerinin matematiksel programlama teknikleri kullanılarak çözülmesi esnasında, ormanın konumsal konfigürasyonunu ve kompozisyonu model içerisinde formüle edilmesi neredeyse mümkün değildir. Örneğin, alternatif tüm üretim blokları için uygun çözümün sağlanması amacıyla

problemde, olası tüm karar değişkenlerinin tanımlanması ve komşuluk kısıtları ile ilişkiye getirilmesi için ön tanım yapılması gerekir. Böyle bir ön orman katmanı, daha iyi çözüm arayışında, alternatif konumsal konfigürasyonları ve silvikültürel müdahaleleri kısıtlamaktadır.

Orman amenajmanı model çözümünü oldukça karmaşıklaştıran parça (patch) büyüklükleri ve dağılımının yanında üretim bloklarının büyüklükleri ve komşu alanlar gibi konumsal ilişkiler öne çıkmaktadır. Karışık Tamsayı Programlama (Mixed Integer Programming(MIP)) gibi teknikler konumsal özellikleri kısmen dikkate alarak kesim blokları büyüklükleri ve komşu meşcerelerin kesime tabi olmasını geciktirebilmektedir. Ancak zamanı dikkate alan gerçek problemlerin çözümünde istenen başarıyı sağlamamakta, çok küçük örnek problemlerde bile sorun yaşanmaktadır (Murray. 1999: Lockwood and Moore, 1993; Bettinger et al., 1998). Örnek olarak, Bettinger et al., (1998) MIP kullanarak beş yıllık periyotlar için 700 analiz alanından (bölmecek) oluşan planlama biriminin, sadece üretime dayalı planlamasını yapmış, ancak varsayıma dayalı olan bu planlama problemi 40 bölmeceğe kadar optimal çözümler sunmasına rağmen uygun çözüm bulunamamıştır. Optimizasyon teknikleri küçük alanları içeren planlama problemlerinde dahi parçaların konumsal dağılımı gibi özellikleri içeren çözümler sunamada yetersiz kalmaktadır.

Görüldüğü gibi simülasyon ve matematik optimizasyon teknikleri konumsal planlama için uygun çözüm teknikleri değildirler. Bu nedenle, alternatif bir model çözüm yaklaşımına ihtiyaç duyulmaktadır. Bunlardan en basiti, hiyerarşik iki adımdan oluşan bütünleştirme ya da birleştirme yaklaşımıdır. Burada, öncelikle optimizasyon teknikleri kullanılarak uzun vadede bütünleşik stratejik plan hazırlanır ardından, kısa vadede simülasyon teknikleri kullanılarak taktiksel bir planlama yapılır (Jamnick and Walters, 1993). Optimizasyon tekniklerinin stratejik planlamada, problemin boyutlarını küçültmek için coğrafi detaylar dikkate alınmaksızın, birbiriyle bağlantılı olan homojen katmanlar birleştirilerek, meşcere (analiz alanı) düzeyinde verilerle ancak olası çözümler elde edilmektedir. Stratejik planda, konumsal müdahale reçetesi ve çeşitli doğal kaynakların sürekli olarak akışının sağlanması, verilen plan yörüngesi içerisinde tespit edilmektedir. Bundan sonraki aşama olan taktiksel planlamada, simülasyon teknikleri kullanılarak plan dahilinde yapılacak müdahalelerin yerleri açıkça gösterilmektedir. Üretim bloklarının planlanması olarak da bilinen taktiksel planda; kesim bloklarının konumsal dağılımı,

Üretim düzeni ve kesim bloklarına komşu bloklara yapılacak müdahalelerdeki erteleme süresi gibi konular yer alır. Bu yaklaşımın dezavantajlarından birincisi, stratejik planın hazırlanmasında, btnletirilen yada birleştirilen meşcerelerin simülasyon tekniğinden bağımsız olarak ele alınmasıdır. Dahası stratejik düzeyde elde edilen optimal çözüm, taktiksel düzeyde müdahale görececek alanların ayrımı esnasında geçerliliğini (optimalliğini) yitirmektedir. Buna ek olarak; patch büyüklüğü ve konumsal dağılım gibi konumsal özelliklerin ve biyolojik çeşitliliğin kontrolü gibi önemli bazı konularda plan amaçlarıyla çelişen/örtüşmeyen yanları bulunmaktadır. Özetle; bu yaklaşım tarzı da karmaşık konumsal yapı içeren konumsal planlama problemlerine uygulanabilir çözümler sunmaktan yoksundur.

Bu nedenle, konumsal planlama gibi çok kapsamlı problemleri içeren modellerde çözüm arayışı samanlıkta iğne aramaya benzetilmektedir. Kombine optimizasyon teknikleri olarak adlandırılan TB, TA, GA ve HO gibi yöntemler zaman boyutu olan problemlerin çözümünde optimale yakın sonuçlar verebilmektedirler (Lockwood ve Moore, 1993; Boston ve Bettinger, 1998; Başkent ve Jordan, 2001).

Kombine optimizasyon modelleri, orman ekosisteminin planlanması gibi karmaşık problemlerin; zaman, alternatif hareket biçimleri ve mekan boyutunda ele alındığında bütünsel yapı sergiledikleri görülecektir. Bu tip problemlerde, problem boyutu arttıkça karar seçenekleri sayısı exponansiyel hatta faktöriyel olarak büyük rakamlara ulaşmakta ve dolayısıyla bütün seçeneklerin değerlendirilmesi mümkün olamamaktadır. Sadece odun üretimi amacı ve tek işletme tekniği esas alınsa bile, planlama probleminin boyutu exponansiyel olarak hızla artmaktadır. Her bir alternatifini matematiksel olarak modellemek birçok durumda imknsız olduğundan, doğrusal programlama ve amaç programlama gibi deterministik-tanımsal algoritmalar bu büyüklükteki problemleri zmekte yetersiz kalmaktadır (Başkent, 2004). Özellikle, ekosistem tabanlı çok amaçlı planlama yaklaşımında, konumsal parametrelerin ve biyolojik çeşitliliğin planlamaya dahil edilmesi gerektiği, büyük ölçekli problemlerde doğrusal olmayan ilişkilerin bulunması nedeniyle çözümünde günümüzde kombine optimizasyon teknikleri kullanılmaktadır. Kombine optimizasyon teknikleri kullanılarak birçok konumsal özellik planlamaya yansıtılmaya çalışılmıştır. Kesim blokları ve açma alanlarının kontrolünde tavlama benzetimi algoritması (Başkent ve Jordan 1991; Crowe ve Nelson, 2005; Dahlin ve Sallnas, 1993), tabu arama (Batten vd., 2005; Caro vd., 2003; Kremer vd., 2001), genetik algoritma (Bettinger vd., 2002; Boston ve Bettinger, 2002; Boston ve Bettinger, 2001a; Boston ve

Bettinger, 2006; Boston ve Bettinger, 2001b) ve diğer heuristic teknikler (Borges ve Hoganson, 1999; Borges ve Hoganson 2000; Borges vd., 1999; Hoganson ve Rose, 1984; Palander, 1995; Mathey vd., 2007; Heinonen ve Pukkala, 2007), parçalılık indekslerinin kontrolünde genetik algoritma (Zeng vd., 2007a; Zeng vd., 2007b) ve diğer teknikler (Chen ve Gardow, 2002; Heinonen vd., 2007; Hof ve Joyce, 1992; Venema vd., 2005) kullanılmıştır. Orman yollarının konumsal planlamaya yansıtılmasında tabu arama (Richards ve Gunn, 2003; Murray ve Church, 1996) ve diğer heuristic teknikler (Weintraub vd., 1994b; Weintraub vd., 2000b) kullanılmıştır. Yaban hayatı yaşam koşullarının konumsal planlara yansıtılmasında tabu arama (Bettinger vd., 1997; Boston ve Bettinger, 2002) ve diğer heuristic teknikler (Bettinger vd., 2003; Hof ve Joyce, 1992; Hof ve Joyce, 1993; Hof vd., 1992) kullanılmıştır.

Son zamanlarda geliştirilmiş ve kullanılmakta olan bu teknikler pek çok avantaja sahiptir. Çok kısa zaman ve az maliyette çok sayıda uygun çözüm bulma fırsatı sunmaktadırlar. Bu tekniklerin faydaları sadece büyük ölçekli çok periyotlu planlama problemlerini çözmek olmayıp, problemlerin formüle edilmesinin matematiksel optimizasyon tekniklerinin aksine çok basit olması ve esnekliği diğer avantajlarıdır (Baskent ve Keles, 2005).

1.2.5. Karar Destek Sistemleri ve Konumsal Planlamada Kullanımı

Karar verme süreci karmaşık insan faaliyetlerinden biri olup, önemli karar verme süreçlerinde, birbiriyle çelişen veya çatışan faktörler olabileceği gibi, değişik alternatifler arasında çoğunlukla karmaşık bağlantılar ve ilişkiler bulunmaktadır. Kararlar genellikle bir takım belirsizlik ve risk altında, yeterli veri ve bilgi kaynağı olmadan alınmaktadır. Yine, karar verme büyük miktarda veri ve işlemlerin analizini zorunlu kılmaktadır. Karar Destek Sistemi, karar vericilere karar verme sürecinde yardım edecek ve onlara değişik alternatifleri değerlendirme yeteneği sunacak bir araçtır (Keleş, 2008).

Orman amenajmanında geliştirilen ve kullanılan KDS'leri, karar verme aşamasında karar vericilerin en uygun kararları almasına, karar vericinin bilgi birikimi ve bilgisayarların bilgi işleme yeteneklerini bütünleştiren bir modelleme sistemi olarak ortaya çıkmaktadır. Bu sistemler, orman ekosistemleri gibi gerçekte karmaşık olan sistemleri kavramayı kolaylaştırırken, onları bir bütün olarak değerlendirmeyi sağlamaktadır. Üstelik herhangi bir probleme optimal çözümler bulmakla birlikte, karar vericilerin alternatifler

arasından en uygununa karar vermesine yardım ederler.

Orman amenajman planlarının yapımına hizmet etmek amacıyla bugün gelişmiş ülkelerde, ormancılık alanında konumsal bilgiyi kullanarak yöneylem araştırması teknikleriyle bütünleştiren KDS'leri geliştirilmekte ve orman işletmelerince kullanılmaktadır. Bunlardan özellikle konumsal orman amenajman planlarının hazırlanmasına altlık oluşturacak ve bu planların hazırlanmasına yönelik olarak geliştirilen KDS'leri Tablo 1'de verilmiş ve her birinin amacı ve özellikleri kısaca açıklanmıştır. Bu KDS'leri özellikle ormancılıkta gelişmiş olan Amerika, Kanada ve Finlandiya gibi ülkelerde orman amenajman planlarının hazırlanmasında etkili bir şekilde kullanılmaktadır. Bu sistemler, ormanların sunmuş olduğu pek çok değer/fonksiyonları aynı anda dikkate almakta, farklı optimizasyon, simülasyon ve kombine optimizasyon tekniklerini kullanmaktadır. Geliştirilen konumsal planlama tabanlı KDS'leri CBS tarafından desteklenmektedir ve öznitelik verileri ile birlikte konumsal verilerin organizasyonu, sürekliliği, ulaşılabilirliği, güncelliği kolayca sağlanmaktadır. CBS kullanılması nedeniyle de, konumsal analizler ve sorgulamalar yapılabilmekte, sonuçta hazırlanan planlara uygulanabilir statü kazandırılmaktadır. Hazırlanan bu KDS'leri zamanla değişen toplum ihtiyaçlarına ve orman ekosistem yapısına bağlı olarak güncelleştirilmektedir (Başkent ve Keleş, 2004; Başkent, 2005).

Tablo 1. Konumsal planlamaya hizmet etmek amacıyla geliştirilmiş bazı konumsal KDS'leri ve özellikleri

Model Adı & Yazarlar & Yılı	Kullanılan Modelleme Teknikleri	Ülke	Diğer Özellikleri
SPECTRUM (Greer ve Meneghin, 2000)	Doğrusal Programlama Amaç Programlama Dinamik Programlama	ABD	FORPLAN'in varisi olup, doğrusal programlama, amaç programlama ve dinamik programlama gibi diğer yöneylem araştırması tekniklerini de barındırıyor olması yenilikleri arasındadır. 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.
HARVEST (Gustafson ve Crow, 1994, 1999; Gustafson ve Rasmussen, 2002; Gustafson vd., 2006)	Simülasyon	ABD	Meşcere parametrelerinden özellikle yaş sınıflarını dikkate alan, konumsal tabanlı (raster tabanlı) (CBS) simülasyon modelidir. Alternatif üretim stratejilerinin yaş sınıfı dağılımları, çekirdek ve kenar habitatların konumsal dağılımı ve planlama yürüngesi sonundaki ekosisteminin patch (parça) dağılımı/yapısı üzerine etkilerini değerlendirmek için geliştirilmiştir.
LANDIS (Gustafson vd., 2000)	Simülasyon	ABD	İçerisinde odun hammaddesi üretimi bulunan; önemli ekolojik süreçler ve bunların konumsal etkileşimlerini uygun geçerlilikte sürdüren, raster tabanlı konumsal simülasyon modelidir. Yaş sınıfları bazında alışan LANDIS modeli, uzun dönem orman ekosistemi projeksiyonunu yaş sınıfları bazında yapmaktadır.
LAMPS (Bettinger ve Lennette, 2004)	Simülasyon	ABD	Uzun bir planlama yürüngesinde, büyük ölçekli alanlarda ve farklı ekosistem yapısında çalışabilmektedir. Deterministik yapıda simülasyon modeli olup, taktiksel ve stratejik planlar arasında bağ kurabilmektedir. Müdahale alanı büyüklüğü, erteleme süresi ve koruma zonlarına özel müdahale seçenekleri gibi belirli sayıda konumsal özelliklerin kullanımını sağlayarak, simülasyon modeline konumsal özellikleri yansıtılmaktadır.
MONSU (Pukkala, 2004)	Genetik Algoritma Tavlama Benzetimi Tabu arama Hücresel otomasyon Rastgele Arama	Finlandiya	Çok amaçlı orman amenajman planları hazırlamak amacıyla geliştirilmiş olup, odun ve odun dışı ürün ve hizmetleri aynı anda hesaplama ve planlamaya dahil etme yeteneğine sahiptir. Model, içerisinde konumsal ve konumsal olmayan özellikleri planlamada bütünleştirebilme özelliğine sahip, farklı modelleme algoritmalarını (tabu arama, tavlama benzetimi, genetik algoritma, rastgele arama ve bunların kombinasyonları) kullanarak, farklı özellikte plan yapmaya hizmet eden farklı modüllere sahiptir.
SAGALP (Chen ve Gadow, 2002)	Doğrusal Programlama Tavlama Benzetimi Genetik Algoritma	Almanya	Kullanıcı tarafından girilen ortak bir veri tabanı aracılığıyla, çok sayıda basit orman amenajmanı planlama problemlerine çözüm bulmak amacıyla geliştirilmiş bir sistemdir. Doğrusal programlama, tavlama benzetimi ve genetik algoritma modüllerini içermekte olup modüler bir yapıya sahiptir.
HABPLAN (NCASI, 2006)	Doğrusal Progr. Tavlama Benzetimi Genetik Algoritma	Kanada	Aynı anda stratejik ve taktiksel plan yapma özelliği ile konumsal ve konumsal olmayan planları yapabilmektedir. Poligon bazında çalışması en uygun şekilde konumsal planlama yapma imkanını sunmakta ve her poligona farklı silvikültürel rejimler belirlenebilmektedir.

Tablo 1' in devamı.

Model Adı & Yazarlar	Modelleme Teknikleri	Ülke	Diğer Özellikleri
GISFORMAN LANDMAN (Wang vd., 1987; Jordan ve Baskent, 1992)	Simülasyon	Kanada	GISFORMAN, konumsal özellikleri dikkate alarak, sezgisel planlama teknikleri kullanan ve odun üretim planlamasına hizmet eden simülasyon modelidir.
WOODSTOCK (Walters, 1993)	Simülasyon Doğrusal Programlama Kombine Optimizasyon	Kanada	Çok amaçlı planların hazırlanmasına hizmet eden orman modelleme sistemidir. Meşcere bazında sonuç vermemektedir, konumsal özellikler hariç tutulmuştur. Ancak, bu program ile irtibatlı çalışan ve yine aynı firmanın ürettiği STANLEY programı geliştirilmiştir. Bu program herhangi bir doğrusal programlama tekniği sonucu geliştirilen analiz alanı bazlı sonuçları bölmecik (meşcere) bazına indirmektedir. Orman amenajmanı piyasasında ciddi etkileri olan ve geniş kullanım kitlesi barındıran WOODSTOCK/ STANLEY programına, CBS modülü entegre edilerek SPATIALWOODSTOCK programı geliştirilmiştir. Bu program şu anda çok sayıda geliştirilmiş CBS programlarının yaptığı bazı konumsal işlemleri, bölmecikler arasında istenilen mesafeler için komşuluk tablosu oluşturmayı kendisi yapabilmektedir.
ATLAS (Nelson, 2000; Perdue ve Nelson, 2000; Nelson, 2003)	Simülasyon	Kanada	Orman yollarını ve temel üretim birimlerini konumsal olarak ele alan simülasyon modelidir. Gençleştirme alanı büyüklüğü kısıtları ve aralarındaki komşuluk kısıtlarına kadar çok sayıda amaçlar/hedefler veya kısıtlayıcılar modele entegre edilebilir. Meşcerelere (bölmeciklere) en yaşlıdan kesmek gibi belirli kesim önceliklerine göre, kullanıcı tarafından belirlenen hedefler doğrultusunda kesilmek suretiyle çalışmaktadır. Model sonuçlarını görsel olarak izlemek ve değerlendirmek (haritaya aktarmak), orman yollarının planlamaya dahil edilmesi önemli özellikleridir.
ECHO (MMFA, 2001)	Doğrusal Programlama Tavlama Benzetimi	Kanada	Simülasyon, optimizasyon ve kombine optimizasyon teknikleriyle farklı zaman ölçeklerinde ekosistem tabanlı plan yapabilen konumsal bir karar destek sistemidir. MODEL A, MODEL B ve MODEL C olmak üzere hiyerarşik yapıda üç modüle sahiptir. Doğrusal programlama ve kombine optimizasyon tabanlı planlama modelleri aracılığıyla, konumsal ve konumsal olmayan çıktıları ve meşcere parametrelerini bölmecik bazında, farklı işletme faaliyetleri altındaki dinamik yapısını karşılaştırma imkanı vermektedir.

1.2.6. Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Kullanımı

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) bilgisayar destekli grafik teknolojisi, sayısal kartoğrafya ve veri tabanı işletimi teknolojisinin birleştirilmesiyle gelişen bir konumsal bilgi sistemidir. Aslında bir konumsal veri tabanı işletim sistemi (Lee and Zang 1989) olarak kısaca tanımlanabilen CBS, teknik fonksiyonu itibarıyla kararların alınmasında etkili olan konumsal verileri toplamak, sayısal olarak saklamak, analiz etmek ve değerlendirmek için kullanılan güçlü bir 'alet kutusu', kendi bilgilerimizi, yapıcılığımızı ve ilgimizi ifade etmede de kullanacağımız bir 'kumtorbası'ndan ibaret bir hibrit sistemdir. Çok basit haritaların sayısal olarak hazırlanmasından karmaşık kararların alınmasına kadar olan değişik alanlarda insanlara karar vermede hizmet eden CBS öznelik verileri grafik verilere mükemmel bir şekilde bağlayabilmesi özelliği ile ormancılık ve ziraat gibi araziye dayalı bilim dallarında kullanma alanı bulmuştur (Jordan ve Erdle, 1989; Başkent ve Jordan, 1991; Köse ve Başkent, 1993).

Orman ekosisteminin konumsal yapısı grafik ve öznelik verilerle kolaylıkla ifade edilebilir. Orman işletmesini düzenleyen amenajman planı alt yapısı haritaya dayanarak tasarlanıp planlandığı gibi her türlü teknik inceleme ve gözlemlerin yapılması ve plan uygulamasının izlenmesi de ancak bir haritanın varlığı ile mümkündür. Bu nedenle CBS, üretim birimlerinin şekli, homojenliği, büyüklüğü, komşuluğu ve konumsal dağılımı itibarıyla ekosistemlerinin yapısının sayısal bazda tanımlanmasına yardım ederek konumsal planlamayı kolaylaştırır (Nasset, 1995, 1997). Temelini sayısal haritaya dayandıran CBS sadece orman amenajmanı planına temel oluşturmakla kalmayıp, aynı zamanda planlama hiyerarşisinde ve sürecinde (orman envanteri, orman kaynaklarının izlenmesi, analiz edilmesi, modellemesi ve sunumu, denetimi) vazgeçilmez temel ögesi haline almıştır. Nitekim, CBS ormancılıkta karar halkasındaki her kademenin (ormancılık politikası, amenajman planları, işletme-silvikültür planları) birbirleriyle sayısal olarak uyumlu bir halde ilişkilendirilmesini sağlar. Dinamik yapıya ve çok geniş alana sahip orman ekosisteminde, yapılan teknik müdahalelerin etkisini tespit etmek ve gerekli önlemleri alabilmek için orman kaynaklarının denetlenmesi ve hızlı bir şekilde güncelleştirilmesi zorunludur ki buda ancak CBS ile mümkündür.

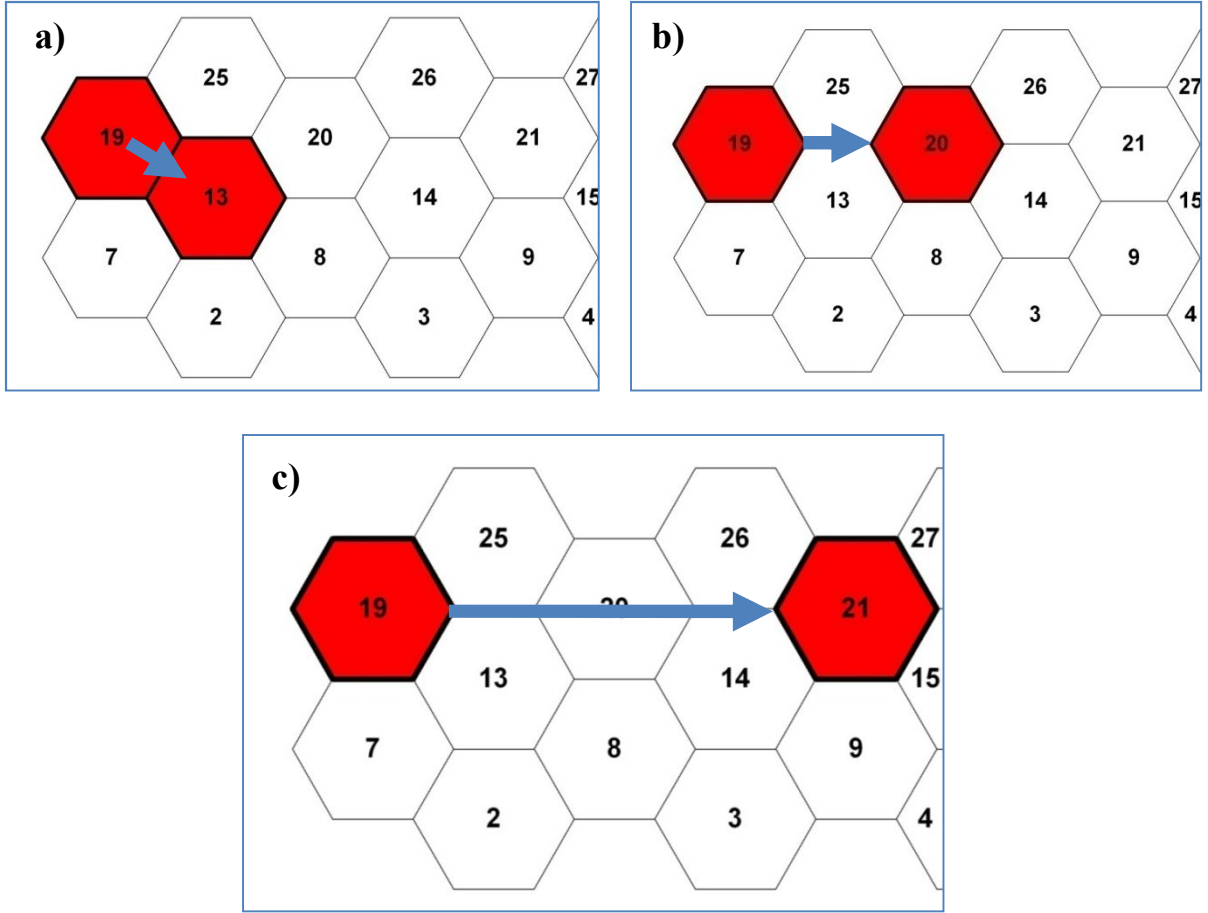
Konumsal planlamaya altlık oluşturan ve zamanla güncelleştirilecek olan planlama birimi bilgileri, topografik (eğim, bakı, yükselti) ve meşcere parametreleri (ağaç türü, gelişim çağı, alan, göğüs yüzeyi, ağaç sayısı, bonitet) gibi konumsal verilerin CBS

ortamında veri tabanına aktarılmasıyla birlikte, planlamaya hizmet edecek çok sayıda tematik (konumsal) haritaları üretmek, türetmek, analiz etmek ve sunmak mümkündür. Ayrıca CBS, üretim birimlerinin yani kesim blokları ve açma alanlarının şekli, homojenliği, büyüklüğü, komşuluğu, şekil indeksleri ve konumsal dağılımı itibariyle ekosistemlerinin yapısının sayısal bazda tanımlayarak konumsal planlamayı kolaylaştırır (Nasset, 1995, 1997). Konumsal veri tabanları sayesinde, CBS ekolojik bağlantıların farklı ağları aracılığıyla alternatif üretim programlarının hazırlanmasında ve ekolojik olarak önemli habitat parçaları arasında ekolojik koridorların oluşturulmasında kullanılabilir (Kangas vd., 2000). Son olarak, CBS orman amenajmanı planlama faaliyetleri ile ilgili olan tüm haritaların hazırlanması, sunumu ve planlama yörüngesi boyunca izlenmesi ve konumsal parametrelerin belirlenmesi için en önemli araçtır.

1.2.7. Konumsal Planlamada Kullanılan Tanım ve Kavramlar

1.2.7.1. Yakınlık Mesafesi

Aynı periyotta gençleştirme müdahalesine tabi tutulacak herhangi bir bölmeğin başka bir bölme ile aynı kesim bloğu içerisinde kabul edilebilmesi için aralarında olması gereken kuş uçuşu en kısa mesafeye “yakınlık mesafesi” denilmektedir. Örneğin, Şekil 3’teki kırmızı renkle gösterilen bölme idare süresini doldurmuş ve her biri “2 ha” büyüklüğe sahip meşcereler olsun. Bu bölmeğin Şekil 3-a da görüldüğü üzere, aralarındaki mesafe “0 metre” olarak görülmektedir. Şekil 3-b ve Şekil 3-c’de ise, belirli bir mesafede iki bölmeğin kesim bloğu oluşturabileceği görülmektedir. Bu şekilde, ardışık olarak yakın sayılan bölmeğin diğer bölme ile olan mesafelerine göre kesim blokları kontrol edilir ve yakın bölme kalmayınca kadar kesim bloğu oluşturmaya devam edilir.

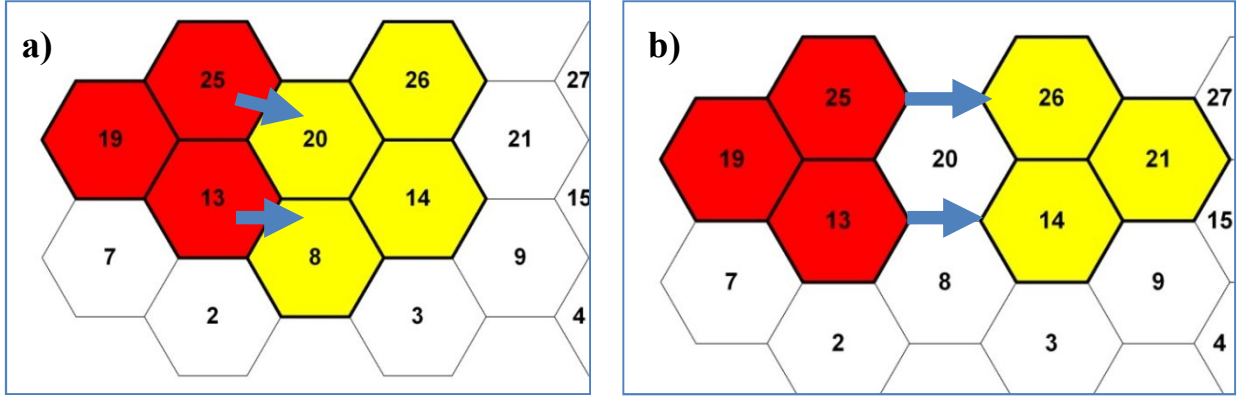


Şekil 3. Kesim bloklarının oluşturulmasın bitişik (a), “L1” mesafe (b) ve “L2” mesafe (c) göre yakınlık mesafesinin kullanılması

1.2.7.2. Komşuluk Mesafesi

Kesime tabi tutulan blokların diğer bloklar ile aynı açma alanı içerisinde kabul edilmesi için gerekli olan kuş uçuşu mesafedir. Diğer bir ifadeyle, iki bloğun komşu sayılabilmesi için, içerisinde yer alan en az bir bölmecığın diğer blok içerisinde yer alan herhangi bir bölmecik ile belirli bir mesafe içerisinde komşu olması gerekmektedir. Örneğin, Şekil 4-a’da, 19, 25, ve 13 nolu bölmeciklerin 10 nolu kesim bloğu (kırmızı renkle), 8,14,20 ve 26 nolu bölmeciklerin ise 20 nolu bloğu (sarı renkle) oluşturduğu varsayılmıştır. 10 ve 20 nolu bloklar, aynı periyotta yada erteleme süresi dahilinde gençleştirilmiş ise “0 metre” mesafede komşu sayılan iki bloktur ve aynı açma alanı içerisinde yer almaktadır. Benzer şekilde, Şekil 4-b’de, kırmızı ve sarı renk ile gösterilen bölmecikler farklı kesim bloklarını göstermekte ve belirli bir “X metre” mesafede komşu sayılmaktadırlar. Her iki örnekte gençleştirilmiş kesim bloklarını diğer blok ile komşu olması için poligon sınırları arasındaki en kısa mesafenin istenilen değerden az olması

gerekmektedir ve bu değere komşuluk mesafesi olarak belirlenmektedir.



Şekil 4. Açma alanlarının belirlenmesinde sıfır mesafe komşuluk (a) ile "X metre" komşuluk mesafeleri (b)

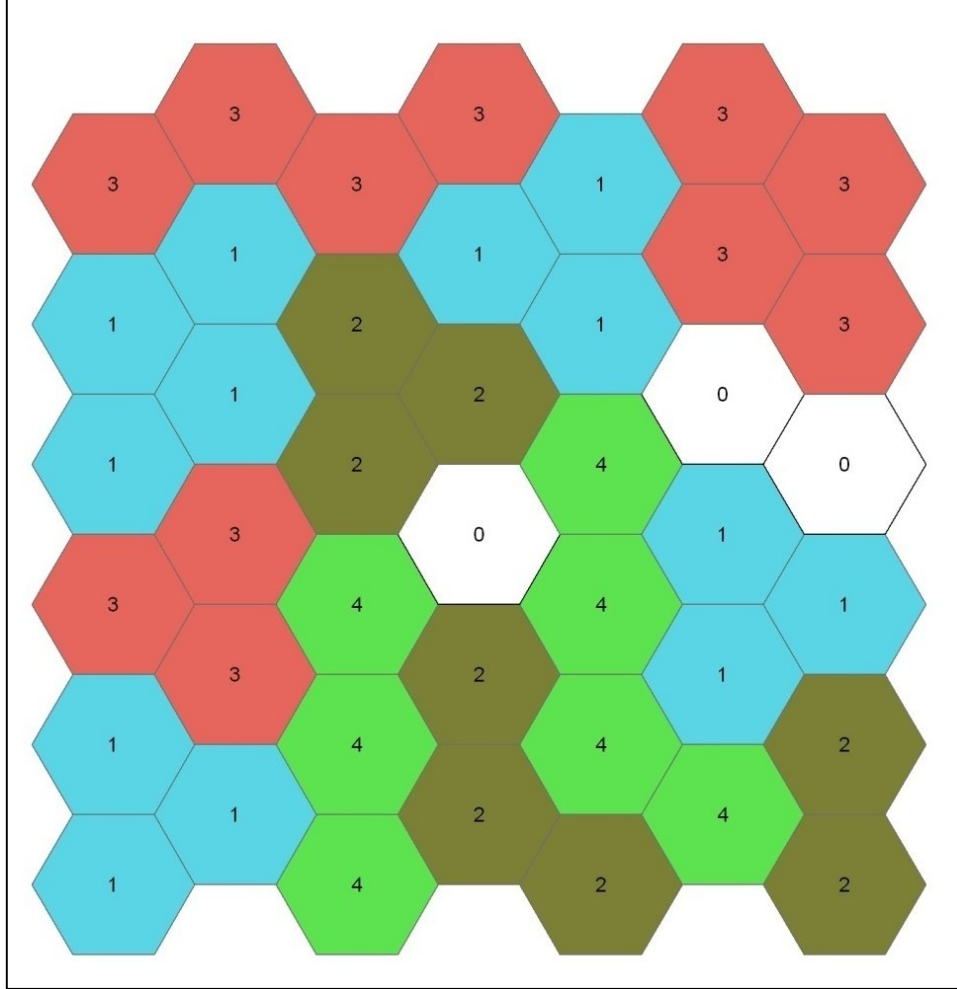
1.2.7.3. Kesim Bloğu

Konumsal plan yapım aşamasında, belirlenen kesim kurallarına göre idare süresini doldurmuş bölmeciklerden yakınlık mesafesi ve alan miktarına göre gençleştirme alanları kesim bloğu olarak saptanmaktadır. Örneğin Şekil 5’de kesim bloklarının oluşturulması gösterilmektedir. Burada, aynı periyotta kesime tabi tutulan bölmecikler aynı renk ve periyot numarası ile gösterilmiştir. Bu alanların kesime alınması esnasında minimum kesim blok büyüklüğü, yakınlık mesafesi ve hedeflenen kesim bloğu büyüklüğü kurallarına uygun olması gerekmektedir. Bu örnekte her bir poligon 2 ha büyüklüğe sahip olup, en küçük kesim bloğu büyüklüğü 4 ha, hedeflenen büyüklük ise 8 ha olarak belirlenmiştir. Bu örnekte komşuluk ve yakınlık mesafesi ise "0 metre" kabul edilmiştir.

Minimum kesim bloğu büyüklüğü, Gençleştirme çalışmaları sırasında ekonomik ve teknik açıdan müdahale edilmesi gereken en küçük alan büyüklüğüdür. Kullanıcı tarafından plan yapılan yöre, ekosistem ve ağaç türü ve gençleştirme maliyetleri dikkate alınarak belirlenecektir. Hedeflenen kesim bloğu büyüklüğü ise gençleştirme çalışmaları sırasında gençleştirme alanı büyüklüğünün olması gereken ideal değeri olarak belirlenecektir. Bu değerden az ya da büyük alana girilmesi ekonomik ve teknik açıdan yanlış olduğu düşünülmektedir. Yani planlama aşamasında modelin bu değere yakın yada eşit alanları gençleştirme alanı büyüklüğü olarak belirlemesi sağlanacaktır.

Erteleme Süresi (gren-up), gençleştirilen bir alanda gençliğin hayatiyetini devam ettirmesine kadar geçen süre yada başka bir ifadeyle komşu blokların gençleştirilmesi için beklenmesi gereken süredir. Hızlı gelişme ve büyüme seyri gösteren türlerde (kızılcım,

sedir vb.) bu süre kısa (1 periyot) olurken bazı yavaş büyüyen türlerde (kayın, göknar, Karaçam, Sarıçam, meşe vb.) 2-3 periyota kadar uzamaktadır.

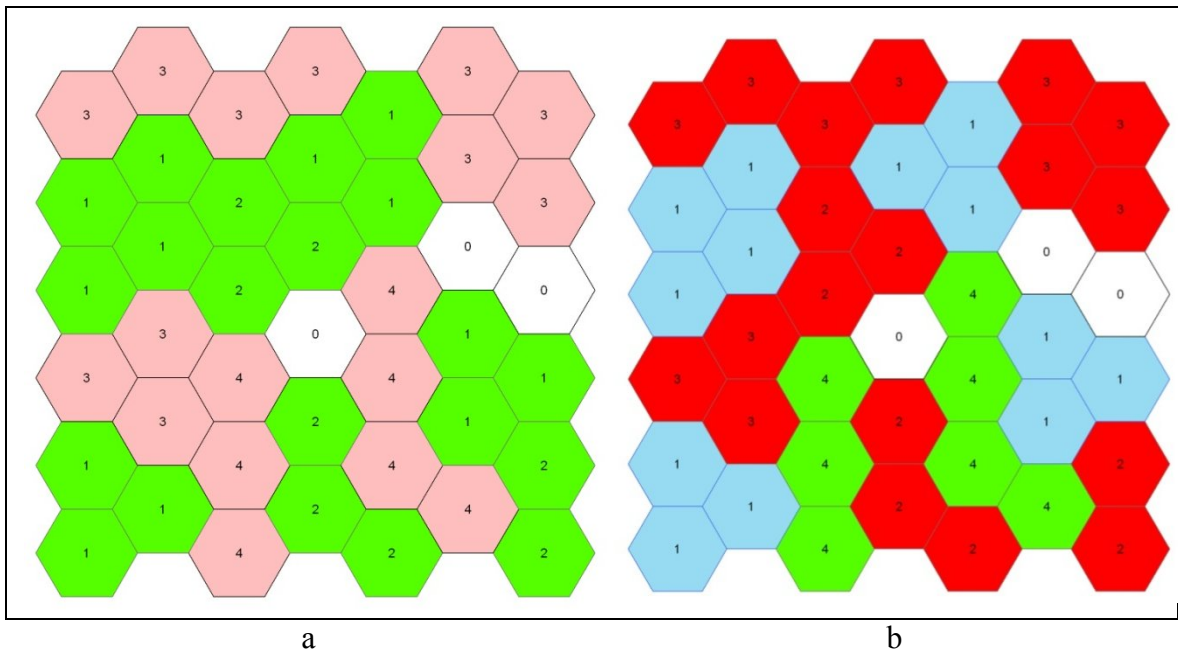


Şekil 5. Kesim blokları (numaralar veya renkler kesim periyotlarını göstermektedir)

1.2.7.4. Açma Alanı

Gençleştirme çalışmaları esnasında, aynı yada farklı periyot içerisinde gençleştirilmiş alanların erteleme süresi dahilindeki toplam gençleştirme alanı miktarıdır. Bu alan aynı periyotta yada erteleme süresi “0” dan farklı ise, farklı periyotlarda komşu blokların toplam miktarı olarak bulunur ve bu değeri aşmaması model tarafından sağlanır. Örneğin, Şekil 6’da oluşturulan kesim blokları bu defa erteleme süresi 1 periyot, maksimum açma alanı miktarı “20 ha” olacak şekilde ve bloklar arasındaki komşuluk mesafesi de yine “0 metre” alınarak açma alanları oluşturulmuştur. Ertelleme süresi “1 periyot” olarak

belirlenmesi, bir birine komşu (0 metre) 1 ve 2 nolu kesim periyotundaki kesim bloklarının aynı açma alanı içerisinde kabul edileceğini, yine ardışık şekilde bir birine komşu 2 ve 3 nolu periyottaki kesim bloklarının aynı açma alanı içerisinde yer alacağını göstermektedir. Örneğin, 2 nolu kesim periyotundaki herhangi bir kesim bloğu, aynı anda 1 ve 3 nolu periyottaki bloklar ile aynı açma alanı içerisinde yer alabilir. Bu nedenle Şekil 6-a'da, 1 ve 2 nolu periyot aynı açma alanı içerisinde, 3 ve 4 nolu periyot aynı açma alanı içerisinde gösterilmiştir. Benzer şekilde 2 ve 3 nolu periyotlar ise Şekil 6-b'de aynı açma alanı içerisinde gösterilmiştir. Kesim blokları ve benzer şekilde açma alanları aynı zamanda belirli bir yatay mesafeye göre de belirlenebilirler.



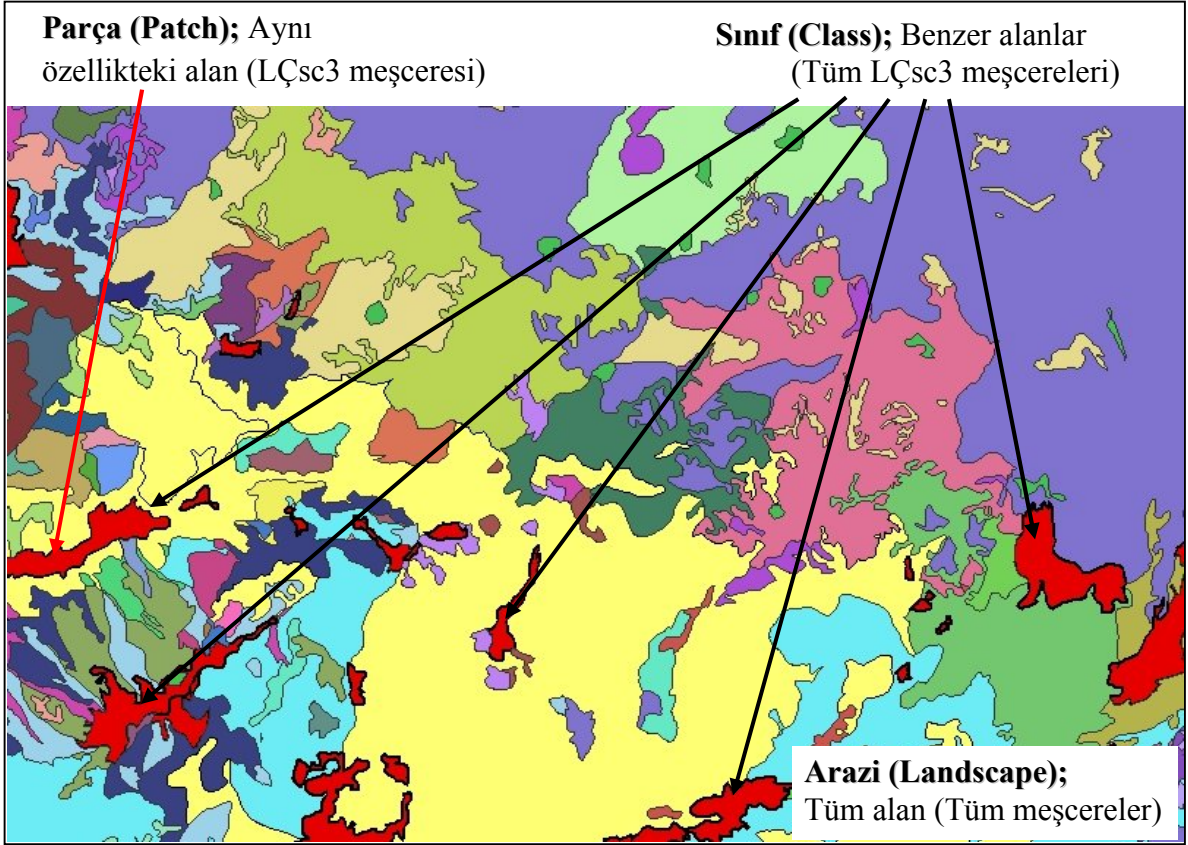
Şekil 6. Açma alanları (a- Erteleme süresi 1 alınarak oluşturulan açma alanları (1 ile 2, 3 ile 4. Periyotlar, b- Erteleme süresi 1 alınarak oluşturulan açma alanları (2 ile 3. Periyotlar))

Maksimum açma alanı büyüklüğü, ormanda gençleştirme ile açılması gereken en büyük alan miktarıdır. Bu alan aynı periyotta yada erteleme süresi "0" dan farklı ise, farklı periyotlarda komşu blokların toplam miktarı olarak bulunur ve bu değeri aşılması sağlanır.

1.2.7.5. Parçalılık İndeksleri

Konumsal yapının tanımlanmasında bazı parça tanımları ve parçalılık indekslerinin kullanılmaktadır. Bu indeksler planlama aşamasında her bir periyot için hesaplanmış ve

kullanıcı tarafından kontrol edilebilmektedir. Konumsal analiz; konumsal verilerin mevcut formlarının belirli bir amaca yönelik başka bir forma dönüştürerek yeni bir veri setinin oluşturulmasıdır. Kısaca konumsal analiz, ham veriyi yararlı bilgiye çeviren işlemdir (Longley, 2001). Orman parçası (patch), arazi (landscape) ve sınıf (class) terimleri kullanılmıştır (McGarigal, 1994). Şekil 7’ de gösterildiği üzere, tek bir LÇsc3 meşceresi bir orman parçasını (Patch) ifade etmekte, arazideki tüm LÇsc3 meşcereleri sınıfı (class) ifade etmekte ve alandaki tüm meşcereler ise araziyi (Landscape) ifade etmektedir. Orman ekosisteminin planlama yörüngesi boyunca konumsal yapısının tanımlanması için, sınıf ve arazi bazında farklı parçalılık indeksleri kullanılmaktadır (Tablo 2). Konumsal planlama yapım aşamasında, planlamacıların farklı sınıfları tanımlamasına ve kullanmasına imkan verilmektedir. Planlayıcı için sadece ormanlık alanlar önemli ise, ormanlık alan ve diğer alanlar bir sınıf olarak tanımlanabilmekte ve parçalılık indeksleri kontrol edilmektedir. Planlayıcı için ormanlık alanların türlere göre dağılımı önemli ise, tür bazında bir sınıf tanımlanabilmektedir. Benzer şekilde yaş sınıfı, gelişim çağı, göğüs yüzeyi, hacim miktarı gibi değerlerde sınıf tanımlaması için kullanılmaktadır. Burada en önemli faktör, belirtilen sınıflama için parça yada bölmeciklerin kaç metre mesafede yakın (komşu) sayılacağı ve bu mesafe içerisindeki alanların parça kabul edileceğidir. Diğer bir ifadeyle, planlayıcının istediği meşcere parametresine göre sınıf belirlemesi aşamasında komşuluk mesafesi ve istediği parametrenin kuralını tanımlaması gerekmektedir. Yaban hayatı planlaması için 0-40 yaş arası yapraklı ormanlar barınma yeri özelliği, 100-140 yaş arası ormanlar doğal yaşlı orman özelliği taşıyor ve aralarındaki mesafenin 200 metre olması yeterli ise, kullanıcı bu değerleri tanımlayarak istediği orman ekosistemi yapısına uygun alanları belirleyebilir.



Şekil 7. Konumsal objelerin ölçeklendirilerek sınıflandırılması

Tablo 2. Çalışmada kullanılan konumsal analiz ölçütleri

Ölçek	Kısaltma	Açıklama
Sınıf	CA	Sınıf alanı (ha)
Sınıf	AREA	Parça alanı (ha)
Sınıf/Arazi	LSI	Arazi benzerlik indeksi
Sınıf	PCLAND	Sınıf alan yüzdesi (%)
Sınıf/Arazi	LPI	En büyük parça oranı (%)
Sınıf/Arazi	NP	Parça sayısı (#)
Sınıf/Arazi	PD	Parça yoğunluğu (100 ha da)
Sınıf/Arazi	MPS	Ortalama parça büyüklüğü (ha)
Sınıf/Arazi	PSSD	Parça büyüklüğü standart sapması
Sınıf/Arazi	PSCV	Parça büyüklüğü varyasyon katsayısı

Parça alanı; Bu değer belirlenen her bir bölmecik yada parçanın alanını hektar cinsinden belirtmektedir.

$$\text{Alan} = a \frac{1}{10.000}$$

Arazi benzerlik indeksi (Landscape Similarity Index); 0 ile 100 arasında değişen bir indeks olup, arazinin ne kadar farklı tipte sınıflardan oluştuğunu göstermektedir. Sınıf olarak yaş sınıfı yada ormanlık alan tanımı yapıldığı taktirde bu sınıfa aynı özelliklere sahip komşu bölmecikleri parça yaparak gruplandırmaktadır.

$$= \frac{\sum}{100} (100)$$

Sınıf alanı (ha)(CA): Belirlenmiş olan sınıfların (yaş sınıfı, Ormanlık alan, ağaç türü vb.) toplam alan miktarını göstermektedir.

$$CA = a \frac{1}{10,000}$$

Sınıf alan yüzdesi (%LAND): Bir sınıfın toplam alan içerisindeki yüzde oranını göstermektedir.

$$\% = \frac{\sum}{100} (100)$$

En büyük parça indeksi (LPI): Bir sınıf içerisindeki en büyük alana sahip parçanın o sınıf alanına oranını göstermektedir. Aynı zamanda tüm alan içerisindeki en büyük parçanın tüm alan değerine oranı olarak ta arazi bazında hesaplanmaktadır. Yani sınıf ve arazi bazında hesaplanmaktadır.

$$LPI = \frac{\max_{j=1}^n (a_{ij})}{A} (100)$$

Parça sayısı (NP): Tüm alan (arazi) ya da sınıf içerisindeki parça sayısını göstermektedir.

$$NP = n$$

Parça yoğunluğu (PD): Sınıf içerisindeki ya da tüm alandaki parçaların 100 hektardaki sayısını göstermektedir. Diğer bir ifadeyle, 100 hektar içerisindeki parça yoğunluğu miktarıdır.

$$PD = \frac{n}{A} (10,000)(100)$$

Ortalama parça büyüklüğü (MPS, ha): Sınıf ya da arazi bazında ortalama parça alanı

miktarını göstermektedir.

$$= \frac{\sum a_{ij}}{n} \frac{1}{10,000}$$

Parça büyüklüğü standart sapması (PSSD, ha): Sınıf ya da arazi bazında parça büyüklükleri arasındaki değişimi göstermektedir.

$$= \frac{\sqrt{\frac{\sum a_{ij}^2}{n} - \left(\frac{\sum a_{ij}}{n}\right)^2}}{\frac{\sum a_{ij}}{n}}$$

Parça büyüklüğü varyasyon katsayısı (PSCV, %): Parça büyüklüğü standart sapma değerinin sınıf ya da arazi bazında ortalama parça büyüklüğüne oranıdır.

$$= \frac{\text{PSSD}}{\text{Ortalama Parça Büyüklüğü}} (100)$$

1.2.8. Sezgisel Arama Teknikleri

Sezgisel arama yöntemi, bir problemin tanım uzayı çok büyük olduğunda, çözümün aranmasını kesin biçimde sınırlayan herhangi bir kural, strateji, hile, sadeleştirme gibi faktörlerin kullanımınıdır. Sonucun doğruluğunun kanıtlanabilir olup olmadığını önemsemeden genelde iyi çözüm yolları elde eder. Problem çözerken iki temel amaç vardır: hız ve doğruluk. Sezgisel algoritmalarda genellikle bu amaçlardan birisi göz ardı edilebilir. Sezgisel yöntemler, ya probleme hızlı bir çözüm üretilir ama problemi her zaman çözeceği garanti edilemez ya da problemi makul bir zamanda çözer ama her zaman aynı hızda çözüleceği garanti edilmez (URL-1).

Yerel arama yöntemleri olarak da bilinen sezgisel arama yöntemlerinde genelde çözüm uzayında arama, belirlenen komşuluk yapısı ile daha iyi bir komşu çözüm bulunamadığı durumlarda sonlandırılmaktadır. Bu sebeple bu yöntemler yerel minimum noktalarda takılmakta ve arama stratejisi kör bir şekilde uygulanmaktadır. Üstsezgisel yöntemler ise yerel minimum noktalardan kurtulmak için daha kötü çözümlerin de kabul edildiği global optimizasyon yöntemleridir (URL-2.)

Sezgisel algoritmalar, probleme bağımlı algoritmalarlardır. Yöntem, bir problemde oldukça başarılı olurken diğer bir problem de benzer başarıyı sağlayamayabilir. Başlıca kullanılan sezgisel algoritmalar; tavlama benzetimi, genetik algoritmalar, tabu araştırma algoritmaları ve hücrel otomasyon olarak sayılabilir (Ulusoy, 2002; Coşkun, 2007)

1.2.8.1. Tavlama Benzetimi (Simulated Annealing)

Tavlama Benzetimi (TB) algoritması; pek çok değişkene sahip fonksiyonların en büyük veya en küçük değerlerinin bulunması ve özellikle pek çok yerel en küçük değere sahip doğrusal olmayan fonksiyonların en küçük değerlerinin bulunması için tasarlanmıştır. Bu algoritma ve türevleri, katı cisimlerin soğurken mükemmel şekilde atomik dizilişlerini örnek aldığından ve özellikle metallerin (örneğin; çelik) tavlama işlemini andırdığından bu ismi almıştır. TB, optimal depolama, elektronik devrelerin tasarımı, gezici satış elemanlarının optimal satış programı ve üretim ıskalalarının hazırlanmasına ilişkin problemlerin çözümünde kullanılmaktadır (Kirkpatrick, 1984; Lockwood ve Moore, 1993; Ohman ve Ericksson, 1998). Diğer olasılıksal yaklaşımlar gibi en iyiye yakın çözümün en kısa zamanda üretimini sağlar. Bu sebeple, özellikle matematiksel modellerle gösterilemeyen yada tanımlanamayan katkı yada kombinasyonel problemlerin eniyilenmesi uygulamalarında tercih edilmektedirler.

TB algoritmasının temelini oluşturan fikirler, ilk olarak Metropolis vd. (Metropolis, N. vd., 1953) tarafından önerilmiştir. TB algoritması, malzemelerin sıcak banyolarda soğutulmasından (tavlama) esinlenilerek hazırlanmıştır. Eğer, katı malzeme erime noktasına kadar ısıtılır ve katı hale geçinceye kadar tekrar soğutulursa, katı malzemenin soğutulmuş durumunun yapısal özellikleri soğutma oranına bağlı olur. Örneğin, kristaller çok yavaş bir soğutma ile büyüyebilirler, fakat hızlı bir soğutma, kristal yapısında kusurların oluşmasına neden olabilir. Tavlama sürecinin, malzemeyle ilgili bir parçacıklar sistemi olarak benzetimi yapılabilir. Temel olarak, Metropolis algoritması, soğutma sürecinden geçirilen bir sistemin kararlı bir duruma gelinceye kadarki, enerjisindeki değişikliklerin benzetimini yapar (Gülsün B., vd 2008).

Algoritma bir örnekle açıklanabilir. En alçak noktasını aradığımız bol delikli bir golf sahasının olduğunu varsayalım. Amacımız bu sahada elimizdeki topu en derin deliğe yerleştirmektir. Bu amaçla, eğer sahanın eğimi yönünde ilerlemek gibi basit bir yöntem kullanılırsa o zaman yüksek olasılıkla deliklerden birinde takılma durumu ortaya çıkacaktır. Oysaki, sahaya bir top koyup arazi olduğu gibi sallanırsa top arada bir deliklere girse de sürekli salladığımız için sonra girdiği delikten geriye çıkmaktadır. Zamanla sallama hızımızı azaltıp, tamamen durulduğunda ise topun sahanın en düşük noktasında (genel minimum) ya da yakın bir yerlerde olduğunu görürüz.

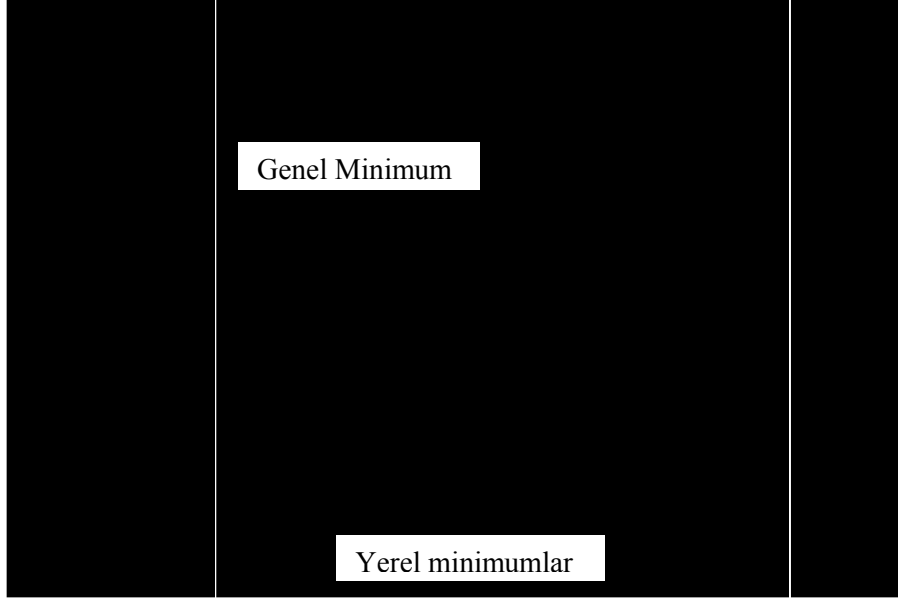
Gerçek dünyadaki katı cisimlerde de durum bu örnekteki benzer. Örnekteki

sallama hareketi cisimlerin sıcaklığına karşılık gelir. Bir gazı soğuturken atomlar bir süre sonra nasıl ki periyodik aralıklarla dizilip potansiyel enerjiyi minimize ediyorlar ise (kristalleşme) aynı yöntem kullanılarak enerjiyi değil kendi tanımladığımız bir fonksiyonu minimize etmeye çalışabiliriz. Bu yöntem bölgesel en iyi çözümlere (local optimum) takılmamak için kullanılır. Soğutma işlemi bu algorithmada daha iyi sonuçların bulunmasını sağlayacak yeni komşu çözümlerin üretilmesini sağlayan üstel (exponential) bir ifadedir. Benzetilmiş tavlama algoritması, elektronik devre tasarımı, görüntü işleme, yol bulma problemleri, seyahat problemleri, malzeme fiziği benzetimi, kesme ve paketleme problemleri, iş/akış çizelgeleme ve benzeri pek çok problemin çözümünde kullanılmaktadır.

Bir minimizasyon problemi için yerel arama tekniği, aramanın daima gelişme yönünde olduğu bir iniş stratejisini çalıştırır. Bununla birlikte, böyle bir strateji, global bir çözümden çok yerel bir çözüme yakınsar. Algoritmanın birkaç değişik başlangıç çözümüyle uygulanması veya komşulukların karmaşıklığını amaçların kapsamını genişleterek arttırarak da tatminkâr bir çözüm bulma yoluna gidilebilir. Fakat bu varyasyonların hiç biri tam bir tatmin sağlayamamıştır.

Bir $f(x)$ fonksiyonunun minimumunu bulan bir algoritma şöyle olabilir (Akıncı Ü., 2009). Bir başlangıç noktasından başlanıp, nokta rastgele değiştirilebilir (Şekil 8). Yeni noktadaki fonksiyon değeri eski noktadakinin daha küçükse yeni nokta kabul edilir, değilse kabul edilmez. Bu nokta yine rastgele değiştirilir, elde edilen nokta için aynı işlem ile seçim yapılır.

1. Adım sayısı (N) belirlenir.
2. x_i başlangıç noktası ($i = 0$), $f(x_i)$ hesaplanır.
3. Nokta $x_{i+1} = x_i + \Delta x_i$ şeklinde rasgele bir hareketle ötelenir, $f(x_{i+1})$ hesaplanır.
4. $f(x_{i+1}) < f(x_i)$ ise yeni hareket noktası x_{i+1} olur, değilse yeni hareket noktası x_i olarak kalır.
5. N adım sayısı bir azaltılır.
6. Eğer $N=0$ ise işlem fonksiyonun minimumu bulunmuş olacaktır. Eğer $N>0$ ise 3,4 ve 5 işlemleri yeni hareket noktası için yinelenir.



Şekil 8. Yerel ve genel minimum değerleri (Bingöl, 2009)

Tepe tırmanış (hill climbing) algoritması olarak da bilinen bu ve benzeri yöntemlerin hepsi birden çok minimumlu fonksiyonlarda çalışmaz. Algoritma bulduğu ilk minimumda takılacak (yerel minimum), büyük ihtimalle global minimumu bulamadan sonlanacaktır.

İniş stratejilerinden elde edilen çözümler, kullanılan başlangıç çözümlerine bağlıdır. Bir iniş daima, başlangıç çözümün de içinde bulunduğu vadinin en alt noktasına doğru arama yapar. Güvenilir bir sezgisel yaklaşım, başlangıç çözüme mümkün olduğunca az bağlı olmalıdır. Çözüm uzayında vadinin tepe noktalarına doğru bazı yokuş yukarı hareketleri olmalıdır, fakat nihai amaç bir minimum noktaya yakınsayacağından, bu, tedbirli ve kontrollü yapılmalıdır. TB sezgisel yaklaşımında yokuş yukarı (kötüleşmeye neden olan) hareketlere izin verilir, fakat sıklığı, algoritma ilerledikçe değişiklik gösteren bir olasılık fonksiyonuna bağlıdır. Yukarıda söz edilen kontrol şekli, Metropolis'in istatistiksel termodinamikle ilgili bir çalışmasından esinlenilerek bulunmuştur. Termodinamik kanunları, t sıcaklığında, enerjinin ΔE büyüklüğünün artış olasılığının aşağıdaki gibi olduğunu gösterir:

$$p(\Delta E) = \exp(-\Delta E / kt)$$

Burada k , Boltzmann sabiti olarak adlandırılan fiziksel bir sabittir.

Metropolis algoritması birden çok minimumlu fonksiyonun global minimumu bulunabilir. Metropolis Algoritması, N boyutlu uzaydaki bir noktayı argüman kabul eden

fonksiyon minimumu bulma problemi için kullanılabilir. Bir önceki algoritmaya göre üstünlüğü, yerel minimumlarda takılmayıp diğer minimumlara doğru aramaya devam edebilmesidir.

Minimum arama sırasında, fonksiyonun argümanı olan x , hareket uzayında hareket ettirilir, $x_0, x_1, \dots, x_i, x_{i+1}, \dots, x_s$ noktaları boyunca olan hareket sonunda x_s aranan minimum değerini veren nokta olması beklenir.

Algoritma şu şekildedir;

Adım - 1) Adım sayısı (N) belirlenir.

Adım - 2) x_i başlangıç noktası ($i = 0$) seçilir, $f(x_i)$ hesaplanır.

Adım - 3) Nokta $x_{i+1} = x_i + \Delta x_i$ şeklinde rastgele bir hareket gerçekleştirilir, $f(x_{i+1})$ hesaplanır.

a. $f(x_{i+1}) < f(x_i)$ ise hareket kabul edilir,

b. değilse;

i. $\omega = \exp[(-f(x_{i+1}) - f(x_i)) / T]$ önceden seçilen ve program boyunca sabit olan bir T değeri için hesaplanır.

ii. $0 < r < 1$ olacak biçimde bir r rastgele sayısı üretilir.

iii. $\omega > r$ ise hareket kabul edilir, değilse reddedilir.

Adım - 4) N adım sayısı bir azaltılır.

Adım - 5) Eğer $N=0$ ise (N yeterince büyük seçilmişse) fonksiyonun bir minimumu bulunmuş olacaktır. Eğer $N>0$ ise 2, 3, 4 ve 5 adımları yinelenir.

Bu tür bir algoritmanın üstünlüğü, $f(x_{i+1}) > f(x_i)$ olması durumunda da harekete belli bir ölçüde izin vermesi ve böylece olası bir yerel minimumda takılmayı önlemesidir. Ancak böyle bir algortmada kritik olan şey T parametresinin secimidir. T seçiminde iki uç durum,

- T çok büyük seçilirse $f(x_{i+1}) > f(x_i)$ durumunda algortmadaki 3(c) adımı her zaman gerçekleşeceğinden hareketin sonlandığı yer fonksiyonun belli bir minimum değeri olmayacaktır.
- T çok küçük seçilirse $f(x_{i+1}) > f(x_i)$ durumunda algortmadaki 3(c) adımı hiç bir zaman gerçekleşmeyecek bu durumda hareketin sonlandığı yer fonksiyonun bulunan ilk minimumu olacaktır. Bu durumda bu tür bir algortmanın ilk bölümdeki algortmadan bir farkı olmayacaktır.

Metropolis'in benzetimi bir düzen bozukluğu oluşturarak, sonuçlanan enerji

değişimini hesaplar. Eğer enerji düşüyorsa, sistem yeni duruma doğru hareket eder. Eğer enerji artıyorsa, mevcut durum yukarıdaki olasılık formülü ile hesaplanan olasılığa bakılarak yeni duruma hareket ettirilir. Süreç her sıcaklık için, belirlenen belli bir iterasyon sayısına kadar sürdürülür, sistem kararlı bir seviyeye gelinceye kadar sıcaklık düşürülür. TB ile fonksiyon minimumu bulmada kullanılabilecek olası bir algoritma şu şekildedir(Akıncı, 2009; Bingöl, 2009);

Adım - 1) T için başlangıç değeri ve sonlandırma değeri seçilir.

Adım - 2) x_i başlangıç noktası ($i = 0$) seçilir, $f(x_i)$ hesaplanır.

Adım - 3) Nokta $x_{i+1} = x_i + \Delta x_i$ şeklinde rastgele bir hareket gerçekleştirilir, $f(x_{i+1})$ hesaplanır.

a. $f(x_{i+1}) < f(x_i)$ ise hareket kabul edilir,

b. değilse;

i. $\omega = \exp[(-f(x_{i+1}) - f(x_i)) / T]$ programın bu adımı için sabit olan T değeri ile hesaplanır.

ii. $0 < r < 1$ olacak biçimde bir r rastgele sayısı üretilir.

iii. $\omega > r$ ise x_{i+1} yeni hareket noktası kabul edilir, değilse reddedilir.

Adım - 4) Yeni hareket noktasındaki f değeri fonksiyon minimumu ise bu hareket noktası minimum noktası olarak belirlenir.

Adım - 5) 2 ve 3. adımlar yeni hareket noktası için yinelenir.

Adım - 6) T azaltılır.

a. Eğer T programın başında belirlenen değere ulaşmışsa program durur.

b. Eğer T programın başında belirlenen değere ulaşmamışsa yeni T için 2-6 arası işlemler, Adım-4 te bulunan nokta başlangıç noktası olacak şekilde yinelenir.

Bu algoritmanın Metropolis Algoritmasına göre üstünlüğü şuradadır: T 'nin çok büyük değeri için başlayan hareket uzaydaki birçok noktayı gezer. Bir sonraki harekette T belli bir miktar azaltıldığında hareket yine uzayın büyük -ama bir önceki harekete göre daha küçük- bir bölümünde ve bir önceki harekette bulunan minimum noktasından başlayarak gerçekleşir. Eğer bu başlangıç noktası global minimum değilse program hareketi sırasında bir önceki hareketten biraz düşük olan T sayesinde birçok yerel minimumu aşacak ve global minimumu bulacaktır. Belli bir T den daha düşük değerdeki T 'ler için ise hareket artık uzayın küçük bir kısmında ve hep global minimum civarında olacak böylece program sonlandığında global minimumu veren x iyi bir hassasiyet ile

belirlenmiş olacaktır.

TB Algoritmasındaki bir kaç kritik nokta şunlardır:

- T başlangıç değerinin belirlenmesi
- T azalma hızının secimi
- Hareket sırasındaki rastgele adım büyüklük aralığının secimi
- Rastgele hareketin oluşturulması

Tüm bu değişkenler hakkında birkaç deneme sonunda sağlıklı bir secim yapılabilir.

Belirli bir problemin çözümü için TB algoritmasının uygulanmasında, belli sayıda kararın verilmesi gerekmektedir. Bu kararlar iki kategoride incelenebilir. Birinci tip kararlar, tavlama algoritmasında kullanılan parametrelerle ilgili olan genel kararlardır. Genel kararlar, başlangıç sıcaklığı, soğutma katsayısı (bitiş iterasyon sayısına ve sıcaklık soğutma fonksiyonu ile belirlenen) ve bitiş şartıdır. İkinci tip kararlar ise probleme özgü uygun çözümlerin uzayının seçimi, maliyet fonksiyonunu şeklinin belirlenmesi ve kullanılacak komşuluk yapısına karar verilmesi gibi kararları içerir. Söz konusu iki karar grubu da algoritmanın hızını ve elde edilen çözümün kalitesini etkilediğinden dikkatle belirlenmelidir (Reeves, 1993).

1.2.8.2. Tabu Arama Algoritması

Tabu kelimesi Tonga adalarındaki Avustralya yerlilerinin kullandıkları Polynesia adıyla anılan dilin Tongan kelimesinden gelmektedir. Tongan kelimesinin anlamı, dini anlamda kutsal olan, dokunulması yasaklı şey demektir. Webster Sözlüğüne göre, “koruyucu ölçü olarak sosyal gelenekle zorla kabul ettirilen yasa” anlamına gelmektedir. Bu pratik anlamlar, tabu arama algoritmasının ana temasını ortaya koymaktadır.

Tabu arama lokal optimalliğin ötesinde, çözüm uzayını araştırmak için yerel bir arama yöntemine rehberlik eden çok iyi bir sezgisel algoritmadır. Lokal prosedür, verilen herhangi bir çözümün komşuluğunu tanımlamak için “adım (move)” olarak anılan bir operasyonu kullanan araştırmadır. Tabu aramanın temel bileşenlerinden birisi de daha esnek bir arama durumu oluşturan kendi uyarlanabilir (adaptive) hafızasıdır. Bu nedenle hafızaya dayalı stratejiler tabu arama yaklaşımlarının önemli özelliğidir.

Lokal arama algoritmaları verilen bir çözümün komşuluklarının arandığı kombinasyonel problemlerde en iyi veya en iyiye yakın çözümleri bulabilmektedir. Fakat bu algoritmalarındaki en basit problem lokal minimuma düşmenin önlenmesinin zorluğudur.

Bir önceki çözüme dönüşlerde, lokal minimuma salınım (kısır döngü) yapıyor olabilir. Bu salınımlar arama süresinin uzamasına neden olacaklardır. Eğer daha önceden başvuru ve bulunan çözümler yasaklı oldukları bilinen bir listeye alınır ve belli bir süre bu listede tutulursa, salınımlar önlenmiş olacaktır.

TA çözümde bir değişiklik yapmayı kabul etmeden önce mevcut çözümlerin komşularının, başka bir ifadeyle yakın çözümlerin bulunduğu kümede arama yapar. Çözüm uzayında yapılabilecek mümkün hareketler kümesinin üretilmesi ve bunlardan birisinin kabul edilmesi iterasyonlar boyunca devam eder (Pukkala ve Heinonen, 2006). TA' nın temelleri, uygunluk sınırlarını veya doğal olarak bariyer vazifesi yapan lokal optimalliği aşmak ve sistematik olarak kısıtları zorlayarak yasak alanlarda araştırma yapmaya izin vermek için dizayn edilmiş metotlara dayanır. Bu tür prosedürlerin ilk örnekleri, sistematik olarak uygunluk koşullarını zorlayan vekil kısıt metotlarını (surrogate constraint methods) ve düzlem kesme yaklaşımlarını (cutting plane approaches) temel alan sezgisel yaklaşımları kapsamaktaydı. TA' nın modern biçimi Glover ile şekillenmiştir. Metodun bazı türetilmiş fikirleri ise Hansen tarafından geliştirilmiştir (Reeves, 1995).

1.2.8.3. Genetik Algoritma

Evrin mekanizmasını kullanan bir stratejidir. Genetik algoritmanın esası en iyinin hayatta kalmasına ve adaptasyonuna dayanır. Ancak diğer yöntemlerde de olduğu gibi genetik algoritma en iyi çözümü vereceğini garanti edemez. Buna karşın genetik algoritmaların bulduğu çözümlerin diğer yöntemlerin çözümüne göre daha pratik olduğu öne sürülmektedir.

Günümüzün karmaşık ve zor koşulları problemlere hızlı ve kolay çözüm veren yeni çözüm yöntemleri arayışına neden olmuştur. Özellikle sert optimizasyon teknikleri yerine, yumuşak hesaplama ve evrimsel algoritma kullanımı ön plana çıkmıştır. Evrimsel yaklaşımlardan olan genetik algoritmalar da, bu arayışlar içinde önemli bir yer tutmaya başlamıştır. Uygulama başarıları artan ve sürekli geliştirilmeye çalışılan genetik algoritmalar diğer yumuşak hesaplama yöntemleri ile birlikte kullanılarak hibrid çözümler geliştirilmesine çalışılmaktadır .

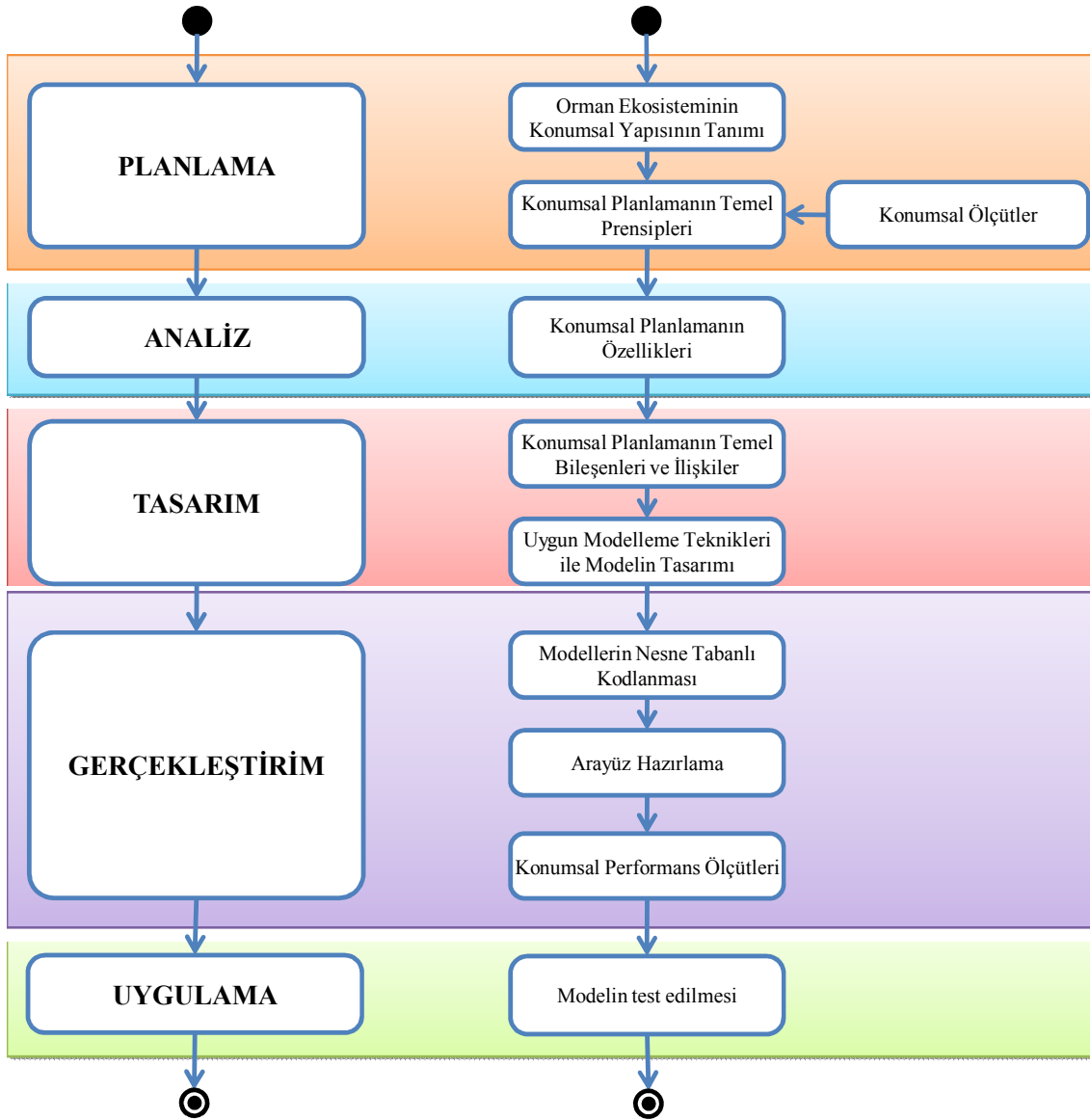
GA, sezgisel bir metod olması nedeniyle verilen bir problem için optimum sonucu bulmayabilir, ancak bilinen metodlarla çözülemeyen ya da çözüm zamanı problemin büyüklüğü ile üstel artan problemlerde optimuma yakın sonuçlar vermektedir. Çoğu pratik

optimizasyon problemlerinde karışık değişkenler (sürekli ve kesikli) ve araştırma alanında süreksizlikler söz konusudur. Eğer bu durumlarda standart doğrusal olmayan programlama teknikleri kullanılırsa hesaplamalar açısından çok pahalı ve etkin olmayan durumlarla karşılaşılır. Genetik algoritmalar bu durumlar için iyi bir çözüm oluşturmaktadır (Alataş ve Arslan, 2005).

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Kavramsal Çerçeve

Çalışmanın amacı, ekosistem tabanlı çok amaçlı planlama yaklaşımına göre uygulanabilir nitelikte konumsal orman amenajman planlarının hazırlanmasına yönelik bir konumsal karar destek sisteminin (KKDS) tasarımı ve ilgili yazılımının geliştirilmesidir. Bu kapsamda geliştirilecek olan, konumsal planlama karar destek sisteminin kavramsal çerçevesi planlama, analiz, tasarım, gerçekleştirim ve uygulama temel öğelerinden oluşmaktadır (Şekil 9).



Şekil 9. Konumsal planlamanın kavramsal çerçevesi

Planlama aşaması, KDS'nin dayandığı temel prensiplerin veya teorilerin belirlendiği aşamadır. Bu çalışmada ETÇAP olarak adlandırılan amenajman planlama anlayışı temel alınmış ve KKDS bu doğrultuda geliştirilmiştir. Bu planlama sisteminde yer alabilecek tüm konumsal özellikler belirlenmeye çalışılmıştır ve bu özellikler planlamaya yansıtılması ile birlikte konumsal düzenleme özelliğine sahip planların hazırlanması amaçlanmıştır.

Analiz aşamasında, Türkiye'de uygulanmakta olan klasik orman amenajman planlama tekniğinin problemleri ve bu problemlere çözüm olabilecek uygulanabilir nitelikte bir KKDS'nin temel özellikleri belirlenmiştir. Ülkemizde uygulanan orman amenajman planlama sistemi ile bu sistemin eksiklikleri ortaya konulmuş, ETÇAP planlamaya dayalı ve Türkiye ormancılık koşullarına uygun olabilecek bir KKDS'nin neler içermesi gerektiği belirlenmeye çalışılmıştır.

Tasarım aşamasında, KKDS'nin sistem tasarımı yapılmıştır. Bu doğrultuda öncelikle KKDS temel bileşenleri belirlenmiştir. Buradan hareketle, öncelikle konumsal veri tabanı tasarımı yapılmış ve daha sonra seçilen planlama modellerinin (konumsal simülasyon ve kombine optimizasyon) kullanım durum diyagramlarının fiziksel tasarımı gerçekleştirilmiştir. Aynı yaşlı ormanlar için simülasyon ve optimizasyon tekniği kullanılarak Keleş (2008) tarafından hazırlanan KDS, konumsal parametrelerin ve kombine optimizasyon tekniklerin planlamaya dahil edilmesi ile yeniden tasarlanmıştır. Konumsal modellemede kullanılmak üzere, aynı yaşlı meşcerelerin zamana bağlı yapılacak silvikültürel müdahaleler sonucunda, büyüme seyrini ortaya koymak amacıyla büyüme modeli tasarımı yapılmıştır. Aynı zamanda KKDS içerisinde geliştirilen ETÇAPKonsimülasyon ve ETÇAPKombine modellerinin kullanıcılar tarafından rahat ve kolay bir şekilde kullanılması amacıyla bir arayüz tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Gerçekleştirim aşamasında, tasarımı yapılmış olan konumsal planlama modellerinin kodlama işlemi, nesne tabanlı programlama dili olan *Delphi* kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tamamen modüler yapıda hazırlanan KKDS, ETÇAP programı ile uyumlu bir arayüz ile desteklenmiştir.

Uygulama aşamasında geliştirilen konumsal planlama modeli, hipotetik orman alanlarında ve Uğurlu planlama biriminde test edilmiştir. Test sırasında ortaya çıkan problemler giderilmiş ve kullanıcı dostu bir arayüz hazırlanmıştır.

2.1.1. Planlama

2.1.1.1. Yazılım ve Donanım

Bu çalışmada, KKDS'nin geliştirilmesi amacıyla veri tabanının kurulması, planlama modüllerinin geliştirilmesi ve arayüz programının geliştirilmesi için Pentium IV 2,13GHZ işlemci, 2,0 GB RAM, 160 GB HDD ve 128 MB PCI Ekran kartına sahip HP dizüstü kişisel bilgisayar kullanılmıştır. Çalışma kapsamında yapılan tüm işlemler, Windows XP Professional işletim sisteminde gerçekleştirilmiştir. KKDS'nin geliştirilmesinde kullanılan tüm yazılımlar aşağıda kısaca açıklanmıştır.

MS Access: Microsoft Access, bir veri tabanı yönetim programıdır ve belirli bir nesne ya da özneyi tanımlayan birleştirilmiş bilgilerin bir toplamı olarak tanımlanan veri tabanları oluşturmak, kullanmak ve geliştirmek için kullanılır. Oldukça basit yapısı ve sunduğu geniş fonksiyonlar ile basit veri tabanlarından gelişmiş bilgi sistemlerine çeşitli uygulamalar geliştirmek için uygun bir altyapı sunmaktadır. Ayrıca, ArcGIS coğrafi bilgi sistemleri yazılımının yeni versiyonlarında konumsal veri tabanı yapısı olarak da kullanılmaktadır.

Delphi 2009: Delphi programlama dili nesne yönelimli bir programlama dilidir. Turbo Pascal dilinin görsel sürümü denilebilir. Nesne, sınıf, kalıtım, fonksiyon, Kapsülleme ve çok biçimlilik gibi temel nesne yönelimli programlama tekniklerini içeren güçlü ve esnek bir programlama dilidir. Hiçbir geliştirme ortamında olmayan *Visual Component Library* adı verilen çok büyük bir bileşen kütüphanesi bulunmaktadır. Grafik çizmek, elektronik posta göndermek, ağ üzerindeki makinelere erişmek, Explorer ağacı görüntüsü vermek, ses dosyalarını çalmak, veri tabanında yer alan bilgilere erişmek, internet protokolleri kullanmak, değişik dosya formatlarını okuyabilmek gibi pek çok iş için Delphi hazır bileşenler sunmaktadır (Köseoğlu, 2004).

ArcGIS Desktop 9.x: ArcGIS™ Desktop; ArcView® 9.x, ArcEditor™ 9.x ve ArcInfo™ 9.x modüllerinden oluşmaktadır. Bu ürünler içerdiği konumsal analiz modülleri ve veri yapıları ile farklılık göstermekte, en kapsamlıdan en temel (basit) modüle göre ArcInfo™ 9.x, ArcEditor™ 9.x ve ArcView® 9.x sıralanmaktadır. Arc/GIS konumsal veri yönetimini sağlayan güçlü bir CBS yazımlı olup; harita otomasyonu, konumsal veri dönüşümü, veri tabanı yönetimi, konumsal analiz, harita etiketle ve sunumu gibi birçok analiz işlemlerini yapabilmektedir.

Bu çalışmada oluşturulan konumsal veri tabanında yer alan ve geliştirilen modellerin

denenmesi için kullanılan harita altlıkları, ArcGIS 9.3 programıyla sayısallaştırılarak elde edilmiştir. Bunun için belirlenen grafik veriler, çalışma alanına ait yüksek çözünürlüklü uydu görüntüsü (Ikonos 1 metre) kullanılarak sayısallaştırılmıştır. Sayısallaştırılmış grafik verilerin topolojik özelliklerine ait tablolar (öznitelik verileri), sözü edilen program tarafından otomatik olarak oluşturulmaktadır. Çalışma alanının ekosistem tabanlı çok amaçlı planlanması amacıyla, konumsal veri tabanının tüm öğeleri ile tanımlanabilmesi gerekmektedir. Bu amaçla, grafik verilere bağlı olan öznitelik veriler tanımlanmış ve kontrol edilmiştir. ArcGIS programı bu projede, ilgili bir planlama birimine ait tüm grafik verilerin (nokta, çizgi, alan detaylı haritalar) sayısallaştırılması, topolojilerin kurulması, yani konumsal veri tabanının kurulması için temelde kullanılmıştır. Ayrıca, konumsal planlama için yakınlık (buffer) analizi yapılarak komşuluk verilerin elde edilmesine altlık oluşturmaktadır. En önemli katkısı ise, konumsal planlama esnasında elde edilen bölmecik bazındaki tüm çıktıların (servet, artım, eta, müdahale seçenekleri, açma ve blok alanları gibi) haritaya aktarılması ve sunumu aşamasında kullanılmıştır. Burada elde edilen tüm sonuçların planlama yörüngesi boyunca sunulması ve farklı planlama alternatiflerinin karşılaştırılması için CBS kullanılmıştır.

ArcView[®] 3.2: ESRI firması tarafından geliştirilen bu yazılım, bölmecikler arasındaki komşuluk mesafelerini belirlemek amacıyla, ArcView 9.3 tarafından oluşturulan yakınlık haritasını kullanmakta ve komşuluk verilerini “Memotools” yardımıyla oluşturmaktadır. Bu araç çubuğu programa ücretsiz olarak eklenebilen bir script olup, komşuluk verilerinin elde edilmesi için ara tablo üretiminde kullanılmaktadır. Elde edilen bu tablo hazırlanan bir arayüz programı yardımıyla bölmecik bazında istenilen mesafeler için komşuluk değerlerini vermektedir.

LINDO ve LINGO: Lindo System Inc. Şirketi tarafından üretilen ve yöneylem araştırması tekniklerinden doğrusal, doğrusal olmayan, tamsayılı ve stokastik matematiksel modelleri çözen ticari bir yazılımdır. Windows ortamında çalışması en büyük avantajlarından biridir. LINGO genelde matris çözücü bir program olup, kurulan (formüle edilen) matematiksel modelleri çözmek, duyarlılık analizi yapma fırsatları sunmak ve çözüm sonuçları için rapor oluşturmak gibi karar vericilere pek çok fayda sağlayabilen bir yazılımdır. Bu çalışmada, matris şekline dönüştürülmüş matematiksel modellerin çözülmesi amacıyla kullanılmıştır. Bu program sonucu elde edilen model sonuçları, konumsal planlama yapım aşamasında, modelde yer alan kısıt ve amaçlara göre en iyi çözüm değerini göstermektedir.

2.1.2. Sistem Analizi

Türkiye’de konumsal orman amenajman planlarının hazırlanmasına yönelik bir karar destek sisteminin öncelikle Türkiye’nin ormancılık politikası ve sosyo-ekonomik koşullarına uygun olarak tasarlanması gerekmektedir. Temel amaç; hiyerarşik planlama ve sistem yaklaşımı çerçevesinde konumsal bilgi sistemleri, kombine optimizasyon teknikleri ve nesne tabanlı programlama dili kullanılarak, modüler yapıda ekosistem tabanlı çok amaçlı planlamaya dayalı bir KKDS geliştirmektir. Burada, KKDS geliştirmek için mevcut gereksinimler ve sistemin mevcut yapısı/akışı sunulmaktadır. ETÇAP anlayışının yanı sıra, Türkiye’de konumsal orman amenajman planlarının hazırlanmasına hizmet edecek bir KKDS’ inin tasarımı şu bileşenleri içermelidir;

- Orman ekosisteminin konumsal özellikler içeren tüm bileşenleri bir bütün olarak değerlendirilebilmelidir (Bütünsel Yaklaşım Tarzı).
- Hiyerarşik planlama yapısı izlenmeli; uzun vadeli stratejik planların yapımı simülasyon ve doğrusal programlama veya amaç programlama ile ve bu planların kısa vadeli taktiksel versiyonu ise tabu arama veya tavlama benzetimi algoritması gibi kombine optimizasyon teknikleriyle gerçekleştirilmelidir.
- KKDS’nde odun hammaddesi üretiminin yanı sıra orman ekosisteminin sunduğu diğer hizmet ve ürünlere de amaç olarak planlarda yer verilmelidir.
- Hâsılat ve büyüme modellerinin kullanımı ile meşcerelerin zamana bağımlı değişimlerini yapılacak olan müdahalelerin etkisini gösterecek şekilde (sıklık ve gençlik bakımı gibi) sayısal bazda tanımlanmasına izin vermesi gerekmektedir.
- Yazılımın iskeleti, CBS, Yöneylem araştırması ve Kombine optimizasyon tekniklerinin uyumlu birleşiminden oluşmalıdır.
- Orman ekosisteminin planlanmasını etkileyen tüm konumsal özelliklerin belirlenmesi ve parçalılık indeksleri ile ortaya konulması gerekmektedir. Özellikle, parça tanımlamasına, konumsal parametrelere ve parçalılık indekslerine yer verilmelidir. Farklı işletme amaçları (yaban hayatı yaşam alanı, su üretimi enyilenmesi, yangın riskini azaltma gibi) ve koruma hedeflerine

ulaşmak amacıyla istenilen hedef orman yapısına ulaşmak için parçalılık indeksleri ve konumsal parametreleri kullanılmalıdır.

- Konumsal veri tabanının oluşturulması, ve kullanımında ticari CBS yazılımlarından bağımsız olmalıdır.
- Yazılım modüler bir yapıya sahip olmalıdır. İstenildiğinde, meşcerelerin artım ve büyümesini hesaplayan modüller, yangın davranışını tahmin eden modüller, görsel kaliteyi değerlendiren modüller, yaban hayatı modelleri ve konumsal analizler yapabilen modüllerin bütünleştirilmesine fırsat vermelidir.
- Kodlama, Nesne Tabanlı Sistem Analizi yaklaşımı ilkeleri dâhilinde yine bir Nesne-Tabanlı Programlama dili ile gerçekleştirilmelidir. Böylece, modelin yazılımı, kullanımı ve güncelleşmesi daha sistemli ve kolay olacaktır.
- Modele kullanım kolaylığı getirmek amacıyla bir arayüz programı eklenmelidir. Geliştirilen arayüz, kullanıcı dostu olacak şekilde tasarlanıp karar vericinin sorunlarına cevap verecek şekilde geliştirilmelidir.
- KKDS amenajman planı çıktılarını tablo, metin, grafik ve haritalar şeklinde sunabilmelidir. Türkiye ormancılık politikası gereği geliştirilen orman amenajman planlama yönetmeliği ilkelerine uygun şekilde plan dökümü ortaya konulmalıdır.

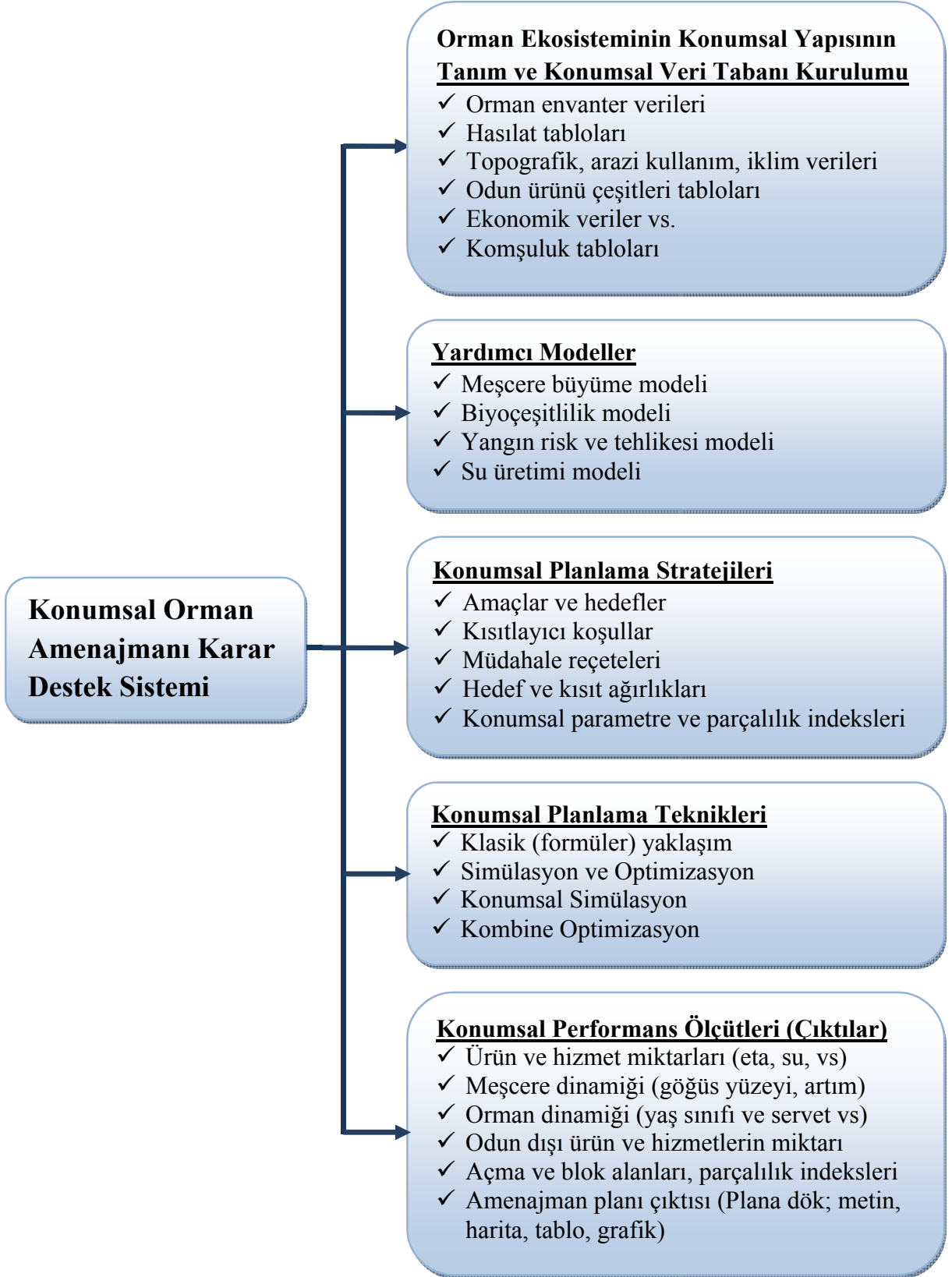
2.1.3. Sistem Tasarımı

KKDS ile hazırlanan konumsal amenajman planı tasarım açısından ele alındığında genelde beş önemli bileşenden meydana geldiği görülmektedir.

- Konumsal Planlama probleminin ve sistemin belirlenmesi (amaç, kapasite, konumsal parametre, komşuluk verileri, konumsal veri tabanı vb tüm parametrelerin belirlenmesi, verilerin toplanması),
- Temel üretim birimleri (analiz alanları; örneğin meşcere, yaş sınıfları) için alternatif müdahale seçeneklerinin belirlenmesi ve meşcere gelişiminin (simülasyon) ortaya konulması, konumsal düzenleme için yakınlık ve komşuluk mesafeleri kullanılarak açma ve blok alanlarının belirlenmesi

- Konumsal Planlama modelinin oluşturulması (amaç, kısıtlayıcı koşullar, hedefler, konumsal parametreler, parçalılık indeksleri, hedef ve kısıt ağırlıkları ile diğer kurallar vs),
- Konumsal simülasyon ve kombine optimizasyon modelinin çalıştırılması,
- Sonuçların biyolojik kanuniyetlere ve konumsal düzenlemeye uygunluğunun test edilmesi, farklı alternatiflerin karşılaştırılması ve en uygun planlama alternatifinin uygulamaya aktarılması.

ETÇAP yaklaşımına uygun geliştirilen konumsal planlamaya yönelik KKDS'nin sistem mimarisinin genel yapısı beş önemli bileşenden oluşmaktadır (Şekil 10). KKDS'nin ilk aşamasında, orman ekosisteminin konumsal yapı ve kuruluşunun ortaya konulması, ilgili verilerin (hasılat tablosu, bölmecik tablosu, komşuluk mesafesi tablosu, ürün çeşitleri tablosu, aktüel envanter verileri gibi) elde edilmesi ve sisteme girilmesi işlemlerinden oluşan veri tabanı bileşeni yer almaktadır. İkinci aşamada ise, odun üretimi ile birlikte planlamada yer alacak diğer orman fonksiyonları ve ekonomik modellerin yer aldığı yardımcı modeller yer almaktadır. Bu yardımcı modellerin planlama sistemindeki rolü, orman fonksiyonlarının planlamaya sayısal olarak yansıtılmasıdır. Böylelikle karar vericiler, odun üretimi ile birlikte orman ekosisteminin sunduğu diğer ürün ve hizmetlerin zamana bağlı değişimlerini sayısal veya ekonomik değerler itibariyle görebilecek ve daha isabetli kararlar alabileceklerdir. Orman ekosistemini oluşturan analiz alanlarına (işletme sınıfı, orman fonksiyonu alanları, meşcereler vs) uygulanacak silvikültürel müdahale rejimlerinin (doğal veya silvikültürel müdahale dizini/seti) belirlenmesi ile birlikte, amaçların ve bu amaçları sınırlandıran kısıtlayıcı koşulların ortaya konulması, hedeflerin belirlenmesi, ürün ve hizmetlerin zamana bağlı olarak üretim politikalarının geliştirilmesi planlama stratejileri bileşenini oluşturmaktadır. Konumsal yapının kontrolü amacıyla, konumsal parametreler ve parçalılık indekslerinin planlamaya dahil edilmesi gerekmektedir. Bu şekilde, hazırlanacak olan planlarda konumsal parametreler eklenmekte ve bu parametrelerin değiştirilmesi ile farklı stratejiler türetilmektedir. Planlama stratejileri belirlendikten sonra probleminin çözümüne ve geçerliliğin sağlanmasına yönelik alternatif modelleme tekniklerinin yer aldığı planlama teknikleri bileşeni yer almaktadır. KKDS'nin son bileşenin ise, alternatif planlama stratejilerinin çözüm sonuçlarının (çıktılarının) metin, harita, tablo veya grafik olarak sayısal olarak sunulduğu ve bu stratejilerin karşılaştırılması ile işletme amaçlarımıza en uygun alternatifini seçilmesine yardım edecek konumsal performans göstergeleri bileşeni bulunmaktadır.



Şekil 10. Orman amenajmanı KKDS'nin mimarisi (Keleş, 2008'den uyarlandı)

2.1.3.1. Orman Ekosisteminin Konumsal Yapısının Tanımlanması ve Konumsal Veri Tabanı Kurulumu

Konumsal planlama için, sosyo-kültürel verilerle birlikte grafik ve öznitelik verilerden oluşan tüm konumsal parametrelerin belirlendiği konumsal veri tabanına gereksinim duyulmaktadır. Geleneksel verilere ilave olarak, konumsal planlama modelinin geliştirilmesinde kurulacak konumsal veri tabanında olması gereken veriler aşağıdaki şekilde özetlenebilir;

- Planlama biriminin sosyo-kültürel yapısını ortaya koyan veriler (nüfus özellikleri, tarımsal faaliyetler ve göç durumu vs.)
- Planlamaya konu orman ekosisteminin alanı, konumu ve topografik yapısı (eğim, bakı, yükselti vs.)
- Alanın yetişme ortamı ve toprak özellikleri,
- Planlanan veya var olan orman yol ağı altyapısının konumsal olarak tanımlanması,
- Planlama birimi içerisindeki tüm bölmeciklerin belirlenen mesafeler için komşuluk ilişkilerinin oluşturulması,
- Su kaynaklarının (göl, dere, nehir, gölet vs.) konumsal dağılımının tanımlanması,
- Orman alanındaki yaban hayatı kaynakları ve kullanım alanlarının belirlenmesi; beslenme kaynakları, su kaynakları, barınma yerleri, çiftleşme alanları, yaban hayatı geçiş koridorları.
- Orman alanındaki odun hammaddesi dışında elde edilen ürün ve hizmetlerin (rekreasyon-estetik değerler, mineral kaynakları, mantarlar, yosunlar ve tıbbi ve aromatik bitkilerin tanımlanması, toprak koruma ve su üretimi) değerlerinin belirlenmesi ve konumsal dağılımlarının ortaya konması.
- Orman alanındaki geçmiş ve mevcut etkinliklerin konumsal dağılımı; gençleştirilmesi devam eden alanlar, sürekli yangın ve diğer doğal olaylardan etkilenen alanlar, aşırı otlatma, geçmiş dönemde gençleştirilmiş alanlar (erteleme süresi içerisindeki açma alanları tespiti için),

- Çalışma alanında yer alan orman ekosistemini dolaylı yada doğrudan etkileyen diğer orman dışı tüm alanların konumsal dağılımlarının ve orman alanı ile olan komşuluk özelliklerinin tanımlanması,

Orman ekosistemlerinin hiyerarşik sınıflandırılmasında, ülkemizde halen uygulaması devam eden planlama sürecinde kullanılmakta olan ayırım öğeleri dikkate alınmıştır. Burada, planlama birimi; işletme sınıfı, ana ve yardımcı orman fonksiyonları, meşcere tipleri (bonitete göre ayrılmış), bölme ve bölmecik gibi orman sınıfları dikkate alınmaktadır ve orman envanter verilerinin geliştirilmekte olan amenajman KKDS'ne girilmesinde ve işlenerek kullanılabilir hale getirilmesinde, Sivrikaya (2008) tarafından klasik planlamaya yönelik geliştirilen yazılımının bazı öğeleri değiştirilerek kullanılmıştır. Ayrıca, meşcerelerin daha hassas tanımlanabilmesi için, bölmecik haritası ile deneme alanı verileri konumsal olarak birleştirilmektedir. Bu sayede, her bir bölmeciğe düşen deneme alanı verileri kullanılarak bonitet, yaş, hacim artım gibi meşcere parametreleri daha hassas bir şekilde belirlenmektedir. KKDS için gerekli konumsal orman veri tabanı, doğrudan kullanıcının envanter verilerini sisteme girmesine, belirlediği meşcere tiplerine göre analiz etmesine ve alternatif planlar üretmesine hizmet edecek şekilde tasarlanmıştır. Konumsal veri tabanında yer alan veri/bilgi ve özellikleri kısaca özetlenecek olursa; orman ekosistemini tanımlanması için yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri, hava fotoğrafları ve topografik haritalar kullanılarak meşcere sınırları, dereler, yollar, topografya, vejetasyon gibi konumsal veri katmanlarının oluşturulması gerekmektedir. Aynı zamanda, orman ekosistemini doğrudan yada dolaylı şekilde etkileyen tüm konumsal parametrelerin (su kaynakları (göl, gölet, baraj gölü gibi), kayalık alanlar, yaban hayatı barınma-beslenme-çiftleşme alanları gibi) ve komşuluk bilgileri verilerinin bölmecik bazında tanımlandığı konumsal veri tabanının oluşturulmalıdır. Sistemik olarak belirlenen ve orman ekosistemini daha iyi tanımlayabilmek amacıyla bölmecik bazında alınan örnekleme alanlarında yapılan envanter (alan, ağaç serveti ve artımı, yetişme ortamı, odun dışı orman ürünleri vs) ölçümlerine ilişkin öznel veri tabanı kurulmalıdır. Orman ekosistemini oluşturan meşcerelerin yapılacak silvikültürel ve doğal müdahalelere bağlı olarak ileriki planlama periyotlarında gelişimi (meşcere parametrelerinin nasıl değişeceği) ve buna bağlı olarak topluma sunacağı değerlerin sayısal olarak belirlenebilmesi için modeller kullanılmaktadır. Örneğin, meşcere parametrelerinin uzun dönem gelişiminin hasılat tablosu değerlerine benzetilmesi ile tahmininde “büyüme ve artım modelleri”, karbon dengesinin belirlenmesinde ise “karbon modelleri” planlama yazılımının diğer önemli veri

tabanı bileşenleridir. Bu modellerin her birinin çalışması ve ihtiyaç duyulan veri seti-çiktıları üretmesi için gerekli veri tabanı hazırlanmalıdır. Planlama aşamasında işletme amaçlarına/hedeflerinin ortaya konulması, idare sürelerinin, aralama ve gençleştirme rejimlerinin ve koruma zonlarının oluşturulması gibi bir takım kararların alınması için gerekli olan ölçüm, analiz ve mülakatların yapılması ve veri tabanında depolanmasıdır.

2.1.3.2. Yardımcı Modeller

Ekosistem tabanlı çok amaçlı planlama esasına dayalı bir KKDS'nde orman ekosistemlerin sunmuş olduğu ürün ve hizmetlerin meşcere parametreleri ile ilişkilendirilerek modellenmesi gerekmektedir. Ürün ve hizmetlerin amenajman planlarına yansıtılmasında en uygun yol, her bir orman fonksiyonunun bölmecik bazında meşcere parametreleri ile ilişkiye getirilmesidir. Örneğin, ormanların su üretimi ve toprak koruma fonksiyonları ile meşcerelerin göğüs yüzeyi ve ağaç sayısı arasında, karbon depolama ve oksijen üretimi ile meşcere serveti arasında istatistiksel ilişkiler bulunmaktadır. Orman fonksiyonlarının amenajman planlarına yansıtılması esnasında kullanılan modeller (su üretimi, toprak koruma, karbon birikimi, oksijen üretimi, odun üretimi ekonomik modeli, odun ürünü çeşitleri modeli) Keleş (2008) tarafından detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Bu yardımcı modeller konumsal planlarda kullanılmış ve zamansal olarak değişimleri planlama yörüngesi boyunca izlenmiştir. Bu şekilde, bölmecik bazında her bir yardımcı modelin verileri planlama yörüngesi boyunca veri tabanında saklanmakta ve istenildiği anda harita üzerinde konumsal olarak dağılımı izlenmektedir.

2.1.3.3. Planlama Stratejileri

Orman amenajmanında planlama stratejileri, bir planlama biriminden beklenen farklı amaçlar, hedefler, kısıtlayıcı koşullar, analiz alanlarına¹ uygulanacak doğal ve yapay müdahaleler ile en uygun planlama tekniğinin seçilmesi gibi "kararlar dizisi"nden oluşmaktadır. Daha açık bir ifadeyle, bir planlama stratejisi tanımlanırken, ormanın gelecekteki arzu edilen durumu, ekonomik kaynakların düzenlenmesi, plan çıktılarının kontrolü ve silvikültürel müdahalelerin düzenlenmesi anlaşılmaktadır (Keleş, 2008).

¹ Analiz alanı; orman ekosistem özellikleri, işletme amaçları ve planlama faaliyetlerine göre belirlenen ve planlamada analiz ve karar verme aracı olarak kullanılan temel orman parçaları yani müdahale alanları olarak tanımlanabilir.

Giderek artan ürün ve hizmetlerin birçoğu çelişeceğinden belirlenen hedeflere tam olarak ulaşmak mümkün olamamaktadır. Bunun için en uygun yaklaşım beklenen değerleri kesintisiz sunabilecek bir hedef orman yapısının sayısal olarak tanımlanmasıdır. İşletme teknikleri ya da silvikültürel müdahaleler orman yapı ve kuruluşunu belirleyen ve aynı zamanda faydalanmayı gerçekleştiren araçlardır. Planlama alanının tür, kapalılık, gelişme çağları, verimlilik, toprak türü ve eğim gibi faktörlere göre nasıl sınıflandırılacağı, her bir meşçereye ne zaman, kaç tane ve ne tür alternatif müdahalelerin uygulanacağı ve her bir müdahale sonrası meşçere gelişim seyrinin sayısal olarak nasıl belirleneceği teknik müdahalelerle ilgili önemli planlama kararlarını oluşturmaktadır. Belirlenen stratejilerde, gençleştirme alanlarının nasıl bir konumsal dağılım oluşturacağı ve hangi konumsal parametrelerin dikkate alınacağı gibi önemli konumsal özellikler planlama stratejilerine eklenmesi ile orman ekosisteminin konumsal yapısı planlama yörüngesi boyunca kontrol edilecektir. Planlama yörüngesi boyunca her bir meşçereye uygulanabilecek alternatif müdahaleler mevcut durum, uygulanabilirlik, belirlenen silvikültürel amaçlar ve orman işletme amaçları doğrultusunda planlayıcı tarafından belirlenmektedir. Alan hazırlığı, plantasyonla dikim, dolgu dikimi, gübreleme, siperde ekim, temizleme, ayıklama, aralama, tek ve çok aşamalı gençleştirme olmak üzere farklı teknik müdahaleler meşçerelerin mevcut durumu ve istikbaldeki durumu itibariyle uygulanabilirlik şartları çerçevesinde bir dizi reçete-rejim şeklinde belirlenirler. Bu kapsamda, geliştirilecek olan konumsal planlama modeli ortaya çıkan çok sayıda plan seçenekleri arasından işletme amacını eniyileyen müdahale rejimini belirleyebilecektir (Başkent vd., 2002).

Planlama stratejileri hakkında verilen tüm bu bilgiler ışığında örnek bir konumsal planlama stratejisi aşağıdaki bilgi kutucuğunda tanımlanmaktadır. Bu bilgiler aynı zamanda bir planlama stratejisinin temel parametrelerini de ifade etmektedir. Diğer taraftan, bu parametrelerde yapılacak her bir değişiklik, yeni bir planlama stratejisini oluşturmaktadır.

Örnek Planlama Stratejisi:

a) Geleneksel öğeler

- Planlama yörüngesi 100 yıl ve periyot genişliği 10 yıldır.
- Her bir analiz alanına tıraşlama kesimi ve doğal gençleştirme uygulanabilmektedir.
- Gençleştirme alanları belirlenirken, ilk olarak en yaşlı meşcerelere öncelik verilmelidir.
- 40-70 yaş arası servetin %5 miktarı kadar bakım kesimleri uygulanmaktadır.
- Minimum kesim yaşı 100 ve maksimum kesim yaşı 180 yıldır.
- Amaç kaliteli odun üretimi miktarının eniyilenmesidir. Iskonto oranı %3'tür.
- Alan kontrolü politikası vardır.

b) Konumsal öğeler

- Yakınlık mesafesi "0" metre, komşuluk mesafesi ise 100 metredir.
- Kesim bloğu büyüklükleri en az 5ha, hedeflenen değeri ise 12 ha'dır.
- Maksimum açma alanı büyüklüğü 30 ha'dır.
- Erteleme süresi 20 yıldır (2 periyot).
- 0-20, 21-60, 61-100 ve 100 yaşından büyük bölmecikler, 100 metre yakınlık mesafesinde parça sayılmaktadır.
- Ağaçlandırma alanı miktarı OPA alanının %5 değerini aşmamalıdır, iyi bonitete sahip ve yola en yakın alanlara öncelik verilmelidir.

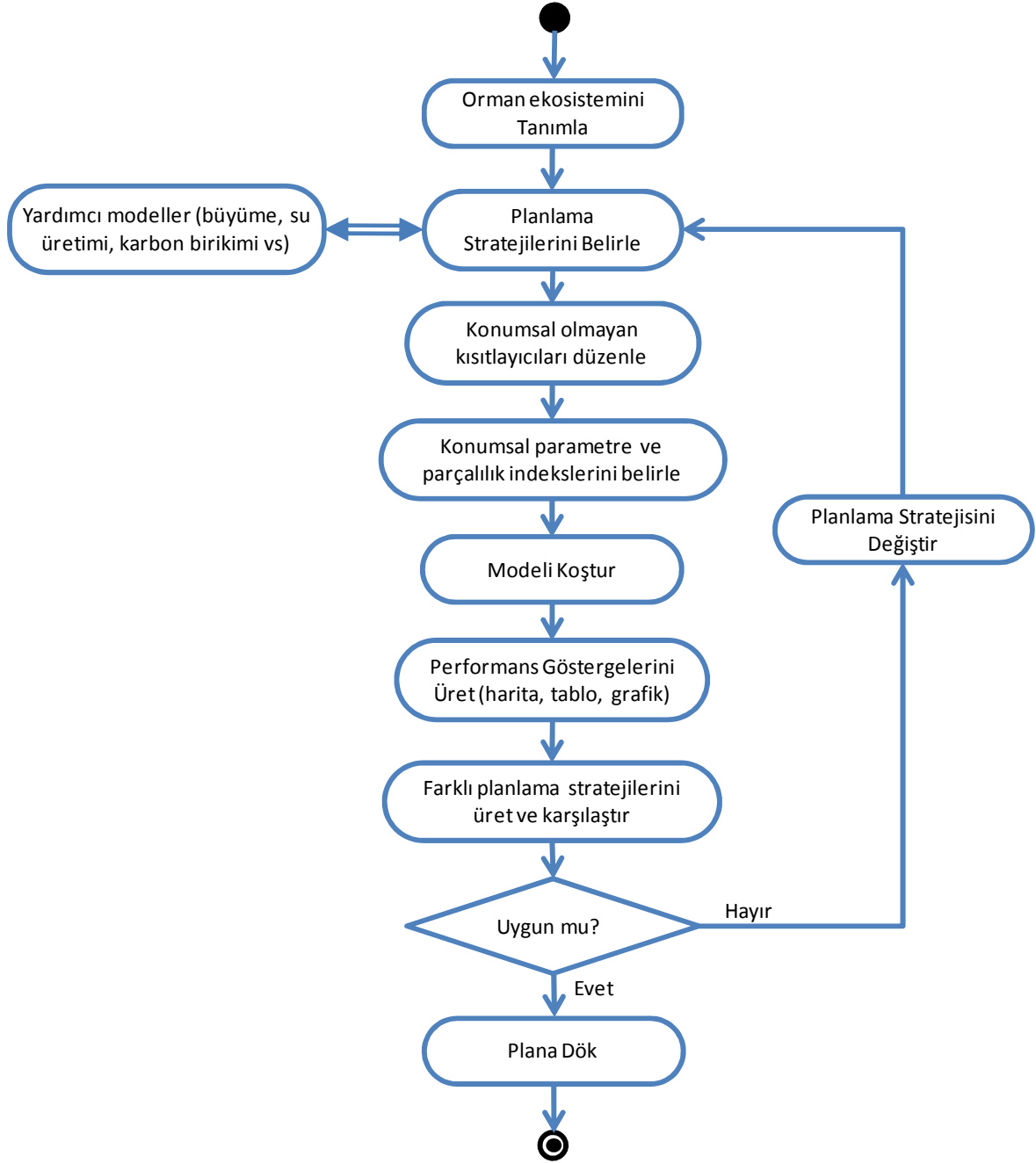
2.1.3.4. Planlama Teknikleri

Bu çalışma kapsamında, uygulanabilir bir orman amenajman planı geliştirmek amacıyla konumsal parametreleri ve parçalılık indekslerini planlara yansıtan, konumsal simülasyon ve kombine optimizasyon tabanlı planlama modelleri geliştirilmiştir.

2.1.3.4.1. Konumsal Simülasyon Modeli

Simülasyon teknikleri genellikle belirli bir strateji ile başlar ve bu stratejinin uygulanması ile beklenen sonuçları planlama yörüngesi boyunca rapor eder. Simülasyon tabanlı konumsal orman amenajmanı planlama modelinde, öncelikle orman ekosisteminin aktüel durumu yani mevcut konumsal yapı ve kuruluşu tanımlanır. Bu aşamada, orman ekosistemi analiz alanlarına ayrılır. Yine karar verici tarafından belirli planlama stratejileri ortaya konulur. Bu aşamada ise, temel simülasyon parametreleri (planlama yörüngesi ve periyodu uzunlukları gibi), işletme amaçları ve koruma hedefleri, potansiyel teknik silvikültürel müdahaleler ve bunların analiz alanlarına uygulanma kuralları tespit edilir. Bu işlemler yapıldıktan sonra, mevcut orman kuruluşu periyodik olarak ardışık çözümlerle

belirlenen planlama yörüngesi sonuna kadar kestirilir. Sonuçta, orman ekosisteminden planlama stratejilerine bağlı olarak elde edilen çıktılar alınır ve değerlendirilir (Şekil 11).



Şekil 11. Simülasyon tabanlı konumsal orman amenajmanı planlama model yapısı

Orman ekosisteminin tanımlanması; orman ekosistemlerinin yapı ve kuruluşu ortaya konulur. Orman ekosistemleri, belirli amaç için ayrılmış ve homojen gruplardan oluşan alt birimlerden (işletme sınıfı, fonksiyon, bölme, meşcere ve bölmecik) meydana gelmektedir. Modelde, ekosistemin en küçük parçası olan bölmecikler temel üretim birimi olarak

değerlendirilmiştir.

Planlama Stratejileri belirlenmesi, konumsal simülasyonun bu aşamasında karar verici veya kullanıcı tarafından bir takım veri girişine bağlı olarak planlama stratejileri geliştirilir. Bunlar:

Planlama yörüngesi ve periyot uzunlukları belirlenmektedir. Zaman ayarlanması ile orman ekosisteminin ne kadarlık bir süre için dinamik yapısının tahmin edilmesinin istenildiğini belirlenir.

Müdahale türü ve sınırları seçilir. Müdahaleler, orman amenajmanında büyüme ve hasılatı (ürün ve hizmet üretimi) tetikleyici bir mekanizma görevi üstlenmektedir. Müdahaleler, ürün ve hizmetlerin üretimi, müdahale edilen alanlar, işletmenin yüklediği masraflar ve elde ettiği gelirler, orman ve meşcere parametreleri gibi işletmenin başarısını ölçen değişkenlerin rapor edilmesinde çok önemli bir yere sahiptir. Bu aşamada, öncelikle, karar verici tarafından, planlama birimini oluşturan işletme sınıfları, orman fonksiyonları, ağaç türleri, meşcere tipleri, koruma durumu, topografik yapı, bonitet ve idare süresi gibi parametrelere bağlı olarak analiz alanları belirlenir. Daha sonra her bir analiz alanına tahsis edilecek silvikültürel müdahale rejimleri ortaya konulur. Silvikültürel müdahale rejimleri, herhangi bir analiz alanına zamansal olarak uygulanacak silvikültürel müdahale dizinleridir.

Geçişler belirlenir. Orman ekosistem parçaları (analiz alanları) uygulanan doğal veya silvikültürel müdahaleye bağlı olarak bir takım değişmelere maruz kalmaktadır. Simülasyonun bu aşamasında, üretim birimlerine (genellikle meşcere tipleri veya ağaç türleri) uygulanacak silvikültürel veya doğal müdahalelere göre, mevcut analiz alanının müdahaleden sonra geçeceği yeni/hedef ağaç türü veya meşcere tipleri belirlenmektedir.

Kurallar ortaya konulur. Burada, orman ekosistemini oluşturan üretim birimlerine (meşcere) uygulanacak silvikültürel müdahalelerin önceliklerinin belirlenmesi ile birlikte her bir analiz alanının kesim öncelikleri belirlenmektedir. Genellikle simülasyon modellerinde kullanılmakta olan dört önemli kesim önceliği kuralı vardır. Bunlar;

- En yaşlı meşcerelerin öne alındığı kesim önceliği kuralı,
- Birim alan üretiminin en fazla olduğu meşcerelerin öne alındığı kesim önceliği kuralı,
- En düşük artımlı meşcerelerin öne alındığı kesim önceliği kuralı,
- En fazla artım kaybının olduğu meşcerelerin kesim önceliği kuralıdır.

Kesim önceliği kuralı simülasyon tabanlı orman amenajmanı planlamasında oldukça

önemlidir. Örnek olarak genç yaşlarda (40-50) meşcereler hızlı bir şekilde büyümelerine devam ederken, ileriki yaşlarda (100-120) meşcerelerin büyümesi yavaştır. Bu nedenle, en yavaş büyüyen yani artım hızı azalan meşcereler öncelikle kesime alınmaktadır. Bu önceliği uygun bir şekilde seçmek için model, meşcerelerin birim alandaki hacimleri ile gelecek periyotta tahmin edilen birim alandaki hacimlerini karşılaştırır. Daha sonra model meşcereleri artımlarına göre sıralar ve en az büyüme oranına sahip meşcerelere müdahale eder.

İşletme amaç ve koruma hedefleri belirlenir. Burada planlayıcı tarafından, söz konusu orman ekosisteminden zamana bağlı olarak ulaşılmak istenen hedefler ortaya konulur. En yüksek odun üretimi, eşit yada dalgalı alan ve eta kontrolü gibi orman ekosistemini düzenleyici hedeflerin ortaya konulması örnek olarak verilebilir.

Yardımcı modeller planlama modeline dahil edilir. Bu aşamada, kullanılacak hasılat tablosunun seçilmesi, odun ürünü çeşitleri tablosunun seçilmesi, odun üretimine yönelik ekonomik verilerin girilmesi, karbon depolama, su üretimi veya diğer orman fonksiyonlarının sayısal olarak modele yansıtılmasını sağlayan modellerin seçimi veya gerekli veri ve bilgilerin girilmesi gerçekleştirilmektedir.

Konumsal parametrelerin ve parçalılık indekslerinin belirlenmesi; orman ekosisteminin konumsal yapısının kontrolü için, konumsal parametre ve parçalılık indekslerinin tanımlanması gerekmektedir. Gençleştirme alanlarının konumsal dağılımını belirleyen kesim bloğu ve açma alanı ile ilgili olan kısıtlamalar ile, diğer orman alanlarının zamansal olarak kontrolünü sağlayan parçalılık indeksleri tanımlanmaktadır.

Simülasyon modeli çalıştırılır; Belirlenen plan stratejisine bağlı olarak her bir bölmecik periyodik olarak müdahale kuralına göre sıralanır. Daha sonra, bu sıralama dikkate alınarak ve konumsal parametreler (açma ve blok alanı) sağlanması şartıyla simülasyon modeli çalıştırılır. Analiz alanlarına müdahale edilirken tüm meşcereler öncelikle bakım müdahalesine alınmakta, daha sonra bu bölmecikler eta yada alan kısıtını dolduracak şekilde gençleştirme müdahalesine tabi tutulmaktadır. Müdahaleler karar verici tarafından belirlenen hedeflere ulaşıldığında son bulur. Belirlenen hedefe ulaşılmaması durumunda kesim önceliği kuralı veya hedef değerlerinde değişiklik yapılır. Belirlenen hedefe ulaşılmadığı zaman hazırlanan program hata kodu üretmekte ve simülasyonu o periyotta durdurmaktadır. Her bir bölmecik, değişik silvikültürel müdahale rejimlerine maruz kalmakta ve zamana bağlı olarak yapı ve kuruluşu (yaş, servet, atım, göğüs yüzeyi, ağaç türü vs) ile hizmet değerleri (karbon birkimi, su üretimi, odun üretimi vs)

değişmektedir. Gençleştirmeye alınan meşcereler müdahaleden sonra ilk yaş sınıfına geçmekte, bakıma alınan meşcereler ise bir üst yaş sınıfına geçmektedir. Bu şekilde ilk plan periyodundaki müdahale işlemi tamamlanmakta, ardışık olarak bu işlemler simülasyon süresi bitinceye kadar yada hedefleri sağlayamadığında kendiliğinden duruncaya kadar devam etmektedir. Kesim ve bakım periyotlarında meşcerelerden elde edilen her türlü çıktılar aynı zamanda planlama stratejilerinin çözümü sonucunda orman ekosisteminden elde edilen ürün (eta, NBD) ve hizmet (karbon birikimi) değerlerini göstermektedir.

Performans göstergelerinin oluşturulması aşaması modelin son aşaması olup performans göstergeleri olarak adlandırılan raporların sunulmasıdır. Model, karar vericilerin isteklerine bağlı olarak en küçük müdahale alanından tüm ekosisteme düzeyine kadar çok sayıda çıktıları analiz etmek ve sunma imkanı sağlar. Performans göstergeleri, grafik, tablo, metin ve harita formatlarında üretilebilir.

2.1.3.4.2. Konumsal Simülasyon Modeline İlişkin Kullanım Durumları

Kullanım durumlarının temel amacı, kullanıcı gereksinimlerinin modellenmesinde kullanılmakta ve böylece sistem ile kullanıcıların fonksiyonları tanımlanmaktadır. Burada yazılımın davranışı bir kullanıcı gözüyle incelenir. Dolayısıyla bu diyagramların sahip olduğu adımlar ile bir sistemin temel sınıfları (statik yapısı) belirlenir ve yazılımın kullanım kılavuzu oluşturulur. Buradan hareketle, geliştirilen KDS içerisinde yer alan orman simülasyon modeline ilişkin kullanım durumları Keleş (2008) tarafından açıklanmıştır. Ancak, konumsal simülasyonda olması gereken, konumsal parametre kullanım durumu (Tablo 3) ile parçalılık indeksleri kullanım durumu (Tablo 4) bu bölümde açıklanmıştır. Konumsal parametre ve parçalılık indeksleri içi hazırlanan kullanım durumu aşamalarının yer aldığı tabloların her birinde, numaralı olarak verilen adımlar, kullanıcı tarafından gerçekleştirilen işlemleri kapsamaktadır. Madde işaretli ve italik yazı tipinde olan durumlar ise, kullanıcı tarafından gerçekleştirilmemiş işlemlerin olması veya bu işlemlerin yanlış yapılması durumunda, sistem tarafından varsayım olarak gerçekleştirilecek işlemleri ifade etmektedir.

Tablo 3. Konumsal parametre belirleme kullanım durumu aşamaları

<p>Kullanım Durumu Adı: Konumsal parametreleri belirle Aktör: Sistem Kullanıcısı Amaç: Modele dahil edilecek konumsal parametrelerin seçilmesi ve gerekli düzenlemelerin yapılması</p>
<p>Kullanım Durumu Aşamaları</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Kullanıcı konumsal parametre modülünü seçer. <ul style="list-style-type: none"> • <i>Aktif hale getirilmez ise, model konumsal parametreleri dikkate almaz.</i> 2. Sistem konumsal parametre penceresini aktif hale getirir. 3. Kullanıcı, kesim bloğu bölümüne, yakınlık mesafesini girer, <ul style="list-style-type: none"> • <i>Değer girilmez ise sistem "0" yani tam komşuluk kabul eder.</i> 4. Kullanıcı minimum ve hedef kesim bloğu büyüklüğünü girer. <ul style="list-style-type: none"> • <i>Veri girilmez ise sistem bu kesim bloğu kısıtını dikkate almaz.</i> 5. Kullanıcı, açma alanı için komşuluk mesafesini girer. <ul style="list-style-type: none"> • <i>Değer girilmez ise sistem varsayılan olarak "0" metre yeni tam komşuluk alır.</i> 6. Kullanıcı, erteleme süresini girer. <ul style="list-style-type: none"> • <i>Değer girilmez ise sistem varsayılan "0" periyot erteler ve aynı periyotta kesilen alanları açma alanı içerisinde değerlendirir.</i> 7. Kullanıcı, maksimum açma alanı değerini girer. <ul style="list-style-type: none"> • <i>Sistem, değer girilmez ise açma alanı kısıtını dikkate almaz.</i>

Tablo 4. Parça tanımlama ve parçalılık indeksleri tanımlama kullanım durumu aşamaları

<p>Kullanım Durumu Adı: Parça ve parçalılık indeksleri tanımlama Aktör: Sistem Kullanıcısı Amaç: Modele dahil edilecek parça/parçalılık indekslerinin seçilmesi ve gerekli düzenlemelerin yapılması</p>
<p>Kullanım Durumu Aşamaları</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Kullanıcı parça / parçalılık indeksi modülünü seçer. <ul style="list-style-type: none"> • <i>Aktif hale getirilmez ise, model parça / parçalılık indekslerini dikkate almaz.</i> 2. Sistem konumsal parça/parçalılık indeksleri penceresini aktif hale getirir. 3. Kullanıcı, parça tanımını belirler, <ul style="list-style-type: none"> • <i>Değer girilmez ise sistem parça ve parçalılık indekslerini hesaplamaz.</i> 4. Kullanıcı parçalar için yakınlık mesafesi girer. <ul style="list-style-type: none"> • <i>Sistem veri girilmez ise "0" yani tam komşuluk değerini varsayılan olarak alır.</i> 5. Kullanıcı, belirlenen sınıf için istediği parçalılık indekslerini belirler. <ul style="list-style-type: none"> • <i>Sistem parçalılık indeksleri tanımlanmaz ise bu kısıtı dikkate almaz.</i>

2.1.3.4.3. Simülasyon Modeline İlişkin Sınıfların Oluşturulması

Sınıf diyagramları, bir kullanım durumunun derinlemesine açıklanması ve sistemin ayrıntılı tasarımını tanımlamak için kullanılmaktadır. Yazılımın fiziki yapısının yani arayüzünün modellenmesinde kullanılmaktadır. Kullanım durumları, bir takım görevleri yerine getiren belirli sınıflardan oluşmaktadır. Bu sınıflar aynı zamanda orman simülasyon

modelinin yapısını ve bu yapıyı oluşturan bileşenlerin birbiriyle olan ilişkilerine bağlı olarak simülasyon modelinin işleyişini göstermektedir.

Bu çalışma kapsamında geliştirilen konumsal simülasyon modelini büyüme modeli sınıfı (*BuyumeModeli*) ve orman simülasyon (*Simulasyon*) modeli sınıfı olmak üzere iki ana gruba ayırmak mümkündür.

Büyüme modeli sınıfı, envanter verileri sonucu örnek alan verilerinden hareket ederek belirlenen aktüel meşcere parametrelerinin, müdahale yapılmadan yada herhangi bir müdahale (bakım, ağaçlandırma, gençleştirme) sonucunda bir sonraki periyottaki değerlerini tahmin etmek amacıyla kullanılmaktadır. Büyüme modelinde, hasılat tablosu verileri ile envanter verileri ağaç türü, bonitet ve yaş değerleri ile ilişkiye getirilmektedir. Bu ilişki ile birlikte belli bir yaştaki meşcere için, o yaştaki optimal göğüs yüzeyi miktarının, aktüel göğüs yüzeyi değerine oranlaması ile “k” katsayısı hesaplanmaktadır. Bu katsayı, müdahale görmüş meşcerelerdeki büyümenin, aktüel meşcere parametrelerinde de aynı seyri göstermesi için kullanılmaktadır. Meşcereye yapılan müdahaleler ile, meşcere içerisindeki bireylere daha fazla besin ve büyüme enerjisi sağlanması nedeniyle optimal meşcerelere oranla biraz daha ivmeli büyüme seyri göstermesi için kullanılmaktadır. Bu katsayı ile birlikte aktüel veriler, optimal verilerin büyüme seyrine benzer şekilde ileriki periyotlar için tahmin edilmektedir.

Meşcere parametrelerinin hesaplanmasında kullanılan bazı denklemler aşağıda verilmiştir;

$$k = \frac{Ogy_t}{Agy_t} \quad (1)$$

$$Agy_{t+n} = Agy_t + \left[\left(\frac{Agy_t}{Ogy_t} \right) * (Ogy_{t+n} - Ogy_t) \right] \quad (2)$$

$$Ap_{t+n} = Ap_t + k * \left[\left(\frac{Ap_t}{Op_t} \right) * (Op_{t+n} - Op_t) \right] \quad (3)$$

$$Aob_{t+n} = Aob_t + \left[\left(\frac{Aob_t}{Oob_t} \right) * (Oob_{t+n} - Oob_t) \right] \quad (4)$$

$$Ad_{t+n} = Ad_t + k * \left[\left(\frac{Ad_t}{Od_t} \right) * (Od_{t+n} - Od_t) \right] \quad (5)$$

$$AS_{t+n} = AS_t + (Ap_{t,t+n} * n) - AH_t \quad (6)$$

Burada, *Agy* ve *Ogy* aktüel ve optimal göğüs yüzeylerini, *Ap* ve *Op* aktüel ve optimal yıllık hacim artımlarını, *AS* aktüel serveti, *AH* ayrılan hacim miktarını, *Aob* ve *Oob* aktüel ve optimal orta boyları, *Ad* ve *Od* aktüel ve optimal orta çapları, *t* meşcere yaşını, *n* ise periyot genişliğini, *k* ise optimal ile aktüel göğüs yüzeyi oranını ifade etmektedir.

1 numaralı denklem, optimal ile aktüel göğüs yüzeyi arasındaki her bir periyottaki oranı vermekte, ve müdahale görmüş meşcerelerde büyümeye ivme kazandırmak için kullanılmaktadır. Denklem 2, ileriki periyotlardaki aktüel göğüs yüzeyini tahmin etmek için kullanılmaktadır. Denklem 3 aracılığıyla, meşcerelerin zamana bağlı aktüel hacim artımları tahmin edilmiştir. Denklem 6 ile, büyüme modelinde aktüel hacim tahmininde yararlanılmıştır. 4 ve 5 numaralı denklemler yardımıyla, meşcerelerin zamana bağlı aktüel orta boy ve orta çapları tahmin edilmiştir. Denklemler incelendiğinde servet ve göğüs yüzeylerinin hesaplanmasında, aktüel göğüs yüzeyinin optimal göğüs yüzeyine bölünmesi ile elde edilen oranı (sıklık derecesi) ve bakım görmüş meşcerelerde ise orta çap ve hacimdeki artışı ivme kazandırmak amacıyla ters göğüs yüzeyi oranı “k” kullanılmıştır. “k” oranı ile, bakım görmüş meşcerelerin normal sıklık oranı yerine, daha farklı bir büyüme (hacim ve orta çap) seyri göstermesi sağlanmıştır. Orta boy gibi diğer parametrelerin tahmininde ise, doğrudan hasılat tablosunda var olan ilgili değerlerle benzetilmeye çalışılmıştır. Artım ve orta boyda yapılan benzetim; ağaç sayısı, üst boy gibi parametrelerin tahmin edilmesinde de benzer şekilde uygulanmıştır. Görüldüğü üzere, meşcere parametrelerinin zamana bağlı olarak tahmin edilmesinde, ilgili meşcere parametrelerinin hasılat tablosundaki değerlerinin zamana bağlı artım oranları ve göğüs yüzeyleri arasındaki ters ilişki benzetilmeye çalışıldığından, bu çalışma kapsamında geliştirilen büyüme modeli, *GYOBEM* (Göğüs Yüzeyi Oranları Benzetim Metodu) olarak adlandırılmıştır. Diğer bir ifade ile her bir meşcere parametresinin aktüel durumu, ilgili parametrenin aktüel ve optimal durumunun oranlanmasıyla ve bazı parametrelerde ise göğüs yüzeyi oranı ile tahmin edilmeye çalışılmıştır. Meşcerelerin gençleştirildikten sonra, optimal olarak gelişeceği varsayılmış ve hasılat tablosundaki değerler kullanılmıştır.

Bununla birlikte, bu çalışma kapsamında geliştirilen *GYOBEM* metodu, Keleş (2008) tarafından geliştirilen *AROBEM* metodundan farklı olarak, göğüs yüzeyleri arasındaki oranı kullanması nedeniyle müdahale görmüş meşcerelerde gerçeğe daha yakın değerleri tahmin etmektedir. Model, aktüel-optimal oranını, mevcut durumun gelişim hızı

yerine, optimale göre hızını almakta, ve göğüs yüzeyi oranı kullanılması ile de optimalin ötesinde gelişmenin olamayacağını varsaymaktadır.

BuyumeModeli sınıfı ile meşcere simülasyonun gerçekleştirilebilmesi için bir takım sınıflara ihtiyaç duyulmaktadır. Daha önce ifade edildiği gibi, bir meşcerenin farklı silvikültürel müdahale rejimlerine bağlı olarak ilerleyen periyotlardaki meşcere parametrelerinin tahmin edilmesinde aktüel meşcere verileri, optimal meşcere verileri ve tanımlı silvikültürel müdahalelerin bilinmesi gereklidir. Dolayısıyla meşcere simülasyonu için öncelikle aktüel meşcere verilerini temsil eden bir sınıf (*BolmecikListesi*), optimal orman kuruluşunu ortaya koyan bir sınıf (*HasilatTablosu*) ve her bir meşcereye uygulanacak ve ormanın dinamik yapısını değiştirecek olan bir sınıf (*SinirlarveMudahaleler*) yeterli olmaktadır.

Simülasyon tabanlı konumsal orman amenajmanı planlama modelinin diğer önemli sınıfı, orman simülasyonudur (*Simulasyon*). Bir *simulasyon* sınıfı, simülasyon süresi, periyot genişliği, gençleştirme ve bakım kuralları, konumsal parametre ve parçalılık indeksleri, kullanıcı tarafından belirlenen müdahalelere ve saptanan hedeflere bağlı olarak simülasyon modelinin çalıştırılmasını ve sonuçların üretilmesini gerçekleştirmektedir. Simulasyon sınıfı yapısı incelendiğinde, bir orman simülasyon modelinde bir takım sınıflara daha ihtiyacın olduğu görülecektir. Simülasyon sınıfı *KonumsalParametre*, *Parçalılıkİndeksleri*, *Hedefler*, *GecisTablosu*, *SimulasyonSonuclar*, ve *YardımcıModeller* (*KarbonBirikimi*, *EkonomikVeriTablosu*) sınıflarını içermektedir.

2.1.3.5. Kombine Optimizasyon Modeli

Kombine optimizasyon teknikleri, orman ekosisteminden beklenen ürün ve hizmetlerin zamanla değişmesi nedeni ile, konumsal orman amenajman planlarının hazırlanmasında kullanılmaktadır. Kombine optimizasyon tekniği, doğrusal programlama tekniği ile çözülmüş en iyi çözüm setini veya rastgele hazırlanmış bir çözüm kombinasyonunu kullanmakta, konumsal parametrelerin ve elde edilen çözüm setinden olabilecek sapmaları en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Bu şekilde hazırlanan yeni çözüm seti doğrudan uygulamaya aktarılabilme özelliğine sahip olup, en iyi çözüm setine yakın ve konumsal özellikleri de yerine getiren bir plan niteliğindedir.

Hazırlanan bu tez çalışması kapsamında geliştirilen kombine optimizasyon tekniği tabanlı orman planlama sisteminin akış şeması Şekil 12'de sunulmuştur. Kombine

optimizasyon tabanlı modeller, optimizasyon tabanlı en iyi çözüm setini yada rastgele oluşturulmuş bir çözüm setini başlangıç çözümü olarak kabul etmektedir. Bu çözüm setleri, karar verici tarafından tanımlanan amaçları, kısıtlayıcıları ve hedefleri içermektedir. Planlama birimi için yapılmış orman envanter verileri ve planlamada kullanılacak yardımcı modellerden faydalanmak suretiyle, her bir orman analiz alanına uygulanacak silvikültürel müdahale rejimleri tanımlanmış ve sonuçta her bir analiz alanı için alternatif işletme seçenekleri (karar değişkenleri) planlama periyodu boyunca üretilir. Karar değişkeni ve kısıtları temel alan model, konumsal parametre ve parçalılık indekslerini de dikkate alarak belirlenen konumsal hedeflere ulaşmaya çalışır. Konumsal parametre, amaç fonksiyonu, periyodik kısıtlar ve diğer parçalılık indeksleri için var olan durumdaki ceza yani istenilen durumdan sapma değerleri hesaplanır. Modelin amacı, belirlenen hedef değerden sapmaları (ceza) en aza indirmektir. Model çözüme ya rastgele yada konumsal olmayan bir optimal çözüm seti ile başlamaktadır.

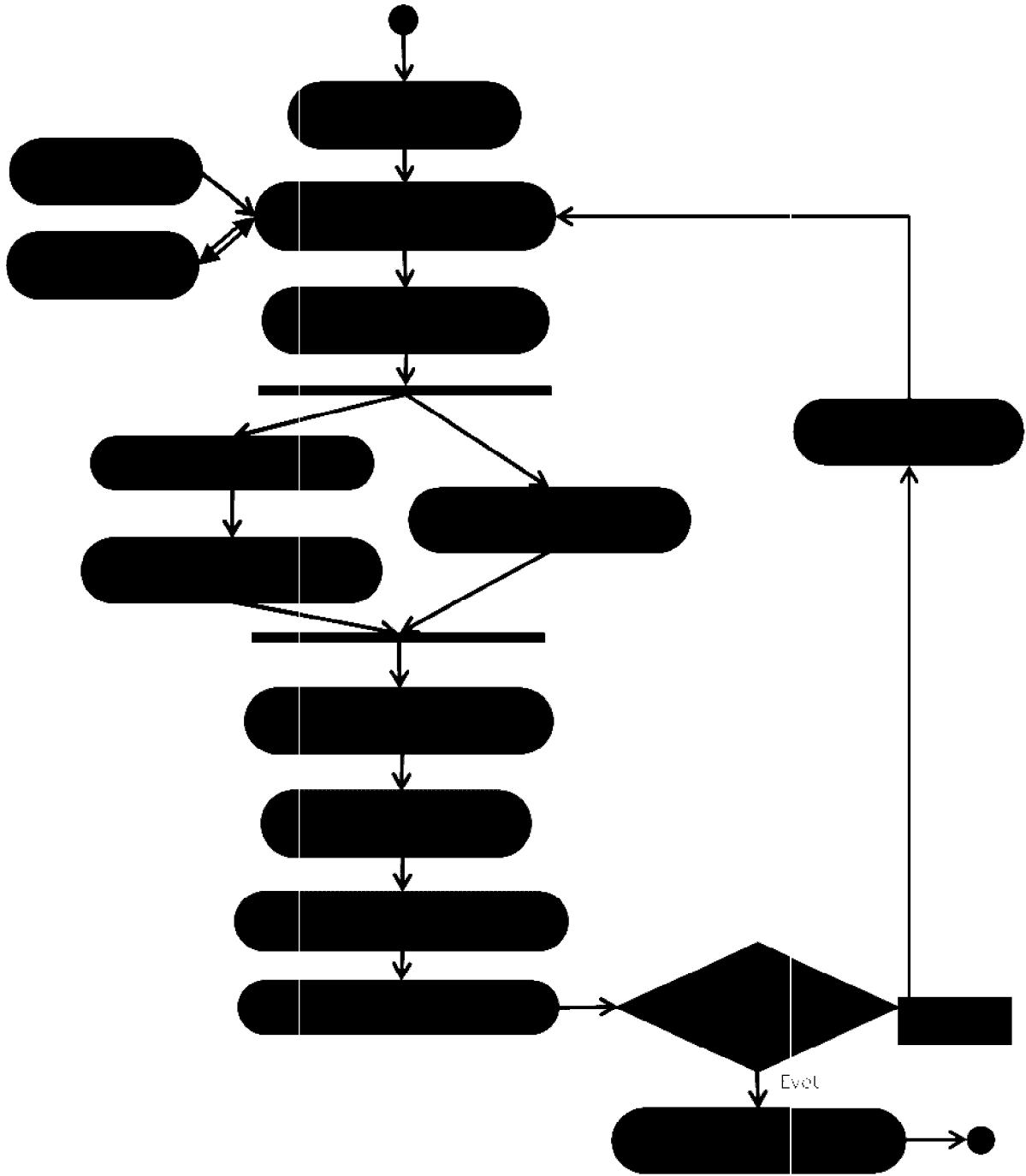
Bu başlangıç çözümünden yola çıkılarak hazırlanacak çözüm kombinasyonlarında tavlama benzetimi algoritması ile ardışık çözümler üretilir ve en iyiye yakın çözüm seti oluşturulmaya çalışılır. Burada, dikkat edilmesi gereken en önemli nokta, her bir çözüm seti için ceza değerlerinin en iyi şekilde hesaplanması ve algoritmanın çalışma felsefesine uygun şekilde soğutma işleminin yapılabilmesidir. Son olarak tavlama benzetimi algoritması ile sağlanan yeni çözüm setleri, bir rapor yazarı ile birlikte, planlama probleminde yer alan tüm çıktılar tablo, grafik, metin ve harita şeklinde sunulur.

Kombine optimizasyon tekniğinin genel olarak kullanılan adımlar iki ana bölüme ayırmak mümkündür. Birinci bölümde, kombine optimizasyon tekniğine altlık oluşturan doğrusal programlama tabanlı konumsal orman amenajmanı planlama, ikinci bölümde ise en iyi çözüm setini yada rastgele çözüm setini kullanan tavlama benzetimi çözümü bölümüdür. Doğrusal programlama tabanlı konumsal orman amenajman planlama bölümü kısaca aşağıdaki şekilde adımlar halinde açıklanmak mümkündür.

Orman ekosistemi tanımlanır: Orman ekosisteminin yapı ve kuruluşu ortaya konulur. Bir bakıma arazi sınıflamasının gerçekleştirildiği bu aşamada, orman ekosisteminin temel alt bileşenleri (işletme sınıfları, orman fonksiyonları, bölme ve bölmecikleri) ile yaş sınıfları, gelişim çağları, artım ve servetler gibi yapı ve kuruluşuna ilişkin veri tabanı kurulur.

Planlama yörüngesi ve periyot uzunlukları girilir: Orman amenajmanı planlama yörüngesi ve süresinin belirlendiği bu aşamada, genellikle stratejik planlama süresi

uzunluğu ve bu sürenin bölünmesi ile belirlenen ve ormanın dinamik yapısı ve elde edilen hasılatların sonuçlarının değerlendirilmesini sağlayan periyot uzunlukları ortaya konulur.



Şekil 12. Kombine optimizasyon tabanlı orman amenajmanı planlama modeli temel yapısı

Silvikültürel müdahale rejimleri belirlenir: Orman ekosistemine uygulanacak silvikültürel müdahale rejimleri/reçeteleri belirlenerek, daha önceden karar verilen analiz alanlarına bu müdahale reçeteleri tahsis edilir. Bu aşamada, analiz alanlarına uygulanacak

silvikültürel müdahale seçenekleri, uygulama yaşları ve miktarları listesinden oluşan bir dizi silvikültürel müdahale rejimleri oluşturulmakta ve her bir analiz alanına en uygun rejim tahsis edilmekte ve karar değişkenleri bu şekilde planlama yörüngesi boyunca oluşturulmaktadır.

Yardımcı modeller planlama modeline yansıtılır: Planlama probleminin çözümünde ve problemin çözümünden elde edilecek çıktıların sayısal olarak ortaya konulmasında kullanılacak her türlü model (hasılat tablosu, karbon depolama modeli, su üretim modeli vs) ile veri veya bilgiler (karbon dönüşüm katsayıları, ekonomik gelir ve giderler vs) bu aşamada planlama modeline girilmektedir.

Amaçlar, hedef ve kısıtlayıcı koşullar belirlenir: Karar verici tarafından orman planlama problemine teşkil edecek amaçlar, hedefler ve kısıtlayıcı koşullara bu aşamada karar verilmektedir. Genellikle işletme amaçları tanımlanırken, ormanın gelecekteki arzu edilen durumu, ekonomik kaynakların düzenlenmesi, plan çıktılarının (odun üretimi, yaban hayatı habitatu, su üretimi, karbon depolama vs) düzenlenmesi anlaşılmaktadır. Doğrusal programlamada belirlenen amaç fonksiyonu maksimizasyon ya da minimizasyon şeklinde eniyilenir. En yüksek miktarda odun üretimi değerini elde etmek, en yüksek NBD elde etmek, su üretimini veya toprak kaybını eniyilemek amaç fonksiyonlarına örnek verilebilir.

Planlama modelinin kurulması: Herhangi bir planlama birimine ve planlama problemine bağlı olarak plan alternatifleri oluşturulduktan ve karar verici tarafından amaçlar, hedefler ve kısıtlayıcı koşullar belirlendikten sonra, planlama problemine ilişkin model oluşturulur. Planlama modelinin kurulmasından sonra, konumsal model ikiye ayrılmaktadır. Birincisi, modelin matris çözücü program yardımıyla çözümlenerek başlangıç optimizasyon çözümünün oluşturulması, ikincisi ise rastgele bir başlangıç çözüm seti oluşturulmasıdır.

Planlama modelinin optimizasyon ile çözülmesi: Bu aşamada, hazırlanmış olan model, bir matris çözücü program yardımıyla birlikte planlama problemini çözer ve çözüm raporunu sunar. Model çalıştırıldığı zaman, yazılım belirtilen amaç/hedef ve kısıtlayıcıları en iyi düzeyde başaracak şekilde işletme faaliyetlerini planlamaya çalışır yani en iyi çözüm setini ortaya koymaktadır.

Rastgele başlangıç çözümünün oluşturulması: Hazırlanmış olan model, herhangi bir matris çözücü program kullanılmadan çözümlenmekte ve rastgele bir çözüm seti elde edilmektedir. Bu çözüm, en iyi çözüm seti olmayıp, rastgele oluşturulan başlangıç çözümü oluşturmak için hazırlanmıştır.

Tamsayıli başlangıç çözümi oluşturma: Bu aşamada, matris çözücü yardımıyla en iyi çözümler seti ortaya konmuş olan konumsal model, parçalı bölmecikler yani birden fazla periyotta müdahale edilerek parçalanmış olan bölmecikler birleştirilir. Burada en fazla hangi periyotta kesilmiş ise o periyottaki karar değişkenine göre çözümler aktarılır ve yeniden tüm değerler (odun üretimi, gençleştirme alanları, karbon birikimi, sur üretimi NBD gibi) hesaplanır. Oluşan bu yeni çözümler setinde her bir bölmeciğe bir defa müdahale edilmesi, yani bir silvikültürel müdahale rejimi uygulanması sağlanmış müdahale alanı olan en küçük birim bölmecik olarak bütünleştirilmiştir.

Konumsal parametre ve parçalılık indekslerini tanımlama: Gençleştirme alanlarının ve diğer orman alanlarının konumsal dağılımlarını kontrol etmek amacıyla kesim bloğu, açma alanı ve parçalılık indeksleri tanımlanmaktadır. Bu parametrelere göre planlama yürüngenisi boyunca orman parçalarının konumsal dağılımları izlenmektedir.

İşletme amaçlarını belirle, ceza değerlerini hesapla ve ağırlıklandır: Optimizasyon modeli kurulduğu zaman belirlenen işletme amaçları ve periyodik kısıtlar için bölmeciklerin birleştirmemesi ile yada rastgele çözümler değeri sonucu meydana gelen sonucun hedef değerinden olan sapmalar için ceza değerleri hesaplanmaktadır. Bu değerler tavlama benzetimi ile çözümler esnasında her bir adım (iterasyon) için sürekli güncellenmektedir. Ayrıca, tanımlanan konumsal parametreler (açma ve blok alanı) için mevcut çözümler setindeki değerler ile kullanıcı tarafından tanımlanan değerler arasındaki fark için ceza değerleri hesaplanmakta ve her bir adımda güncellenmektedir. Parçalılık indeks değerleri içinde benzer şekilde ceza değeri hesaplanmaktadır. Ceza değerlerinin normalizasyonu ile bu değerler "0-1" değerleri arasına indirgenmektedir. Hesaplanan bu ceza değerlerinin hazırlanacak olan konumsal planlama senaryosundaki etki değerlerine göre ağırlıklandırma yapılmaktadır. Bu durumda her bir amaç değerinin toplam ceza fonksiyonuna olan etkisi göreceli olarak tanımlanmaktadır.

Tavlama benzetimi algoritması ile çözümler: Bu aşamada, tüm amaçlar için ceza değerleri hesaplandıktan sonra, istenilen konumsal özellikleri ve amaçları yerine getirmek için toplam ceza değerini en aza indirmek amacıyla model çalıştırılır. Kullanılan tavlama benzetimi algoritması ile toplam ceza değerleri azaltılmaya çalışılır, en iyi yani "0" cezaya ulaşılmasa da en iyiye yakın bir değer bulunmaya çalışılır. Bu algoritmadaki çözümler değişiklikliği seçimi (hangi bölmeciğin karar değişkeninin değiştirileceği) rastgele belirlendiği için her model çalıştırılmasında farklı bir çözümler setine ulaşılmaktadır.

Performans göstergeleri üretimi ve çözümler çıktılarının analizi: tavlama benzetimi

çözümü ile elde edilen farklı çözüm kombinasyonları bir birleriyle karşılaştırılarak değerlendirilmektedir. Tavlama benzetimi ile elde edilen en iyi çözüm seti bir “rapor yazarı” modül yardımıyla grafikler ve rapor dosyaları şeklinde sunulmaktadır. Planlama yörüngesi boyunca elde edilen tüm meşcere parametreleri, konumsal parametreler, parçalılık indeksleri, ürün miktarları bölme bazında izlendiği için doğrudan haritaya aktarılmaktadır. Bu şekilde konumsal planlama sonucunda elde edilen çözüm setinin doğruluğunun ve tüm çıktılarının harita üzerinde izlenmesi mümkün olmaktadır. Diğer yandan, orman ekosisteminde elde edilen ürün ve hizmet miktarları hem toplam değer, hem de istenilen analiz alanı düzeyinde tablo ve grafik olarak sunulmaktadır.

2.1.3.6. Ceza Fonksiyonları ve Ağırlıklandırılması

Tavlama benzetimi tabanlı ETÇAPKombine planlama yazılımının temel özelliği, amaçları hedef değerler ile mevcut değerler arasındaki farkı bir fonksiyona bağlamasıdır. Burada, hedef kesim bloğu büyüklüğü, açma alanı büyüklüğü, periyodik hedefler ve diğer amaç fonksiyonları hedefinden meydana gelen sapmalar ceza değeri olarak hesaplanmaktadır. Bu değerlerin hesaplanması ve normalizasyonu için her birinin geliştirilen ceza fonksiyonları ile sınırlarının belirlenmesi ve “0-1” arasında ceza değeri alacak şekilde nitelendirilmesi gerekmektedir.

Burada, konumsal özellikleri dikkate alınarak uygulanabilir bir plan ortaya koymak için kesim bloğu alanı ve açma alanı kurallarını en az şekilde ihlal eden bir kombine optimizasyon modeli geliştirilmeye çalışılmıştır. Optimizasyon modeli sonucu elde edilen çözüm kümesi, meşcerelerin komşuluk özellikleri dikkate alınarak, amaç fonksiyonu ve periyodik kısıt değerlerinden de en az taviz verecek şekilde ve açma alanı/ kesim bloğu alanı kısıtlarından ise hedeflerden sapmasından oluşan cezayı en aza indirecek şekilde tekrar çözülmektedir. Bu çözüm esnasında, belirlenen hedeflerden meydana gelen sapmalar ceza değeri olarak belirlenmekte ve bu değerlerin toplamı en aza indirilmeye çalışılmaktadır. Amaç fonksiyonu değerinden, periyodik kısıtlardan meydana gelen sapmalar ilk çözümde sıfırdır, çünkü amaç fonksiyonu değeri o kısıtlar altında en iyi çözümü göstermektedir. Fakat, ilk çözüm seti açma alanı, kesim bloğu büyüklüğü gibi konumsal özellikleri dikkate almadan oluşturulduğu için bu değerler yüksek miktarda ceza değerine sahiptir. Her periyot için açma alanı ve kesim bloğu büyüklüğü değerleri için ceza değeri hesaplanacaktır. Bu aşamada, bu ceza değerlerini hesaplamak ve “0-1” değeri

arasına indirmek için farklı ceza fonksiyonları denklemi kullanılmıştır (Denklem 7) (Bingöl, 2009).

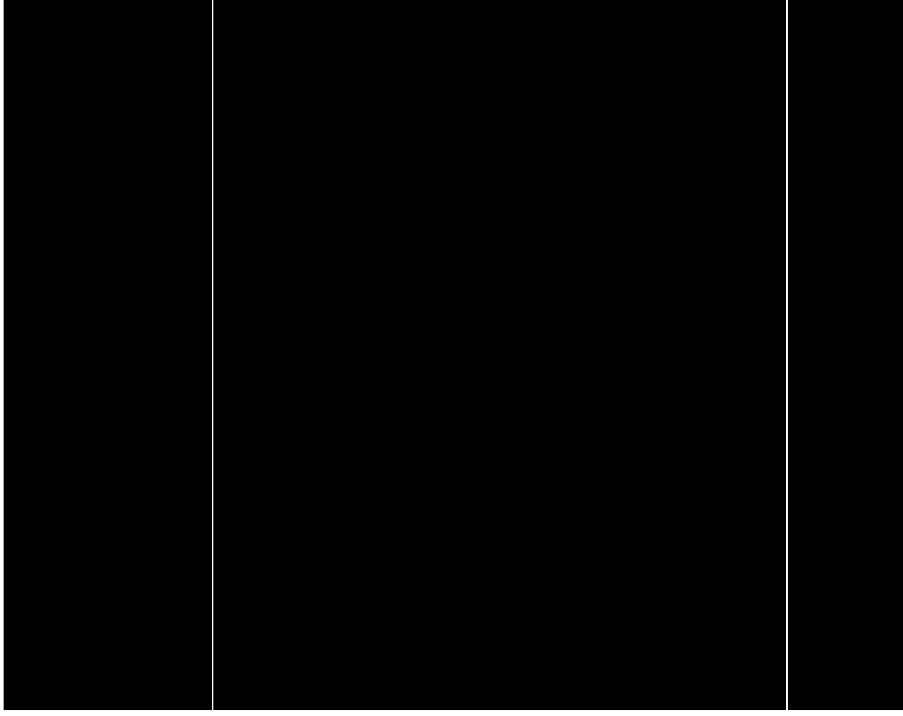
$$f(x) = \frac{f(x)}{k}, \quad k \neq 0 \quad (7)$$

Ceza denklemi belirlenirken ceza üst sınırı, ulaşılmak istenen hedeften pozitif yönde bir uzaklaşma var ise istenilen hedefin iki katına ulaşacağı nokta olarak belirlenmiştir. Eğer negatif yönde bir uzaklaşma var ise, istenilen hedefin yarı değeri üst sınır olacaktır. İstenilen hedefin iki katından büyük veya istenilen hedefin yarısından küçük elde edilen değerler oluşturacağı ceza değeri üst sınır (1) olarak kabul edilmiştir. Kısacası değerler [0-1] aralığında normalize edilmiştir. Buna göre genel olarak ceza değerini hesaplayan fonksiyon denklem 8’ de verilmiştir (Bingöl, 2009).

$$f(x) = \begin{cases} 1, & \text{ğ} > 2 * h & < - \\ \frac{2 * h - \text{ğ}}{h}, & \text{ğ} < \leq 2 * h & , \\ 1 - \frac{\text{ğ}}{h}, & \text{ğ} - \leq \leq h & , \end{cases} \quad (8)$$

Burada; x : elde edilen değer, h : Ulaşılmak istenen değer

Örneğin, Şekil 13’te, hedeften %100 sapması durumunda ceza değerinin “1” olacağını, aynı zamanda belirlenen “k” parametresinin farklı olduğu zaman fonksiyon değerlerinin hangi hızda artış gösterip nasıl bir şekil alacağını göstermektedir. Kullanıcı bu değeri değiştirerek, farklı ceza fonksiyonu değerleri oluşturabilmekte ve farklı plan çözüm alternatifleri sunabilmektedir.



Şekil 13. Farklı “k” sabiti için ceza fonksiyonu değerleri

Optimizasyon modelleri ile uzun vadeli stratejik olarak hazırlanan planlarda elde edilen amaç fonksiyonu değeri, belirli kısıtlar altında oluşan en iyi çözüm değerini göstermektedir. Bu değerden pozitif veya negatif yöndeki sapma miktarları periyodik kısıtlarda olduğu gibi ceza olarak hesaplanmaktadır. Örneğin, bir optimizasyon modelinde en yüksek odun üretim miktarının 100.000 m³ olduğunu varsayalım. Bu değer için ceza değeri sıfırdır, bu değerinin yarı (%50) değerine kadar ceza değeri ise “1” olacak şekilde negatif yöndeki sapmalarda tespit edilmektedir (Şekil 14). Bu fonksiyonda, odel hedef miktardan daha az odun üretimine ulaştıkça amaç fonksiyonu cezası artmaktadır.



Şekil 14. Belirlenen Amaç fonksiyonu değerinden sapmanın ceza fonksiyonu eğrisi

Uzun vadeli stratejik orman amenajman planlarının hazırlanması aşamasında periyodik olarak kısıtlar belirlenmektedir. Kullanıcı tarafından belirlenen (eşit alan, eşit eta, eşit NBD vb.) bu kısıtlarda meydana gelen değişim miktarlarına karşılık ceza değerleri hesaplanmaktadır. Konumsal planlama yapım aşamasında, her ne kadar konumsal parametrelerin kontrolü öncelikli olarak yapılsa da, orman ekosisteminden elde edilen ürün ve hizmetlerin sürekliliğini sağlamak amacıyla belirlenmiş olan periyodik kısıtların da korunması gerekmektedir. Bu nedenle, bu değerlerden oluşan sapmalar ceza değeri olarak hesaplanmaktadır. “+” yöndeki sapmaları hesaplarken bu kısıt değerinin iki katı (%100) değerinde ceza değeri “1” alınmakta, bu değerden daha büyük sapma değerler için ise “1” ceza değeri sabit alınmaktadır. Aynı zamanda kısıt değerinin yarı (%50) değerine kadar ceza değeri “1” olacak şekilde “-” yöndeki sapmalarda tespit edilmektedir. Yarı (%50) değerden daha az değerlerde yine ceza değeri “1” olarak sabit alınmaktadır (Şekil 15). Konumsal kısıtları sağlamak amacıyla bölmeciklerin kesim periyotları değiştirilmektedir. Bu aşamada, kısıtların ve amaç fonksiyonu değerinde olabilecek değişiklikler, var olan çözüm değerinden farklı olacaktır. Bu nedenle, periyodik yada genel kısıtlarda muhtemel değişikliklerin hepsi ceza değeri olarak hesaplanmaktadır.



Şekil 15. Belirlenen periyodik kısıtlardan sapmaların ceza fonksiyonu eğrisi

Kesim bloklarının hedeflenen değerle mevcut değerler arasındaki fark blok ceza değeri olarak belirlenmektedir. Stratejik planlama aşamasında komşu bölmecikler aynı periyot içerisinde geliştirilebilmekte, yada çok küçük alanlar tek başına geliştirilmektedir. Küçük alanların geliştirilmesi parçalı bir orman yapısı oluşturması nedeniyle orman ekosisteminin sürekliliği tehlikeye atmakta ve ormanın çok parçalı olması nedeniyle de dışarıdan olabilecek her türlü müdahaleye karşı daha hassas hale gelmektedir. Her ne kadar teknik ve ekonomik geliştirme çalışmaları için, küçük alanlar uygun görülse de, küçük alanda geliştirme çalışmaları için yol ağının yapılması, arazi ekibinin kurulması, idari elemanların alana yönlendirmesi gibi çalışmaların ekonomikliği ancak toplu ve daha büyük alanlarda sağlanmaktadır. Bu nedenle geliştirme alan büyüklükleri ağaç türü bazında yetiştirme ortamı koşulları, ekonomiklik ve koruma hedeflerine göre belirlenmelidir. Kararlaştırılan bu değerden büyük kesim bloğu olduğu takdirde, hedeften sapma miktarı ile orantılı olarak ceza miktarı hesaplanmaktadır. Örneğin, hedeflenen kesim bloğu büyüklüğü 30 ha olarak tespit edilmiş ise, bu değer iki katına kadar ceza miktarı “1” olarak tespit edilmiş ve artan bir parabolik eğri olarak belirlenmiştir (Şekil 16). Bu eğri hedef değerinden sapma değeri arttıkça ceza değeri artacak şekilde tasarlanmış ve hedefe değerin iki katı değerinden sonra sabit “1” ceza puanı olacak şekilde düzenlenmiştir. Hedef değerinden daha düşük bir değer elde edildiği zaman, en küçük orman parçacığı değeri olan 0,5 ha değerinde ise “1” değerine ulaşmaktadır. Bu şekilde hedef değerinden aşağı ve yukarı doğru sapmalar için ceza fonksiyonu eğrileri belirlenmiş ve maksimum “1” ceza değeri alacak şekilde denklemler normalize edilmiştir. Örneğin, minimum kesim bloğu

büyüklüğü (10 ha) ile hedeflenen kesim bloğu büyüklüğü (30 ha) arasındaki değerler normalde kesim bloğu kuralını sağlamasına rağmen, hedeflenen kesim bloğu değerinden saptığı için ceza değeri uygulanır. Minimum kesim bloğu ile hedeflenen kesim bloğu arasındaki mesafe arttığı zaman ceza fonksiyonundaki “k” değeri arttırılarak ceza fonksiyonu hedeflenen blok alanı değerine yakın değerlerin daha az ceza değeri alması sağlanabilir. Blok alanının iki katı değerinden sonraki alanlar için ceza değeri “1” olarak sabit alınmaktadır (Şekil 16).



Şekil 16. Hedeflenen kesim bloğu büyüklüğü ceza fonksiyonu eğrisi

Uzun vadeli konumsal olmayan stratejik planlarda komşu kesim blokları aynı periyot yada ardışık periyotlar içerisinde gençleştirilebilmektedir. Orman ekosistemi sürekliliği açısından çok büyük alanlarda gençleştirme yapılması monoton bir orman yapısı oluşturacaktır. Geleneksel modellemede komşu kesim blokları arasındaki erteleme süresi ve coğrafi mesafe dikkate alınmadan oluşturulan açma alanlarının da kontrol edilemediği ve çok geniş alanlar oluşturduğu gözlemlenmektedir. Oysaki uygulamaya yönelik konumsal planlamada gençleştirilen bir alanda gençliğin hayatiyetini devam ettirmesine kadar geçen süre içerisinde (erteleme süresi), ardışık kesim periyotu süresinde açılan komşu her kesim blok alanının toplamı açma alanı büyüklüğü içerisinde olması gerekmektedir. Bu nedenle, geleneksel simülasyon-optimizasyon tabanlı modellerde belirli kısıtlar altında en iyi çözüme ulaşılmasına rağmen, alanda uygulanması güç bir plan ortaya çıkmaktadır. Ardışık periyotlardaki kesim bloğu alanlarını komşuluk mesafesinde dikkate alınarak tespit edilirken erteleme süresi (green-up) miktarı kadar önceki ve sonraki

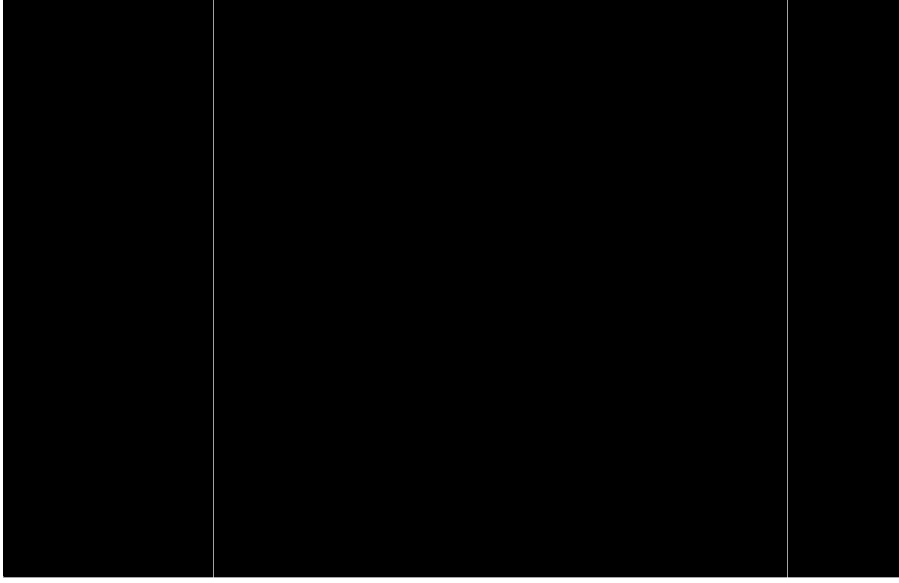
periyotlar dikkate alınmaktadır. Örneğin, erteleme süresi “2” ise 5. periyottaki bir açma alanı hesaplanırken, “3 ve 4” nolu periyotlar ile “6 ve 7” nolu periyotlardaki kesilmiş bloklar bu açma alanını etkilemektedir. Eğer komşuluk mesafesi içinde kesim blokları var ise, bunlar açma alanı içerisinde hesaplanmaktadır. Tüm açma alanı ve blok alanı hesabında komşuluk veya yakınlık mesafesinde dikkate alınarak, açma yada blok alanı içerisine giren bölmeciklerin komşuları ve komşularının mesafe içerisindeki komşuları, eğer var ise ardışık olarak kontrol edilmekte, mesafe içerisinde komşu bölmecik yada kesim bloğu kalmayınca kadar bu döngü devam etmektedir. En büyük açma alanı değerinden meydana gelen sapma fonksiyonu hesaplanırken, bu değer iki katı değerdeki ceza miktarı “1” olacak şekilde hesaplanmakta, bu değer büyük değerler için “1” sabit olarak alınmaktadır. Bu fonksiyonda maksimum açma alanı değerinden olan + yöndeki sapmalarda ceza değerleri başlangıçta yavaş artmakta, sonra artış hızı artarak maksimum açma alanı değerinin iki katı değerinde “1” olarak sabitlenmektedir. Blok alanı ceza fonksiyonuna benzer şekilde kullanıcı “k” sabiti değerini değiştirerek farklı ceza fonksiyonu değerleri türetebilmektedir. Açma alanı değerinden az değere sahip açma alanları için ceza değeri uygulanmamaktadır (Şekil 17).



Şekil 17. Hedeflenen açma alanı ceza fonksiyonu eğrisi

Orman amenajman planlarının ekosistem tabanlı çok amaçlı (ETÇAP) düzenlenmesinde, orman parçalarının (meşcere, habitat) büyüklük, şekil ve coğrafi dağılım

gibi konumsal özellikleri ön plana çıkmaktadır. Orman ekosistemlerini tanımlayan bu konumsal özelliklerin belirlenmesi, bunların parçalılık indeksleri ile ortaya konması ve konumsal plan yapım aşamasında bu indekslerin planlama yörüngesi boyunca değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu parçalılık indeksleri, konumsal simülasyon ve kombine optimizasyon planı yapım aşamasında tüm periyotlarda izlenmektedir ve kullanıcı tarafından belirlenen indeks değerlerine yaklaştırmak amacıyla ceza değerleri hesaplanmaktadır. Örneğin, parçalı bir orman ekosistemine ihtiyaç duyan yangına hassas bir ekosistemde, plan yapım aşamasında parça büyüklüklerinin belli bir oranda tutulması gerekmektedir. Bu nedenle, ortalama parça büyüklüğü (MPS), parça sayısı (NP), en büyük parça indeksi (LPI) ve parça yoğunluğu (PD) gibi parçalılık indekslerinin belli kurallar çerçevesinde değerlerinin kontrol edilmesi gerekmektedir. Başka bir ifadeyle, ormanda gençleştirme çalışmaları ile oluşturulacak orman ekosistem yapısının parçalılık indeksleri ile de kontrol edilmesi, arzulanan orman ekosisteminin konumsal yapısına uygun bir planlama çözümü üretmek için gerekmektedir. Ayrıca, planlayıcı tarafından belirlenen sınıf tanımları ile (yaş sınıfları, ağaç türü, arazi kullanımı, doğal yaşlı orman gibi) arzulanan orman ekosistem yapısı, bu sınıfların parçalılık indeks değerleri ve parça büyüklüğü dağılımlarının kontrolü ile belirlenebilmektedir. Örneğin, yaban hayatı açısından önemli bir faktör olan doğal yaşlı orman ekosistemi için belli bir yaşın üzerindeki ormanların, aralarındaki mesafeler de dikkate alınarak oluşturulacak parça büyüklükleri, parça yoğunlukları yada parçaların alansal olarak dağılımları yaban hayatı planlaması için önemli faktörlerdir. Planlayıcı mesafe, yaş ve diğer özellikleri ile tanımladığı herhangi bir sınıf için bu parametreleri konumsal planlamada hesaplabilmekte, hedef değere ulaştırmak için ceza fonksiyonları kullanılmaktadır. Varsayalım ki planlayıcı 100 ha alanda en az 10 hektar orman içi açıklık ve 10 ha doğal yaşlı orman istiyor ve parçaların bir bütün (parça) sayılabilmesi içinde, aralarında en az 50 metre mesafe olmasını istiyor. 10 hektar belirlenen hedef değeri olduğu için, eğer PD değeri 5 ha ve daha düşük değerde ise ceza değeri "1" olacak şekilde fonksiyon belirlenmektedir (Şekil 18). Bu değer üzerindeki parça yoğunluğu indeks değerleri için ceza hesaplanmamaktadır. Belirlene sınıf tanımına göre program, uygun alanları parça olarak tanımlamakta, yeterli miktarda alan yok ise, karar değişkenlerinin çözüm kümesini değiştirmek suretiyle uygun alanları oluşturmaya çalışmaktadır.



Şekil 18. Parça yoğunluğu ceza fonksiyonu eğrisi

Planlamada dikkate alınacak amaç fonksiyonları için hesaplanan tüm ceza değerleri, yada belirlenen amaç ve konumsal parametre hedeflerinden meydana gelen sapmalar belirli oranlarda bir birlerine göre ağırlıklandırılmaktadır. Bu ağırlıklandırma, istenilen konumsal kesim düzenine ya da istikbalde arzulanan konumsal orman ekosisteminin yapısını düzenleyecek şekilde verilmektedir. Örneğin, elde edilen odun üretim miktarı çok önemli, konumsal olarak blok ve açma alanları daha az nispi öneme sahip ise, amaç fonksiyonu değerine (odun üretimine) verilen ağırlık değeri, açma ve blok alanlarından daha fazla olmaktadır. Ancak elde edilen eta değerinden ziyade, kesim düzeninin konumsal olarak düzenlenmesi daha önemli ise, bu durumda açma ve blok alanlarının ceza fonksiyon değeri ağırlığı arttırılmaktadır. Planlayıcı, ağırlıklandırma işlemindeki katsayıları ve kullanacağı ceza fonksiyonu değerlerini değiştirmek suretiyle farklı planlama senaryoları oluşturmakta, bu sonuçları karşılaştırarak en iyi kesim düzenine karar vermektedir.

2.1.3.7. Performans Göstergeleri (Model Çıktıları)

Plan çıktıları veya performans göstergeleri, hazırlanan planlama stratejilerinin uygulanması ile meydana gelen orman ekosisteminin yapı ve kuruluşunu zamansal olarak izlemek ve diğer senaryolar ile karşılaştırmak için kullanılan değerlerdir. Herhangi bir planlama stratejisinin, farklı konumsal parametreler ve ceza ağırlıkları ile çözülmesiyle birlikte istenilen çıktıları elde etmek mümkündür. Performans göstergelerini orman

ekosisteminin alansal dağılımı, orman ekosisteminin konumsal dağılımı, parçalılık indekslerinin zamansal değişimi, müdahale edilen alanlar, odun üretim miktarları, odun dışı ürün ve hizmet üretim miktarları, ekonomik göstergeler olarak tanımlamak mümkündür. Ayrıca, kombine optimizasyon ile hazırlanan konumsal plan, bölmeçik bazında tüm verileri zamansal olarak planlama yörüngesi boyunca izlemesi nedeniyle doğrudan haritaya aktarılabilir. Benzer şekilde, açma ve kesim bloğu alanları, belirlenen parçaların konumsal dağılımları ve parçalılık indeksleri değerlerinin harita üzerindeki konumsal dağılımlarında incelenebilir. Sonuçta, performans göstergeleri ile hedeflenen orman yapısının ve ürün-hizmetlerin zaman ve mekan itibarıyla değişimi izlenebilmekte ve planlamanın başarısı ölçülebilmektedir.

2.1.3.8. Gerçekleştirim

Tasarımı en iyi şekilde tamamlanan bir karar destek sisteminin, yazılım geliştirme aşaması olan *gerçekleştirim* aşamasında, yazılımı kullanıcı dostu arayüz ile kodlama ve test etme çalışmaları yer almaktadır.

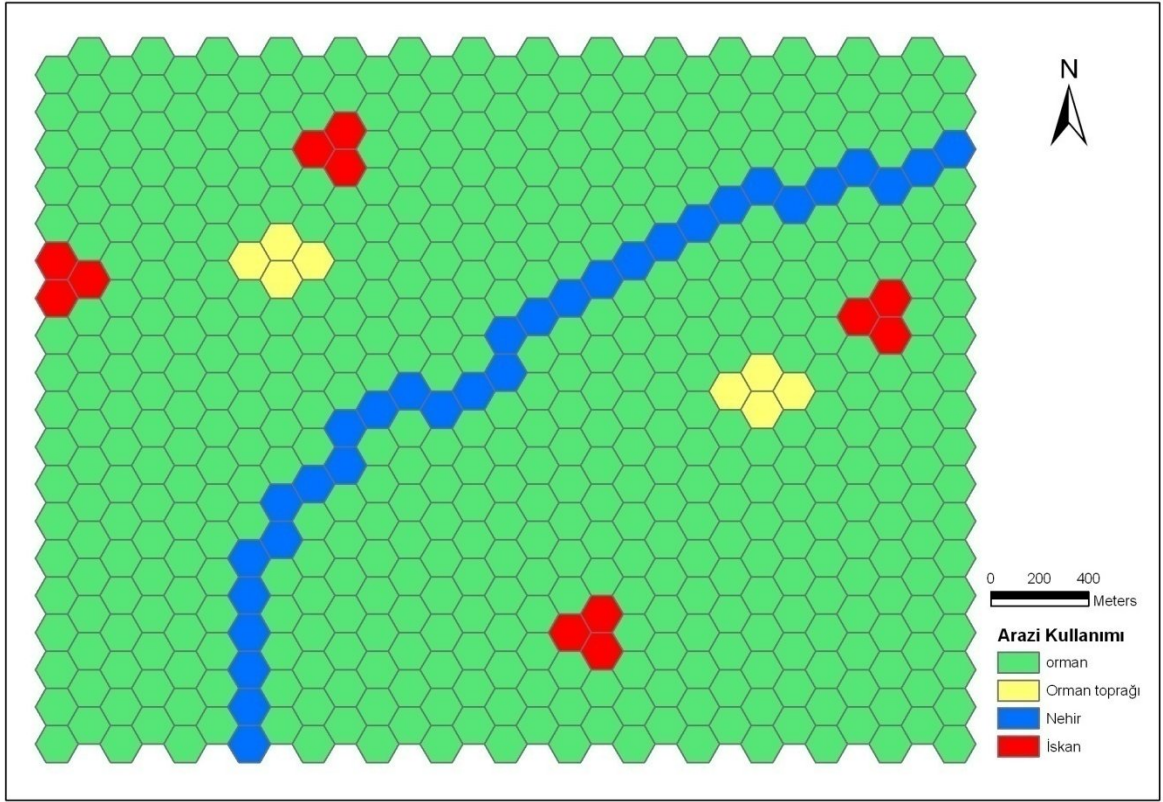
Kodlama, tasarım sonucu geliştirilen model mimarisinin fiziksel yapısını içeren modelin bilgisayar ortamında yazılım biçimine dönüştürülmesi çalışmalarını kapsamaktadır. Yazılımın gerçekleştirilmesi için, programlama dili ve yazılım geliştirme araçlarından oluşan yazılım geliştirme ortamının seçimi söz konusudur (Arifoğlu ve Doğru, 2001). Yazılımın belli bir düzende *kodlanması*, modüler yapıya sahip olması, ilgili yazılımın sürekliliği ve daha sonraki aşamalarda bakım-güncellenmesi için son derece önemlidir. En uygun kod yazım düzeninin seçilmesi, kodlamada açıklama satırlarına başvurulması ve anlamlı isimlendirme gibi bir takım kodlamaya yönelik çalışmalar, gerçekleştirim aşamasında üzerinde durulması gereken önemli hususlardır. Bu çalışmada geliştirilen KKDS, nesne yönelimli bir programlama dili olan Delphi 2009 ortamında kodlanmıştır. Dolayısıyla kodlama, nesneye yönelik tasarım ve programlama ilkeleri benimsenerek hazırlanmıştır.

Hazırlanan konumsal planlama yazılımının kullanıcı arayüzü, kullanıcıların karar verme sürecinde önemli düşündüğü tüm sorulara cevap verebilecek şekilde tasarlanmalıdır. Kullanıcı arayüzü sadece kullanımı kolay olmamalı, aynı zamanda karar verme sürecinde kullanıcıya gerektiği taktirde detaylı bilgiler sunabilmelidir. İyi bir kullanıcı arayüzünde sistem ile kullanıcı arasında, özenle oluşturulmuş kolay ve kullanılabilir menüler, renkli

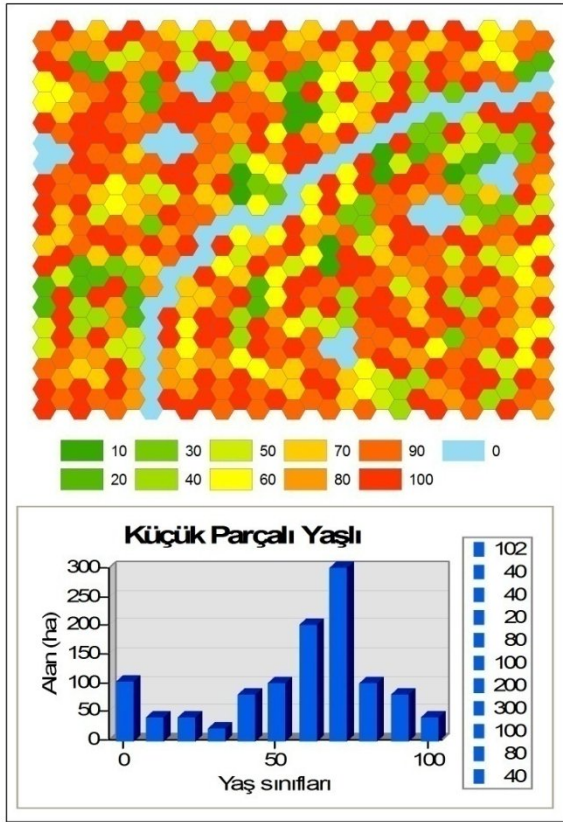
grafikler, şekiller veya tablolar sunan sunu ve rapor stilleri gibi kullanıcıya yönelik iyileştirmeler bulunmalıdır. KKDS ve modüllere ilişkin kullanıcı arayüzleri, doğrudan kullanıcıların daha kolay ve rahat bir şekilde kullanmaları ve anlamaları esasları dikkate alınarak gerçekleştirilmiş ve Delphi programlama dilinin modüllerinden faydalanılmıştır.

2.1.4. Konumsal Planlama Karar Destek Sisteminin Test Edilmesi

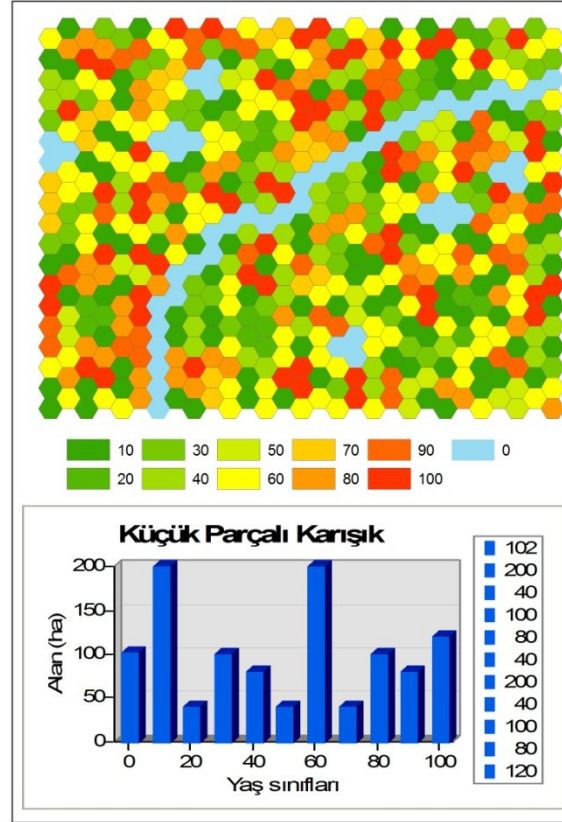
Geliştirilen konumsal simülasyon ve kombine optimizasyon modelleri hipotetik ve gerçek planlama biriminde test edilmiştir. Hipotetik planlama birimi, 2 ha büyüklüğünde 551 adet altıgen poligonlardan oluşan ve her bir bölmecik diğer bölmeciğe nokta bazlı komşu olmayacak şekilde altıgen olarak tasarlanmıştır. 1102 ha lık bu veri tabanında, 1000 ha yani 500 adet poligon orman alanı, diğer 51 adet poligon ise orman toprağı, yerleşim alanı ve Nehir alanı olarak belirlenmiştir (Şekil 19). Tüm poligonların alanı 2 ha olarak sabit alındığında belirlenen blok alanı ve açma alanı değerleri kolaylıkla kontrol edilebilmiştir. Ayrıca bu veri tabanı bölmeciklerin birleştirilmesi ile büyük-küçük ve büyük parçalı iki ayrı veri tabanı daha oluşturulmuştur (Şekil 20). Bu şekilde üç farklı poligon büyüklüğüne sahip veri tabanları oluşturulmuştur. Büyük-küçük parçalı hipotetik planlama birimi, yine 1000 ha orman alanına ve 102 ha orman dışı alana sahiptir. 1000 ha'lık orman alanı 2 ha ile 36 ha arasında değişen 80 adet poligondan oluşmaktadır (Şekil 21). Benzer şekilde büyük parçalı hipotetik planlama birimi, 8-46 ha arasında değişen büyüklüğe sahip 45 adet bölmecikten oluşmaktadır (Şekil 22). Bu veri tabanları poligon alanları sabit alınarak, üç ayrı yaş sınıfı dağılımına sahip olacak şekilde bölmeciklere yaş sınıfı değerleri girilmiştir (Şekil 20-22). Veri tabanlarındaki meşcere parametreleri (boy, yaş, üstboy, hacim, artım, göğüs yüzeyi vb.) yaşa bağlı olarak Sarıçam ağaç türüne ait hasılat tablosu değerlerinin %90 değeri alınarak belirlenmiştir. Bu şekilde, farklı aktüel yapı ve farklı konumsal özelliklerin geliştirilen modelin çözümünü ne derecede etkileyebileceği araştırılmıştır. Kurulan bu konumsal veri tabanları için farklı değerlerde CBS programı yardımıyla yakınlık analizi yapılarak ve farklı mesafeler için komşuluk tabloları hazırlanmıştır.



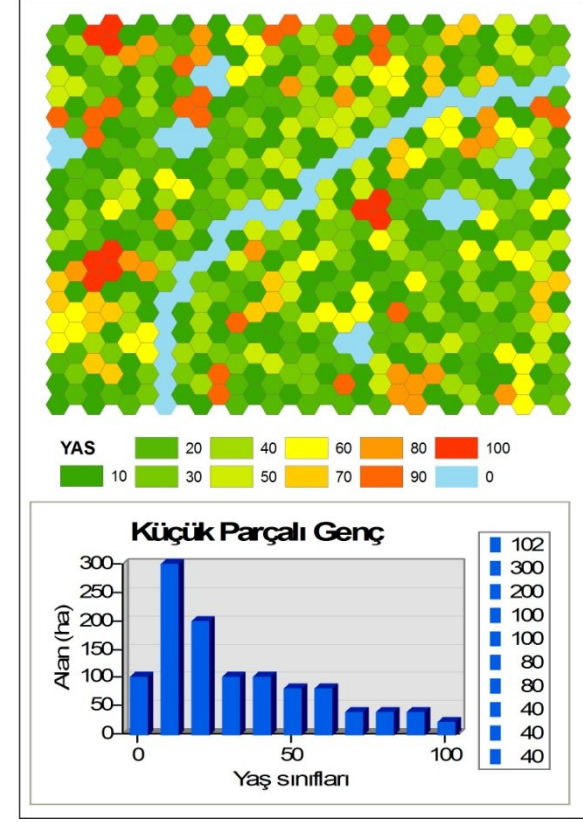
Şekil 19. Hipotetik orman ekosisteminin arazi kullanım haritası



(a)

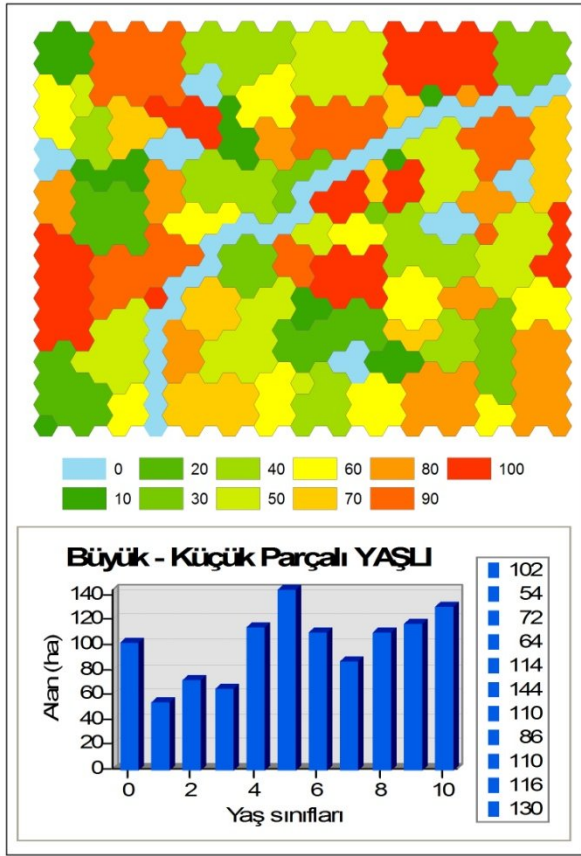


(b)

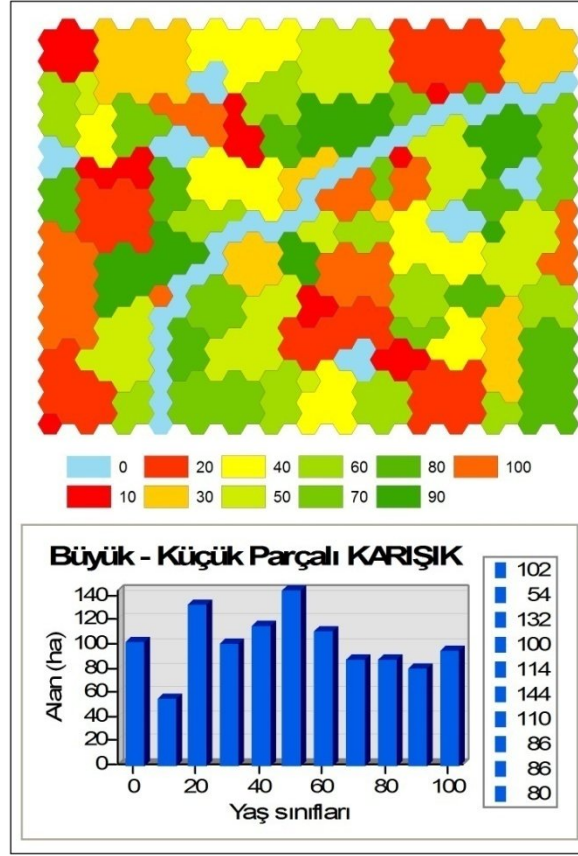


(c)

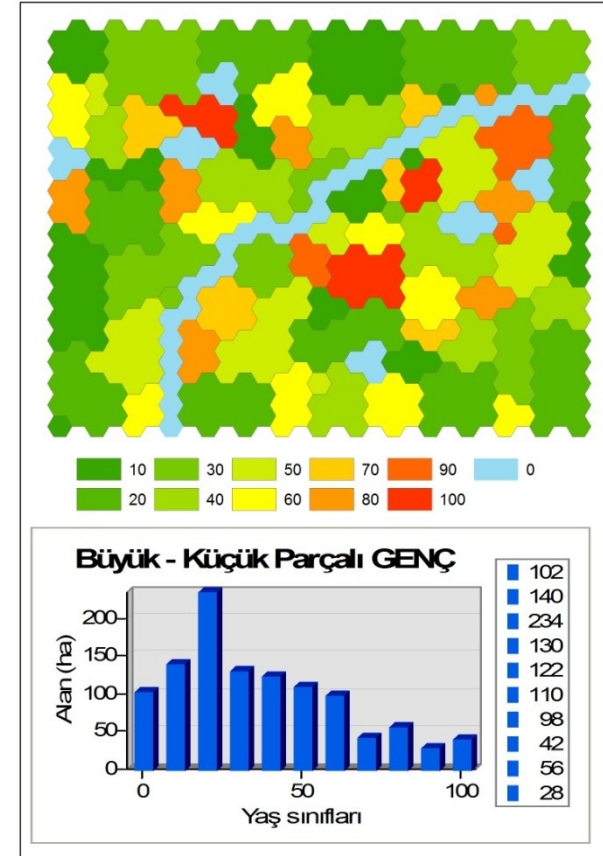
Şekil 20. Küçük parçalı hipotetik planlama birimi (a- yaşlı, b- karışık yaşlı, c- genç-yaşlı orman)



(a)

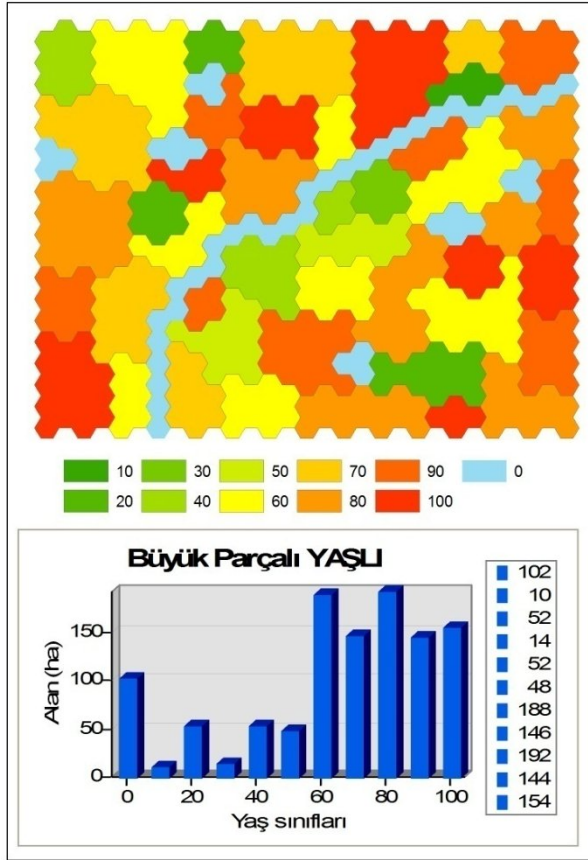


(b)

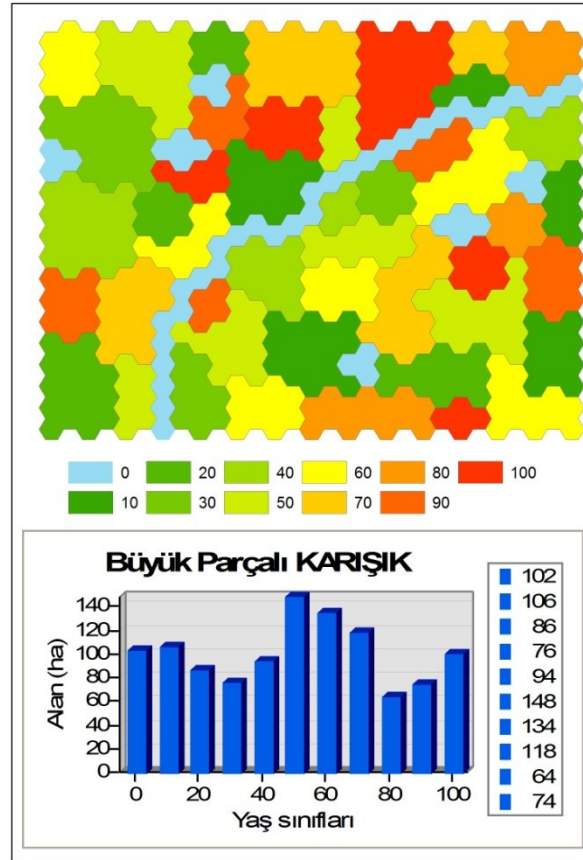


(c)

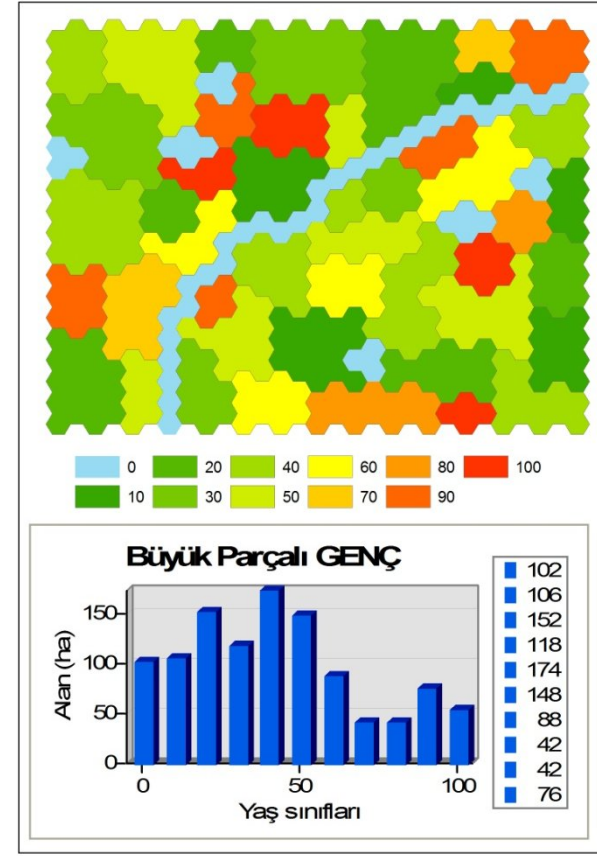
Şekil 21. Büyük-küçük parçalı hipotetik planlama birimi (a- yaşlı, b- karışık yaşlı, c- genç-yaşlı orman)



(a)



(b)



(c)

Şekil 22. Büyük parçalı hipotetik planlama birimi (a- yaşlı, b- karışık yaşlı, c- genç-yaşlı orman)

Geliştirilen yazılımın hipotetik alanlarda test edilmesinden sonra, gerçek bir planlama biriminde denenmesi ve sonuçlarının değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda, Erzurum Orman Bölge Müdürlüğü Göle Orman İşletme Müdürlüğüne bağlı Uğurlu Planlama birimi, hazırlanan yazılımın uygulanması ve test edilmesi için araştırma alanı olarak belirlenmiştir. Planlama biriminin yükseltisi 1800 metreden başlayıp 2785 metreye kadar çıkmaktadır (Şekil 25). Planlama biriminde ormanlık alanların ortalama eğimi %33 olup, tüm alanın ortalama eğimi ise %22 civarındadır. Uğurlu planlama birimi 44356,5 hektar olup alanın sadece % 17,98'i (7978 ha) ormanlık alandır ve bu alanın çoğunluğu saf Sarıçam meşcerelerinden oluşmaktadır.

Yalnızçam ormanları olarak adlandırılan Uğurlu ve Yalnızçam planlama birimleri, Akdeniz ile Orta Asya arasındaki biyocoğrafi bir koridorda yer alan Kafkas Ormanları içerisinde yer alması, dünyanın biyolojik olarak en zengin ormanları arasında kabul edilmesi, Türkiye'de Sarıçam ormanlarının deniz seviyesinden en yüksek noktasında bulunması, endemik bitki türleri açısından Türkiye'de en zengin bölgelerden biri olması ve sarıçamlarıyla da ismine nazire yaparcasına yalnız olmaması açısından önem arz etmektedir (Anonim, 2007).

Planlama birimi fauna açısından değerlendirildiğinde, Kafkasya Ekolojik Bölgesi/Sıcak Noktasında bulunan ve küresel ölçekte tehlike altındaki 50 adet yaban hayvanı türünün 16 adedinin Yalnızçam Dağlarında (Uğurlu ve Yalnızçam Planlama birimlerinde) yaşadığı kaydedilmiştir. Türkiye'deki önemli kuş alanlarından (ÖKA) birisidir (Anonim, 2007). Alan flora açısından değerlendirildiğinde, dünyanın tropikler dışında en zengin floristik merkezlerinden biri olarak bilinen ülkemiz, Avrupa- Sibiry, Akdeniz ve İran-Turan flora bölgelerinin kesişim noktasında yer almaktadır. Yalnızçam Ormanları, Avrupa-Sibiry ile İran-Turan flora bölgesinin geçiş zonu içerisinde kalmakta ve her iki bölgenin flora elemanları bakımından iyi temsil edilmektedir. Bu sebeple, çalışma alanının da içinde bulunduğu Ardahan yöresi, 10.000 civarında bitki taksonuna sahip ülkemiz florasında önemli bir yere sahiptir. Yalnızçam ve Uğurlu Planlama birimlerindeki sarıçam ormanları ve bu ormanlardaki açıklıklarda 19 adet ülkemize özgü (endemik), 5 adet ender bitki ile 4 adet Avrupa ölçeğinde ve 12 adet ülke ölçeğinde tehlike altında bitkiye ev sahipliği yapmaktadır (Anonim, 2007).

Uğurlu planlama birimindeki en önemli sorunlardan birisi, plansız ve aşırı otlatmadır. Hayvanlar orman içinde, kenarında ve mera alanlarında düzensiz olarak otlatılmaktadır. Özellikle civar illerden gelen çobanlara kiralanmış meralar ve bölgedeki

tüccarlar tarafından oluşturulan büyük baş sürüleri gençleştirme alanlarına büyük ölçüde zarar vermektedirler. Ayrıca yerel halk tarafından, orman örtüsü altında sürekli olarak ot biçilmesi, gelecek olan gençliği öldürmekte ve ormanın geleceğini tehlikeye atmaktadır. Orman içi ve kenarı köylüleri çok sert geçen kış için yakacak ihtiyaçlarını ormandan sağlamakta ve usulsüz olarak sağlanan bu kaynaklar ormanın sürekliliğini ve planların uygulanabilmesini zorlaştırmaktadır. Planlama birimini tehdit eden bütün bu unsurlar aktüel durumda düzensiz orman kuruluşunun oluşmasına, yaşlı ormanların büyük miktarda alan oluşturmasına ve orta yada genç yaşta ormanların olmamasına neden olmaktadır.

Uğurlu planlama biriminde yapılan arazi ölçme ve değerlendirmelerine göre planlama biriminde Ekonomik, Ekolojik ve Sosyo-kültürel orman fonksiyonlarına hizmet edecek alanların alan itibariyle dökümü Tablo 5’te sunulmuştur (Anonim, 2007). Planlama biriminin işletme sınıfları itibariyle alan, toplam ağaç serveti ve artımı Tablo 6’ da, meşcere tiplerinin alan ve bölmecik sayısı dağılımı ise Tablo 7’de verilmiştir. Şekil 23’de ise alandaki bulunan bölmeciklerin parça büyüklüklerine göre sayı ve alan olarak dağılımı verilmiş, en büyük bölmecik alanı 50 ha’dır. Çalışma alanının, yaş sınıfları dağılımı incelendiğinde büyük miktarda alanın idare süresini doldurmuş görülmektedir (Şekil 24).

Tablo 5. Uğurlu planlama birimindeki fonksiyonlar, işletme amaçları/koruma hedefleri

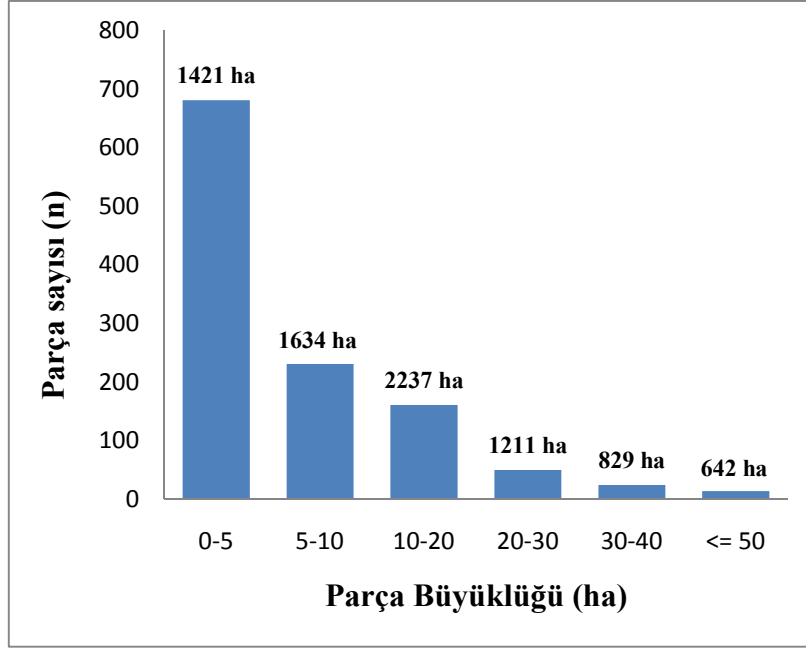
Orman Fonksiyonları		İşletme Amaçları/ Koruma Hedefleri	Alan (ha)
EKONOMİK	Odun Ürünleri Üretimi	Odun Hammaddesi	2714,2
EKOLOJİK	Doğayı Koruma	Orman Ekosistemini İyileştirme	3086,5
		Yüksek Dağ Orman Ekosistemi a) Üst zonu	1846,0
		b) Koruma Zonu (70 mt)	710,4
		BÇ Koruma ve İzleme	5022,0
	Su Kenarı Koruma Alanları	Su Kaynaklarını Koruma	816,8
SOSYO- KÜLTÜREL	Sosyal Baskılı Alanlar	Sosyal Baskılı Alanları Koruma	27961,8
		Sosyal baskılı alanları koruma zonu (70 m)	1233,0
	Yol Kenarı Estetik Koruma	Yol Kenarı Estetik Koruma	68,4
İskan, harabe			894,1
Toplam			44356,5

Tablo 6. Uğurlu planlama birimi toplam alan, ağaç serveti ve artımının işletme sınıflarına dağılımı

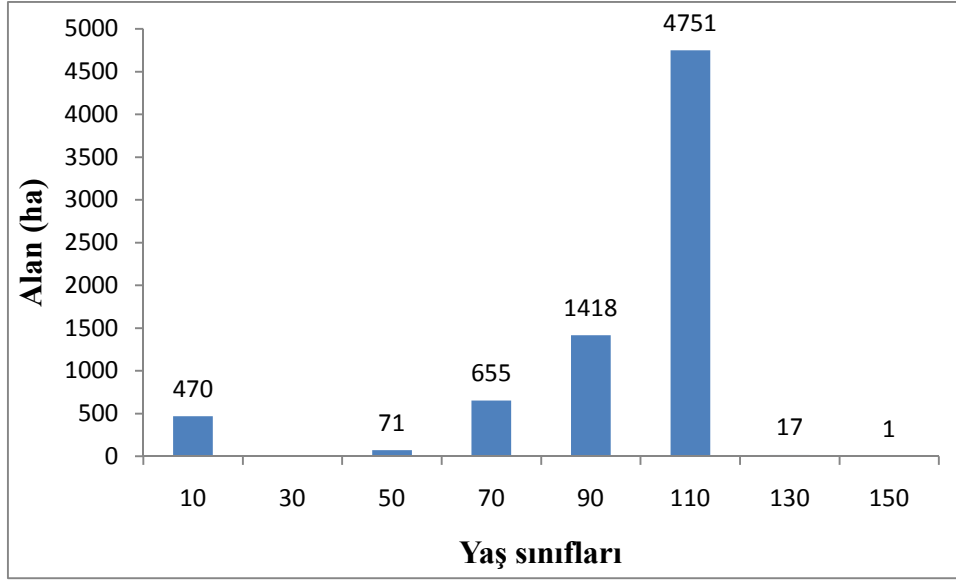
İşletme sınıfı (İşletme Amacı)	Alan (Ha)	Toplam Hacim (m ³)	Toplam Artım (m ³ /yıl)
A-Sarıçam Üretim Ormanı	4987,8	951308	16667
B-Orman Ekosistem İyileştirme	1204,3	176088	2750
C-Doğa Koruma	409,0	85437	1687
D-Sosyal Baskılı Alanları Koruma	1376,9	261120	4515
Toplam	7978,0	1474043	25619

Tablo 7. Uğurlu planlama birimi meşcere tipleri alan ve bölmecik sayısı

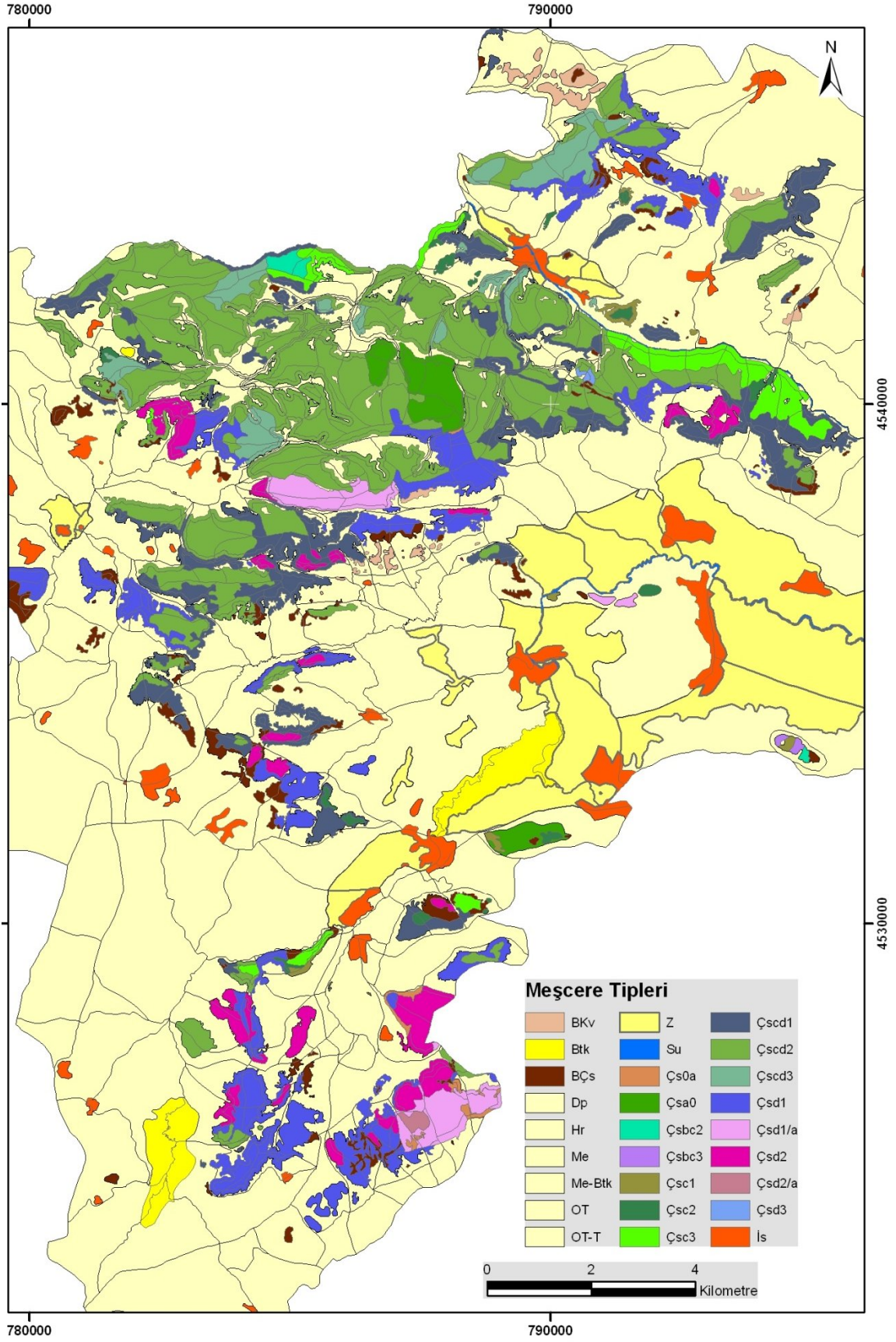
Meşcere Tipleri	Alan (ha)	Bölmecik sayısı
Çs0a	29.4	15
Çsa0	565.2	34
Çsbc2	30.9	3
Çsbc3	8.6	2
Çsc1	42.6	10
Çsc2	91.9	27
Çsc3	296.0	30
Çscd1	1260.2	232
Çscd2	2893.6	317
Çscd3	348.5	44
Çsd1	1219.3	182
Çsd1/a	249.0	28
Çsd2	447.3	72
Çsd2/a	15.8	1
Çsd3	6.1	3
BÇs	359.0	130
BKv	111.9	31
Toplam	7978.0	1161



Şekil 23. Bölmeçiklerin parça büyüklüklerine göre adet ve alan olarak dağılımı



Şekil 24. Aktüel orman kuruluşunun yaş sınıfları dağılımı

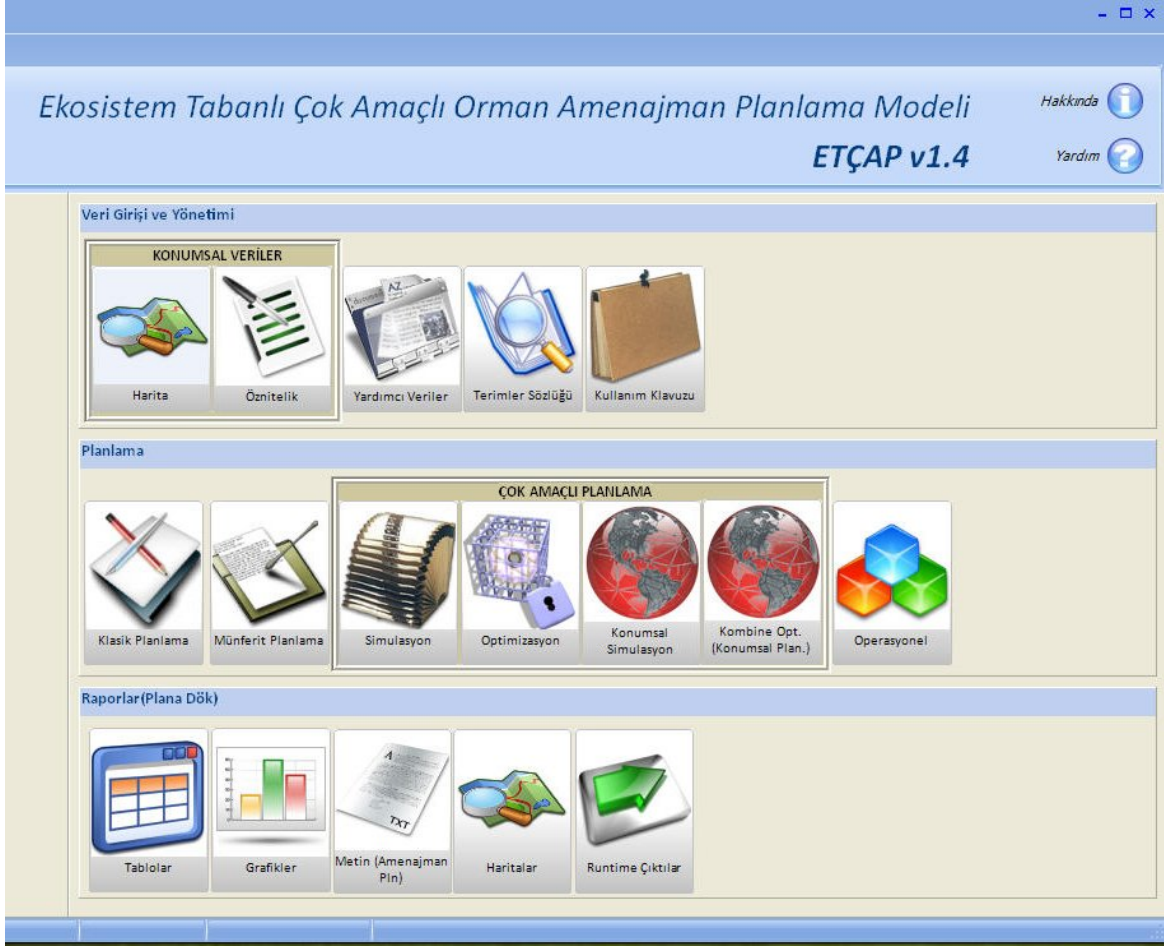


Şekil 25. Uğurlu planlama biriminin genel tanıtımı

3. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada Türkiye ormancılık ve ETÇAP) ilkelerine uygun konumsal planlama (ETÇAPKombine) tasarım ve yazılımı geliştirilmiştir. Konumsal planlama yazılımı bu aşamadan itibaren ETÇAPKombine olarak isimlendirilecektir. Model yazılımı temel olarak veri girişi ve yönetimi, konumsal planlama ve raporlar (plana dök modülü; harita, grafik ve tablo) olmak üzere üç ana bölümden oluşmaktadır (Şekil 26). Veri girişi bölümünde çok amaçlı orman amenajmanı planı düzenlemek için gerekli her türlü veri ve bilgiler (aktüel veriler, hasılat tabloları, komşuluk tablosu gibi) tablo, grafik, metin ve harita (konumsal veri tabanı) gibi formatlarda hazırlanmaktadır. Planlama bölümünde ise herhangi bir orman amenajman problemini çözmek için gerekli olan uygun bir planlama tekniği seçilmektedir. Bunlar klasik (formüller), simülasyon, optimizasyon, konumsal simülasyon ve kombine optimizasyon teknikleri olarak mevcuttur. KKDS'nin son bölümünü ise raporlar kısmı oluşturmaktadır. Burada, herhangi bir orman amenajmanı planlama senaryosunun çözüm sonuçları, belirtilen orman amenajmanı planı formatlarında grafik, tablo, harita veya metin şeklinde sunulmaktadır.

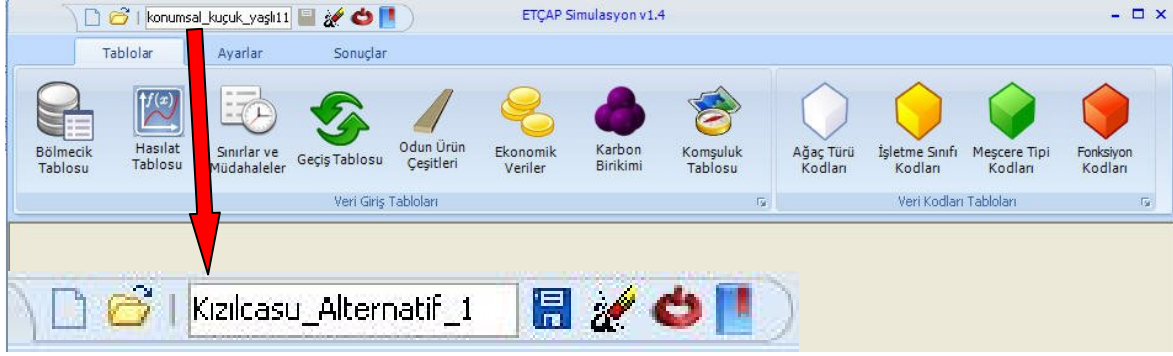
Klasik planlama modeli Sivrikaya (2008), ETÇAPSimülasyon ve ETÇAPOptimizasyon modeli Keleş (2008) tarafından farklı orman işletme şekilleri için geliştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında aynı yaşlı orman ekosistemi için konumsal simülasyon ve kombine optimizasyon tabanlı orman amenajmanı planlama modelleri geliştirilmiştir. Geliştirilen klasik planlama modeli aynı zamanda, diğer tüm modeller için veri giriş modülü işlevini sunmaktadır. Bu modül arazide elde edilen envanter verilerini derleyerek, bölmecik bazında meşcere tipleri parametrelerini hesaplamakta ve amenajman planı için gerekli olan ön veri altlıklarını hesaplamaktadır. Konumsal simülasyon ve kombine optimizasyon modelleri ise, simülasyon ve optimizasyon model sonuçlarını kullanarak geliştirilmiştir. Bu modellere konumsal özellikler eklenerek kombine optimizasyon tekniklerinin (TB) kullanılması ile uygulanabilir bir orman amenajman planının hazırlanması hedeflenmiştir.



Şekil 26. ETÇAP Orman amenajman planlama yazılımı ana penceresi

3.1. Simülasyon Tabanlı Konumsal Orman Amenajman Planlama Modeli (ETÇAPKonSimülasyon)

ETÇAP yazılımı ana penceresinden (Şekil 26) konumsal simülasyon modeli seçildiğinde ETÇAPKonSimülasyon modeli başlangıç durumu penceresi açılır (Şekil 27). Bu pencere, Keleş (2008) tarafından geliştirilen ETÇAPSimülasyon penceresine konumsal özellikler ve parametreler eklenerek hazırlanmıştır. Yeniden düzenlenen bu pencere, *Model/Senaryo Yönetimi*, *Tablolar (Veri tabanı girişi)*, *Ayarlar (Simülasyon ayarları ve Sonuçlar (Çıktılar) olmak üzere dört ana bölümden oluşmaktadır.*



Şekil 27. ETÇAPSimülasyon modeli başlangıç ana penceresi

3.1.1. Model (Senaryo) Yönetimi

Modelleme teknikleri genellikle bir takım amaç veya kısıtlayıcı özellikleri içeren farklı senaryolardan meydana gelmektedir. Bu nedenle model penceresi açıldığı zaman öncelikle yeni bir senaryo oluşturulması gerekmektedir. Şekil 27 incelendiği zaman, modelin sol üst köşesinde çoğu Windows programlarında olduğu gibi bazı kısayol tuşları bulunmaktadır. Bu kısayollar, simülasyon modelinde yeni bir senaryonun hazırlanması, varolan bir simülasyon senaryosunun açılması veya herhangi bir simülasyon senaryosunun silinmesi, senaryolar üzerinde yapılan değişikliklerin kaydedilmesi ve seçilen herhangi bir senaryonun raporlanması işlemlerini gerçekleştirmektedir. Sonuçta simülasyon tabanlı konumsal orman amenajmanı planlama modellerinde, kullanıcı veya karar vericiler farklı işletme amaçları, hedefleri, kısıtlayıcı koşullar ve silvikültürel müdahalelere bağlı olarak çok sayıda planlama senaryoları geliştirebilir. ETÇAPKonSimülasyon modelinde ise bu modellere konumsal parametre ve kısıtlar eklenmesi ile daha fazla sayıda alternatif türetilmekte ve raporlama modülü yardımıyla da karşılaştırmalar harita, tablo ve grafik formatında yapılabilmektedir.

3.1.2. Veri Giriş Tabloları

Tablolar menüsü, ETÇAPSimülasyon modeli için gerekli veri ve bilgi tablolarını içermekte olup Keleş (2008) tarafından tasarlanmıştır. Veri tabloları, aktüel orman verilerinin tutulduğu bölmeçik tablosu, optimal verilerin tutulduğu hasılat tabloları, silvikültürel müdahalelerin belirlendiği sınırlar ve müdahaleler tablosu, meşçerelere yapılan müdahaleler sonucu ağaç türünde veya bonitette meydana gelecek değişikliklerin belirlendiği geçiş tablosu, odun ürün miktarlarını hesaplamak için kullanılacak odun ürünü

çeşitleri tablosu, odun üretimine yönelik ekonomik verilerin kaynağı olan ekonomik veri tablosu, karbon birikimi hesabının gerçekleştirilmesi için gerekli karbon birikimi tablosundan oluşmaktadır. Bununla birlikte bu bölümde doğrudan bölmecik tablosu veri tabanı ile ilişkili olan ve bir planlama biriminde yer alan ağaç türleri, işletme sınıfları, orman fonksiyonları ve meşcere tiplerinin kod ayarlarını kullanıcı tarafından sağlamak için veri kod yönetimi tablosu üretilmiştir. (Şekil 28).

ALAN ADI	ALAN KODU KARSILIĞI
+ TABLO_KODU : HASILAT_TABLOSU	
+ TABLO_KODU : BOLMECİK_TABLOSU	
+ TABLO_KODU : ODUN_URUN_CESITLERI_TABLOSU	
+ TABLO_KODU : EKONOMİK_VERİ_TABLOSU	
+ TABLO_KODU : KARBON_BIRIKIMI_TABLOSU	
+ TABLO_KODU : GECİS_TABLOSU	
+ TABLO_KODU : MINMAKYASLAR_TABLOSU	
- TABLO_KODU : BAKIMLAR_TABLOSU	
YAS	YAS
DEGER	DEGER
BAKIMTURU	BAKIMTURU
MAKMINKOD	MAKMINKOD
- TABLO_KODU : KOMSULUK_TABLOSU	
BOLMECİK_ID	BLC_NO
KOMSU_ID	BLC_NO_NB
MESAFE	MESAFE

KAPAT

Şekil 28. Kod yönetimi tablosu ile veri alanlarının düzenlenmesi

Bölmecik tablosu, herhangi bir planlama birimi için, en küçük orman parçacığı olan bölmecik bazında her türlü bilgiler (işletme sınıfı, ağaç türü, gelişim çağı, kapalılık, meşcere tipi, orman fonksiyonu, servet, artım, göğüs yüzeyi, ağaç sayısı vs) tutulmaktadır (Şekil 29). Bölmecik tablosu aktüel orman verilerini içermekte ve aynı zamanda ETÇAP orman amenajman planlama modellerinin ana veri kaynağını oluşturmaktadır. Kullanıcı planı yapmak istediği planlama birimine ait bölmecik tablosunu, bu tablo üzerinde yer alan “veri al” komutuyla modele dahil edebilmektedir. Bölmecik tablosu farklı veri

tabanlarından (.mdb, .xls, .dbf veya xml) modele alınabilmektedir. Bununla birlikte, bölmecik tablosu ve diğer tüm tablolarda, süzme özelliğinin olması büyük bir avantaj olarak gözükmemektedir. Bölmecik tablosu verileri herhangi bir veri kaynağından alınırken “kod yönetimi” penceresi açılmakta, bölmecik tablosunda olması gereken alanlar kontrol edilerek modele alınmamaktadır. Böylelikle kullanıcıların bölmecik tablosunda yada diğer tablolarda bulunması gereken verileri yanlış veya eksik girmeleri önlenmektedir. Örneğin, ETÇAPKonSimülasyon modelinde bölmecikğin yaşını gösteren “YAŞ” sütununun karşılığı modelde “YAS” olabilir. Kullanıcı bu tür karışıklıkları bu tablo aracılığıyla düzenlemektedir. “Tablo yapıları” veri girişi ekranı Şekil 28’te gösterilmiştir. Bu durum sadece bölmecik tablosu için geçerli olmayıp, hasılat tablosu ve odun ürün çeşitleri tablosu gibi diğer tüm tabloların alan ayarlamaları için de söz konusudur. Dolayısıyla tüm tablolar için standart “tablo yapıları” ekranı ile birlikte düzenlenmekte ve her türlü veri tablolarının uygun biçimde modele yansıtılması gerçekleştirilmektedir.

Bölmeçik ID	İşletme Sınıfı	Yaş	Meşçere Tipi	Fonksiyon 1	Fonksiyon 2	Servet (m3/ha)	Artım (m3/ha/yıl)	Silvikültürel ETA (m3/ha)	Silvikültürel Adet (*/ha)	Ağaç Sayısı (*/ha)	Üst Boy (m)	Orta Boy (m)	Orta Çap (cm)	Güçlük Yüzeği (m2/ha)	ALAN
238	4	100	çsbç3	çal	0	539.802	5.4	13.32	176	1662	20.25	20.25	5.4	50.868	
239	4	100	çsbç3	çal	0	539.802	5.4	13.32	176	1662	20.25	20.25	5.4	50.868	
240	1	100	çsbç3	çal	0	539.802	5.4	13.32	176	1662	20.25	20.25	5.4	50.868	
241	1	100	çsbç3	çal	0	539.802	5.4	13.32	176	1662	20.25	20.25	5.4	50.868	
242	1	70	çsb2	çal	0	427.851	8.073	15.975	500	3033	16.668	16.668	8.073	47.736	
243	4	100	çsbç3	çal	0	539.802	5.4	13.32	176	1662	20.25	20.25	5.4	50.868	
244	2	90	çsb3	çal	0	510.147	6.327	13.779	230	2026	19.26	19.26	6.327	49.986	
245	4	100	çsbç3	çal	0	539.802	5.4	13.32	176	1662	20.25	20.25	5.4	50.868	
247	4	60	çsab3	çal	0	377.658	7.875	12.681	572	4419	14.877	14.877	7.875	46.035	
249	4	100	çsbç3	çal	0	539.802	5.4	13.32	176	1662	20.25	20.25	5.4	50.868	
250	4	90	çsb3	çal	0	510.147	6.327	13.779	230	2026	19.26	19.26	6.327	49.986	
251	4	90	çsb3	çal	0	510.147	6.327	13.779	230	2026	19.26	19.26	6.327	49.986	
252	4	80	çsb2	çal	0	472.851	7.866	17.883	396	2551	18.099	18.099	7.866	49.023	
253	4	80	çsb2	çal	0	472.851	7.866	17.883	396	2551	18.099	18.099	7.866	49.023	
255	1	60	çsab3	çal	0	377.658	7.875	12.681	572	4419	14.877	14.877	7.875	46.035	
257	2	100	çsbç3	çal	0	539.802	5.4	13.32	176	1662	20.25	20.25	5.4	50.868	
258	1	60	çsab3	çal	0	377.658	7.875	12.681	572	4419	14.877	14.877	7.875	46.035	
259	2	100	çsbç3	çal	0	539.802	5.4	13.32	176	1662	20.25	20.25	5.4	50.868	
261	4	100	çsbç3	çal	0	539.802	5.4	13.32	176	1662	20.25	20.25	5.4	50.868	
264	4	80	çsb2	çal	0	472.851	7.866	17.883	396	2551	18.099	18.099	7.866	49.023	
265	4	90	çsb3	çal	0	510.147	6.327	13.779	230	2026	19.26	19.26	6.327	49.986	
266	4	30	çsa3	çal	0	144.711	9.081	10.755	1379	1086	6.093	6.093	9.081	28.71	
267	1	90	çsb3	çal	0	510.147	6.327	13.779	230	2026	19.26	19.26	6.327	49.986	
271	1	100	çsbç3	çal	0	539.802	5.4	13.32	176	1662	20.25	20.25	5.4	50.868	
273	3	1000	OT	çal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Şekil 29. Bölmeçik tablosu seçim ve düzenleme ekranı

Hasılat Tablosu, orman ekosistemini oluşturan ağaç türleri için optimal büyüme seyrini gösteren tablolardır. Planlama birimine ait ağaç türleri için kullanılacak olan hasılat tabloları eğer yazılımda hazır olarak verilmemiş yada yöresel hasılat tabloları kullanılacak ise, hasılat tablosu ekranının sol tarafında yer alan “Veri Al” komutu ile birlikte modele

çekilmektedir (Şekil 30). Modele dahil edilen herhangi bir hasılat tablosunun alanlarının ETÇAP planlama modelindeki karşılıklarının kontrolünün ve gerekli düzenlemelerinin yapılması yine hasılat tablosu penceresinin sol tarafında yer alan “Alan Ayarları” komutu ile açılan “Tablo Yapıları” ekranı üzerinden yapılmaktadır.

Yaş	Bonitet Endeksi	Üst Boy	Kalan Orta Boy (m)	Kalan Ağaç Sayısı	Kalan Göğüs Yüzeyi (m2)	Kalan Orta Çap (cm)	Asli Orta Boy (m)	Kalan Gövde Hacmi (m3)	Ayrılan Ağaç Sayı
25	0	11,25	0	1790	22,32	12,6	0	132,2	
30	0	13,39	0	1408	25,87	15,3	0	160	
35	0	15,08	0	1112	27,98	17,9	0	183,6	
40	0	16,53	0	884	29,18	20,5	0	203,75	
45	0	17,67	0	711	29,8	23,1	0	220	
50	0	18,7	0	588	30,24	25,6	0	234,05	
55	0	19,52	0	489	30,56	28,2	0	245,65	
60	0	20,17	0	418	30,71	30,6	0	255,4	
65	0	20,78	0	364	30,72	32,8	0	263,5	
70	0	21,31	0	322	30,62	34,8	0	269,9	
75	0	21,77	0	293	30,5	36,4	0	275,5	
80	0	22,16	0	270	30,3	37,8	0	279,7	
85	0	22,53	0	252	30,14	39	0	283,8	
90	0	22,89	0	237	29,96	40,1	0	287,15	
95	0	23,19	0	225	29,77	41	0	289,45	
100	0	23,5	0	217	29,6	41,7	0	291,3	
105	0	23,77	0	208	29,41	42,4	0	292,7	

Şekil 30. Hasılat tablosu seçim ve düzenleme ekranı

Sınırlar ve Müdahaleler Tablosu, kullanıcının planlamak istediği planlama biriminde yer alan meşcereler için silvikültürel müdahale seçeneklerini ve bu müdahalenin yapılacağı yaş sınırlarını belirlemektedir. Silvikültürel müdahale reçetesinde, seçilen analiz alanları (bölmeçik, meşcere, fonksiyon-meşcere vb.) için maksimum ve minimum gençleştirme ve bakım yaşları girilmektedir. Minimum ve maksimum bakım yaşları ile periyot genişliklerine bağlı olarak model tarafından otomatik olarak bir arayüz oluşturulmakta ve bu arayüzde kullanıcı, meşcerelerin yaş ve hektardaki servet veya göğüs yüzeyi miktarlarına göre bakım miktarlarını girmektedir.

Geçiş Tablosu, meşcerelere yapılan müdahalelere bağlı olarak, meşcerenin müdahale sonrası geçeceği yeni ağaç türü ve boniteti belirlemek için kullanılmaktadır. Bunun için kullanıcı bir tablo oluşturmakta, öncelikle kaynak (mevcut) ağaç türü ve bonitet ile bu ağaç türüne yapılacak müdahaleden sonra meşcerenin geçeceği yeni (yani hedef) ağaç türü ve boniteti belirli bir olasılıkla (geçiş oranı) seçmektedir (Şekil 31). Geçişlerin

belirlenmesinde, geçiş tablosunun sağ alt kısmında bulunan alan ayarları araç çubuğundan faydalanılmaktadır. Bir ağaç turunden başka bir ağaç turüne geçiş olması durumunda, yeni ağaç turüne ait hasılat tablosu, odun ürün eşitleri tablosu, karbon birikimi katsayıları vs otomatik olarak model tarafından kullanılmaktadır.



şekil 31. Geçiş tablosu düzenleme ekranı

Odun rn eşitleri Tablosu, meşcerelerin gençleştirme ve bakım müdahaleleri ile birlikte sunmuş olduğu odun üretimi miktarının (eta), meşcere orta çapı değerine göre ürün eşitleri itibariyle miktarlarını göstermek için gereklidir. Bu tablolar ürün çeşitlerini (tomruk, maden direği, sanayi odunu ve yakacak odun) kabuklu ve kabuksuz olmak üzere yüzde oranlar şeklinde göstermektedirler. Tablo zerindeki alanlarda kullanıcı isteğine bağlı olarak değişiklikler yapmak mümkün olup, diğer tablolar gibi dışarıdan veri al komutu ile farklı formatlardan veri almak mümkündür. Odun ürünü eşitleri tablosu, odun üretiminden elde edilecek gelirler ile birlikte, orman ekosisteminden zamanla atmosfere salınacak olan karbon emisyonlarının hesaplanması için kullanılmaktadır.

Ekonomik Veri Tablosu, her bir ağaç türü için odun ürünlerinin birim gelir ve giderlerinin belirlendiği tablolardır. Kullanıcı tarafından planı yapılacak olan yörenin piyasa şartları dikkate alınarak seçilen ağaç türü için pencerenin solunda yer alan ‘‘Yeni Kayıt Ekle’’ ve ‘‘Alan Ayarları’’ ile birlikte odun retimi NBD’nin hesaplanması için gerekli veriler bu tablodan girilmektedir. Girilecek değerler herhangi bir para biriminde girilebilir. Bu tablo yardımıyla ayrıca ağaç trlerine göre ağaçlandırma maliyetleri girilmektedir.

Karbon birikimi tablosu, her bir ağaç türü için aktüel servet ve etalarına dayanılarak meşcerelerin karbon depolama miktarlarını hesaplamak için kullanılan altlıklardır. Aynı zamanda bu tablolar aracılığıyla girilen veriler yardımıyla bir orman ekosisteminin karbon

birikimi, karbon emisyonu, net karbon birikimi ve net oksijen üretimi miktarlarını hesaplamak mümkündür.

Komşuluk tablosu, herhangi bir planlama birimi için, en küçük orman parçacığı olan bölmecik bazında, her bir bölmecığın diğer bölmecige hangi mesafede komşu olduğu tutulmaktadır (Şekil 32). Ancak, komşuluk tablosu oluşturmak amacıyla bölmecik katmanına herhangi bir CBS yazılımında yakınlık analizi yapılması (çoklu tampon) gerekmektedir. Bu amaçla planlayıcı bölmecik katmanına 0,1 metreden başlayıp istediği mesafeye kadar (0.1, 10, 50, 100, 200, 300, 500 metre gibi) farklı mesafeler için tampon oluşturabilir. Tampon oluşturulmuş katman ArcView 3.2 programında konumsal analiz işlemine tabi tutulur. Bu işlemden sonra elde edilen veri tablosu **.mdb*, **.dbf*, **.xls* veya **.xml* uzantılı dosya olarak kaydedilmektedir. Bu dosya “Tablo Oluştur” komutuyla modele dahil edilebilmekte ve bu tablodan “mesafe” adında bir tablo oluşturmaktadır. “Veri al” komutuyla alınan mesafe tablosu, herhangi bir bölmecığın belli mesafede hangi bölmecikler ile komşu olduğunu göstermektedir. Diğer tablolarda olduğu gibi mesafe tablosu içinde standart bir yapı “Tablo Yapıları” ekranı ile birlikte düzenlenmekte ve kullanıcı hataları en aza indirilebilmektedir (Şekil 28).

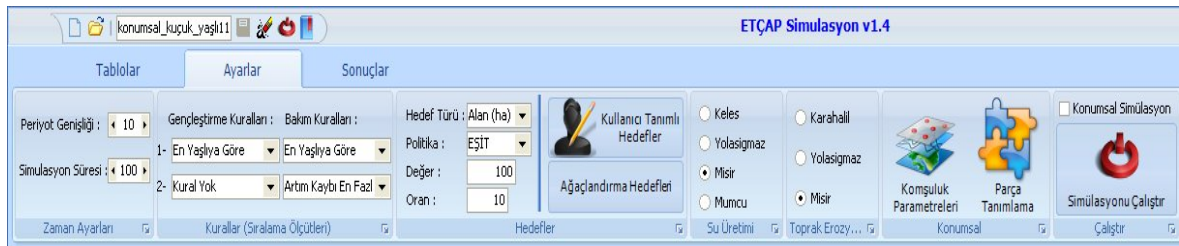


BOLMECIK_ID	KOMSU_ID	MESAFE
63	67	120
63	75	120
63	81	120
63	93	120
63	107	120
63	108	120
64	19	120
64	21	120
64	35	120
64	48	120
64	52	120
64	61	120
64	71	120
64	78	120
64	85	120
64	98	120
64	112	120
64	114	120

Şekil 32. Komşuluk tablosu düzenleme ve oluşturma ekranı

3.1.3. Konumsal Simülasyon Ayarları

ETÇAPKonSimülasyon modelinin ikinci bölümünü oluşturan “Ayarlar” sekmesi, ETÇAPSimülasyon modülünden farklı olarak Komşuluk parametreleri belirleme menüsü ve konumsal simülasyon çalıştırma düğmesi eklenmiştir. Bu menü herhangi bir simülasyon senaryosunun belirlenmesi için gereken zaman ayarları, kuralların belirlenmesi, hedeflerin ortaya konulması, yardımcı modellerin seçilmesi ve konumsal simülasyon modelinin çalıştırılması gibi bileşenlerden meydana gelmektedir (Şekil 33).



The screenshot shows the 'ETÇAP Simülasyon v1.4' application window with the 'Ayarlar' (Settings) tab selected. The interface includes several sections for configuration:

- Periyot Geniğiği:** 10
- Simülasyon Süresi:** 100
- Geliştirme Kuralları:** 1- En Yaşlıya Göre, 2- Kural Yok
- Bakım Kuralları:** En Yaşlıya Göre, Artım Kaybı En Fazl
- Hedef Türü:** Alan (ha)
- Politika:** EŞİT
- Değer:** 100
- Oran:** 10
- Kullanıcı Tanımlı Hedefler:** Keles, Yolasıgnmaz, Misir, Mumcu, Karahallı, Yolasıgnmaz, Misir
- Ağaçlandırma Hedefleri:** (Empty)
- Konumsal Simülasyon:** (Checked)
- Buttons:** Zaman Ayarları, Kurallar (Sıralama Ölçütleri), Hedefler, Su Üretimi, Toprak Erozy..., Komşuluk Parametreleri, Parça Tanımlama, Simülasyonu Çalıştır

Şekil 33. Konumsal Simülasyon ayarları ekranı

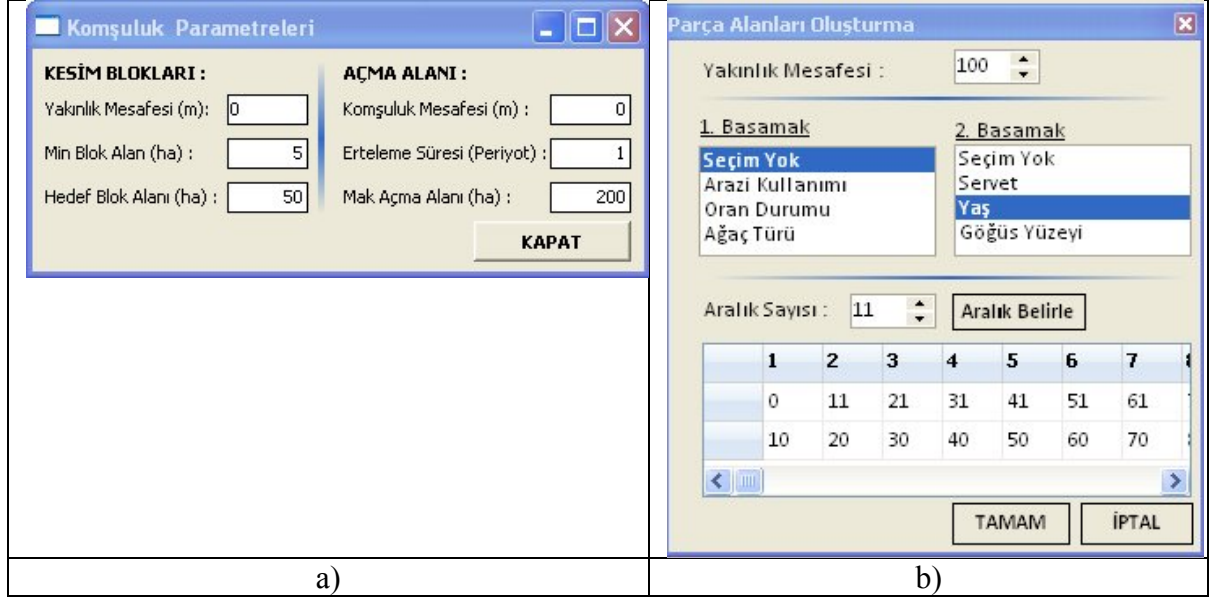
Bir simülasyon modelinde öncelikle kullanıcı tarafından girilmesi gerekli olan veriler, periyot genişliği ve simülasyon süresi uzunluklarıdır. ETÇAPKonSimülasyon modelinde periyot genişlikleri 5 ve 5'in katları (5, 10, 15, 20 gibi) olarak belirlenebilmektedir. Simülasyon süresi ise periyot genişliklerinin katları olacak şekilde belirlenmektedir.

Kuralların Belirlenmesi, ETÇAPKonSimülasyon modelinde kurallar (sıralama kriterleri) olarak adlandırılan pencere aracılığı ile birlikte karar verici, gençleştirme veya bakım yapılacak meşcerelerin kesim önceliklerini belirlemektedir.

Hedeflerin Düzenlenmesi, Burada kullanıcı tarafından, gençleştirme alanları ve toplam etaların kontrolüne dayalı hedefler veya politikalar belirlenmektedir. Kullanıcı öncelikle hedef türlerinden (alan veya eta) bir tanesini seçmektedir. Bir sonraki adımda seçtiği hedef türüne göre bir politika hedefi (örneğin eşit eta, dalgalı eta, giderek artan eta politikası veya kullanıcı tanımlı eta politikaları gibi) ortaya koyar. Daha sonra her bir periyot için bir eta hedefi ortaya koyar. Son olarak periyotlar arası alan veya eta kontrolleri için belirli bir dalgalanma veya sapma oranı belirlemektedir.

Yardımcı Modellerin Seçilmesi, ETÇAPKonSimülasyon ve ETÇAPKombine modellerinde, dört farklı su üretimi ve üç farklı toprak erozyonu modeli yazılıma dahil edilmiştir. Kullanıcı planlama probleminin çözümünde su üretimi veya toprak erozyonu miktarlarını hesaplamak istiyorsa, bu modellerden faydalanabilmektedir.

Konumsal Parametre ve parça tanımlarının Belirlenmesi, ETÇAPKonSimülasyon modelinde, orman parçalarının (bölmeçik, doğal yaşlı orman, yaş sınıfı, yaban hayatı yaşam alanı-habitat vb.) büyüklük, şekil ve coğrafi dağılım gibi konumsal özelliklerinin planlama yörüngesi boyunca kontrol edilmesi gerekmektedir. Konumsal planlamada öne çıkan kesim bloğu ve açma alanlarının yeri, alanı, şekli ve coğrafi dağılımları ile birlikte, tanımlanabilen her orman parçasının konumsal özelliklerini planlamada temsil edilmesi için, parça belirleme kriterlerinin modele eklenmesi için veri giriş arayüzü hazırlanmıştır. Bu arayüzde, minimum kesim bloğu büyüklüğünü "*Min blok alanı*", hedefte ulaşılmak istenen hedef kesim bloğu büyüklüğünü "*Hedef blok alanı*", maksimum açma alanı büyüklüğünü ise "*Mak açma alanı*" ifadeleri hektar birimi cinsinden temsil edilmektedir (Şekil 34-a).



Şekil 34. Komşuluk Parametreleri (a) ve parça tanımlama (b) penceresi

Parça Tanımlarının Belirlenmesi, orman parçalarının ve bu parçaların oluşturduğu sınıfların işletme amaçlarına uygun olarak belirlendiği arayüzdür (Şekil 34-b). Bu arayüz ile, hem genel (arazi kullanım, orman durumu, ağaç türü) hem de detay bazda (yaş, servet ve göğüs yüzeyi gibi) planlama yörüngesi boyunca belirlenen bu parçaların oluşturduğu sınıflara göre parçalılık indekslerini belirlenmektedir.

3.1.3.1. Modelin Çalıştırılması ve Çıktıların Sunumu

ETÇAPKonSimülasyon modelinde bir simülasyon senaryosuna ilişkin her türlü veri ve bilgiler ilgili veri giriş tablolarına girilip, gerekli simülasyon ayarları yapıldıktan sonra model çalıştırılmaktadır. Modelin çalıştırılmasında “Ayarlar” sekmesinin en sonunda yer alan “Simülasyon Çalıştır” düğmesi üzerindeki “Konumsal Simülasyon” sekmesi aktif hale getirilerek model çalıştırılır. Her bir senaryonun çalıştırılması ile birlikte elde edilen çıktılar haritaya aktarılıp değerlendirildikten sonra, duruma bağlı olarak ayarlarda değişiklik yapmak suretiyle yeni senaryolar oluşturulup model tekrar çalıştırılabilir. ETÇAPKonSimülasyon modelinin önemli özelliği, kullanıcıların çok fazla veya az hedef miktarları girmesi durumunda “İkili Hedef Bulma (İKİHEB)” yöntemi ile birlikte en uygun hedefi yakalamaya çalışmaktadır (Keleş, 2008). Bu şekli ile birlikte ETÇAPSimülasyon yöntemi, Soykan (1979) tarafından geliştirilen simülasyon modellerinden farklılık göstermektedir. SESİMOD modeli, kullanıcı tarafından her bir periyot için belirlenen alan

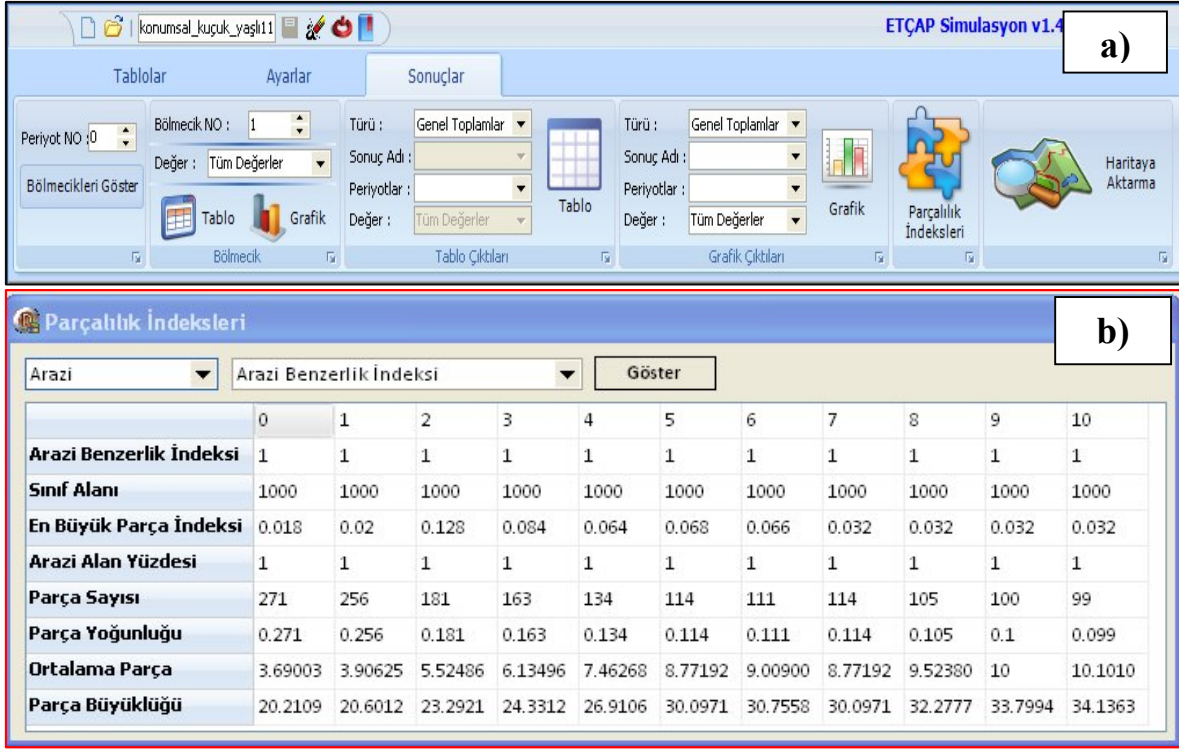
veya eta hedeflerine ulaşmaya çalışmaktadır. KASİMOD modeli, kullanıcı tanımlı hedeflere ulaşırken, bir sonraki periyottaki alan veya eta değerini bir önceki periyottaki hedef değerini belirli miktarda kademeli olarak artırmak suretiyle belirlemekte ve sonuçta her bir periyot için alan ve etaları tahmin etmektedir. GRASİMOD modeli ise, aktüel ve optimal kuruluşu bilinen bir orman ekosisteminde, öncelikle minimum ve maksimum eta hedeflerini belirlemektedir. Daha sonra, ilk periyotta minimum hedefe ulaştıktan sonra, izleyen periyotlardaki eta değerlerini, maksimum değere ulaşacak şekilde artırmakta ve o periyot için eta miktarlarını tahmin etmektedir (Keleş, 2008).

Modelin çalıştırılmasından sonra ilgili senaryoya ait her türlü çıktılar “Sonuçlar” sekmesinden izlenebilir (Şekil 35-a). Simülasyon sonuçları bölmecik çıktıları, tablo, grafik, parçalılık indeksleri ve haritaya aktarma olmak üzere beş ana bölümden oluşmaktadır.

Konumsal simülasyon modeli ile elde edilen sonuçlar, hem toplam hem de ayrıntılı olarak bölmecik bazında görmek mümkündür. Her bir bölmecik kullanıcısı tarafından istenilen periyottaki serveti, artımı, göğüs yüzeyi, su üretimi, karbon birikimi ve daha pek çok bilgiyi görmek ve yorumlamak mümkündür. Bölmecik bazında elde edilen her türlü bilgi grafik ve tablo şeklinde kullanıcı tarafından görülebilmektedir. Aynı zamanda meşcere parametrelerinin (yaş, servet, göğüs yüzeyi, orta boy, orta çap gibi) zamana bağlı olarak değişimi *.xls (Excel) dosya formatında kayıt edilmekte ve harita ile birleştirilerek planlama yörüngesi boyunca harita üzerinde görülebilmektedir.

Bununla birlikte, bir orman ekosistemi simülasyon tabanlı olarak planlandığı zaman, her türlü sonuçları (dikili servet, eta, su üretimi, karbon birikimi, ağaçlandırılan alan, tomruk üretim miktarı, NBD, yaş sınıfı alan miktarı vs) planlama birimi düzeyinde görmek mümkündür. Aynı zamanda, işletme sınıfı bazında, ağaç türleri bazında, orman fonksiyonları bazında, meşcereler bazında, bölme bazında veya yaş sınıfları bazında tüm çıktıları modelde görmek söz konusudur.

Konumsal planlamanın önemli çıktılarından olan arazi ve sınıf bazında parçalılık indeks değerlerinin değişimini planlama yörüngesi boyunca tablo ve grafik formatında izlemek modelde mevcut olan özelliklerdendir (Şekil 35-b).



Şekil 35. Konumsal simülasyon a) sonuçlar ana ekranı, b) parçalılık indeksleri ekranı

3.1.4. ETÇAPKonSimülasyon Modelinin Hipotetik Planlama Biriminde Uygulanması

Simülasyon tabanlı konumsal orman amenajman planlama modeli için gerekli her türlü veriler öncelikle modele girilmesi gereklidir. Bunlar hasılat tablosu, odun ürün çeşitleri tablosu, karbon birikimi tablosu, silvikültürel müdahaleler ve sınırlar tablosu, komşuluk tablosu, ekonomik veriler tablosu, aktüel orman verilerinin yer aldığı bölmeçik listesi gibi veri tabanlarından oluşmaktadır. Bu verilere ilave olarak, simülasyon modelinin konumsal parametre tablosu, zaman ayarları, kurallar ve hedeflerin de yapılacak değişikliklerle birlikte çok sayıda plan senaryoları geliştirilebilmektedir. Bu senaryolara bağlı olarak, farklı konumsal özelliklerin orman ekosisteminin dinamik yapısına etkisi izlenebilmekte ve en iyi konumsal plan seçeneğine bu senaryoları değerlendirmek suretiyle erişilebilmektedir.

Bu çalışma geliştirilen konumsal modelin hipotetik alanda test edilmesi amacıyla çok sayıda plan senaryoları geliştirilmiştir. Ancak burada örnek olması açısından bir simülasyon süresi sabit alınmış ve konumsal parametre özellikleri değiştirilmek suretiyle altı farklı senaryo incelenmiştir. Model çıktıları grafik, tablo ve haritalar şeklinde sunulmuştur. Konumsal simülasyon modelinin temel özellikleri aşağıda verilmiştir:

- Yaşlı aktüel kuruluşa sahip hipotetik alan bölmecik tablosu kullanılmıştır.
- Sarıçam için geliştirilmiş hasılat tablosu verileri kullanılmıştır.
- Simülasyon senaryosunun basit ve sade olması için silvikültürel müdahaleler sadece işletme sınıfı bazında verilmiştir. Minimum ve maksimum kesim yaşları sırasıyla 100 ve 180 olarak belirlenmiştir. 40, 50, 60 ve 70 yaşlarında girilmek üzere dikili servetin %5'i bakım etası olarak öngörülmüştür.
- Bölmecikler gençleştirildikten sonra yine aynı ağaç türü ve aynı bonitet ile devam edeceği varsayılmıştır.
- Sarıçam ağaç türü için meşcere orta çapına göre geliştirilmiş odun ürün çeşitleri tablosu kullanılmıştır.
- Ekonomik verilerin hesaplanmasında ihtiyaç duyulan gelir ve giderler (üretim, tevzi, satış, tarife bedeli) için daha önce Yalnızçam planlama biriminde Mumcu (2007) tarafından kullanılan veriler kullanılmıştır. İskonto oranı ise %3 olarak kararlaştırılmıştır.
- Karbon birikiminin hesaplanmasında Asan vd (2002) tarafından ibreli ağaç türleri için belirlenen biokütle dönüşüm faktörleri kullanılmıştır.
- Odun ürünlerinden meydana gelecek karbon emisyonu miktarlarının hesaplanması için yıllık ayrışma oranları olarak tomruk için 0.03, maden direği için 0.05, sanayi odunu için 0.08 ve yakacak odun için 1 ve kök için ise 0.05 olarak öngörülmüştür.
- Periyot genişliği 10 yıl, simülasyon süresi 100 yıl alınmıştır
- Gençleştirme ve bakım kesim kuralı olarak “en yaşlı meşcerelerin kesilmesi” kararlaştırılmıştır.
- Su üretim modeli olarak Keleş (2003) ve toprak erozyonu modeli için Karahalil (2003) tarafından Karanlıkdere planlama birimi için geliştirilmiş modeller seçilmiştir.

Yukarıdaki temel özellikler ve varsayımlara bağlı olarak altı farklı planlama senaryosu geliştirilmiştir.

Tüm planlama senaryolarında, her periyotta 100 ha alanın gençleştirmeye alınacağı ve bu değerden en fazla %10 sapma olabileceği varsayılmıştır. Planlama yörüngesi 100 yıl olarak tüm senaryolarda sabit alınmıştır. Belirtilen bu simülasyon özellikleri temel alınarak “S1” planlama senaryosu oluşturulmuştur ve kesinlikle hiçbir konumsal kısıt kullanılmamıştır. Bu senaryoya konumsal parametre ve parçalılık indeks değerleri entegre

edilmesi ile beş farklı senaryo türetilmiştir (Tablo 8).

Tablo 8. Planlama senaryosu alternatifleri

Senaryo Adı	Yakınlık mesafesi (metre)	Minimum kesim bloğu (ha)	Hedef kesim bloğu (ha)	Komşuluk mesafesi (metre)	Erteleme Süresi (periyot)	Maksimum açma alanı (ha)
S1	-	-	-	-	-	-
S2	0	6	12	0	0	36
S3	0	6	12	0	0	48
S4	0	6	12	100	0	48
S5	0	4	12	0	1	60
S6	0	4	10	0	2	60

Hazırlanan tüm konumsal senaryolarda, parçalılık indeksleri planlama yörüngesi boyunca sınıf ve arazi bazında izlenmiştir. Bu amaçla parça tanımlaması yapılmış ve sınıflar oluşturulmuştur. Hipotetik planlama birimi senaryosu için, genel bazda arazi kullanım sınıfları ve detay bazda 11 adet yaş sınıfına (10 yıl aralıklı) göre parça tanımı yapılmıştır (Tablo 9).

Tablo 9. Yaş sınıfları bazında parça tanımları

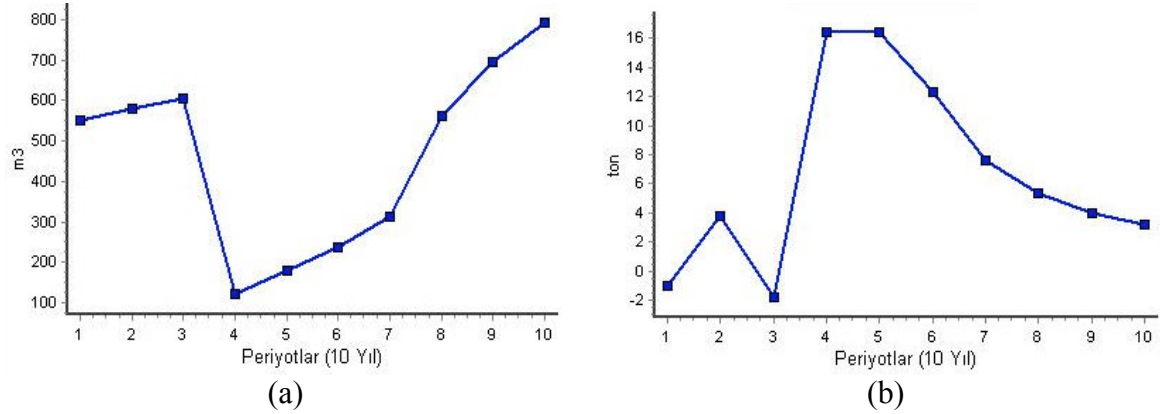
Parça ID	Yaş aralığı
1	0-10
2	11-20
3	21-30
4	31-40
5	41-50
6	51-60
7	61-70
8	71-80
9	81-90
10	91-100
11	>100

Temel özellikleri ve konumsal özellikleri verilen altı planlama simülasyon senaryosunun sonuçlarını grafik, tablo ve harita formatında üretilmiştir. Örneğin “S1” senaryosu çözümü sonucu oluşan çözüm setine göre, Şekil 36’te “7” numaralı bölmeçik simülasyon süresi boyunca her bir periyottaki meşcere parametreleri miktarları gösterilmiştir. Bu değerlerin tamamı “bölmeçik ID” değerleri kullanılarak harita veri tabanına aktarılmakta ve sunulmaktadır. Ayrıca bölmeçik bazında grafik oluşturmaya örnek olması açısından, “7” nolu bölmeçik servet ve toprak koruma değeri grafik olarak

gösterilmektedir (Şekil 37).

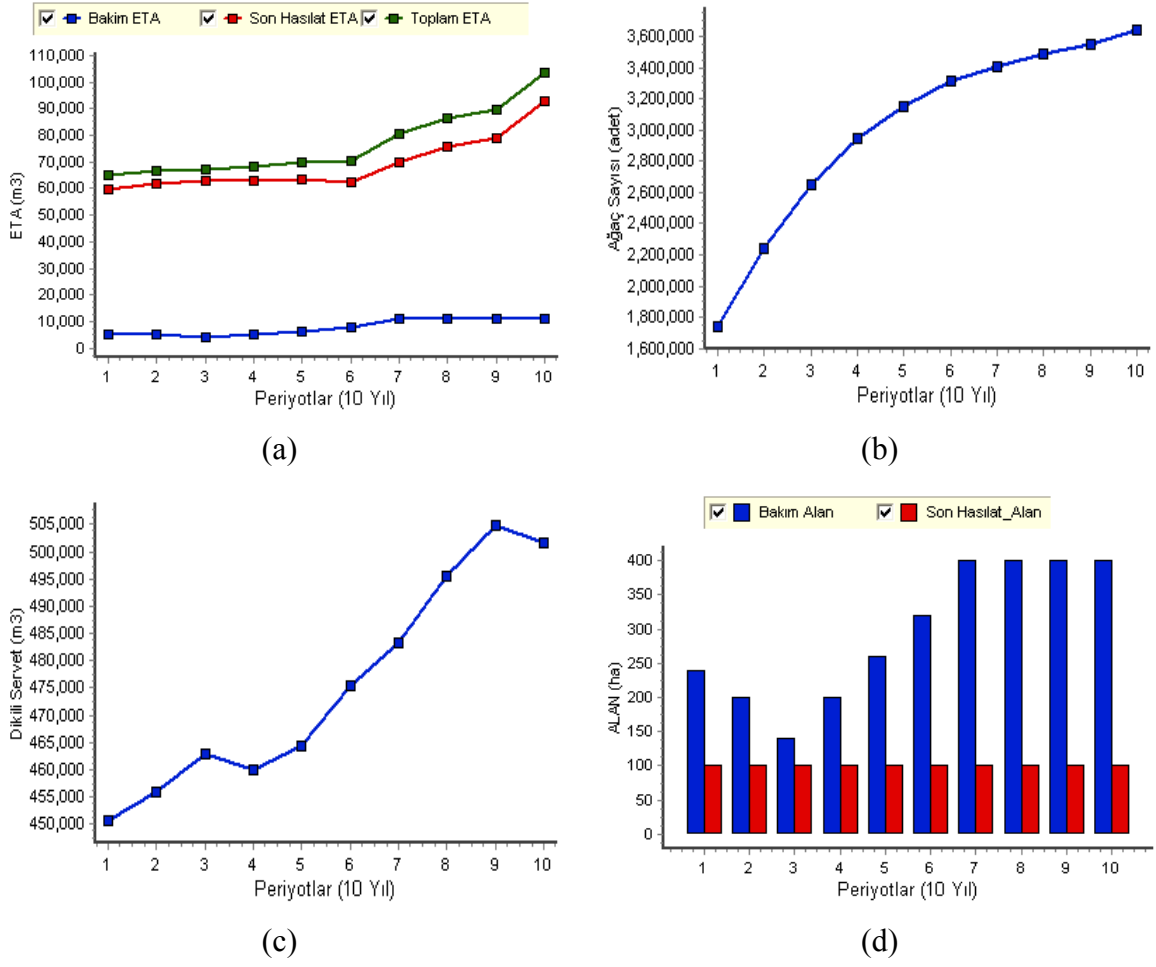
Servet	Artım	Sly_ETA	Sly_Adel	Agac_Sa	Ust_Br	Orta_Bo	Orta_Ca	Gogus_Yuz	A
10,15	6,33	13,78	230	2026	19,26	19,26	6,33	49,99	2
51,90	5,40	13,78	230	1662	20,25	19,26	7,13	62,80	2
78,57	5,04	13,78	230	1355	21,15	19,26	7,76	51,61	2
65,79	4,58	13,78	230	1101	21,86	19,26	8,60	64,57	2
22,31	6,51	13,78	230	13609	4,88	0,00	5,10	22,43	2
79,41	6,51	13,78	230	13609	4,88	0,00	5,10	22,43	2
36,51	10,09	13,78	230	12077	6,77	0,00	6,10	31,90	2
11,72	15,84	13,78	230	8833	10,75	0,00	8,10	42,78	2
63,20	10,61	13,78	230	6230	14,04	0,00	10,10	48,09	2
93,44	8,75	13,78	230	4910	16,53	0,00	12,10	51,15	2
92,08	8,97	13,78	230	3370	18,52	0,00	14,20	53,04	2

Şekil 36. S1 senaryosunda, 7 numaralı bölmeceğe ait simülasyon sonuçları ekranı



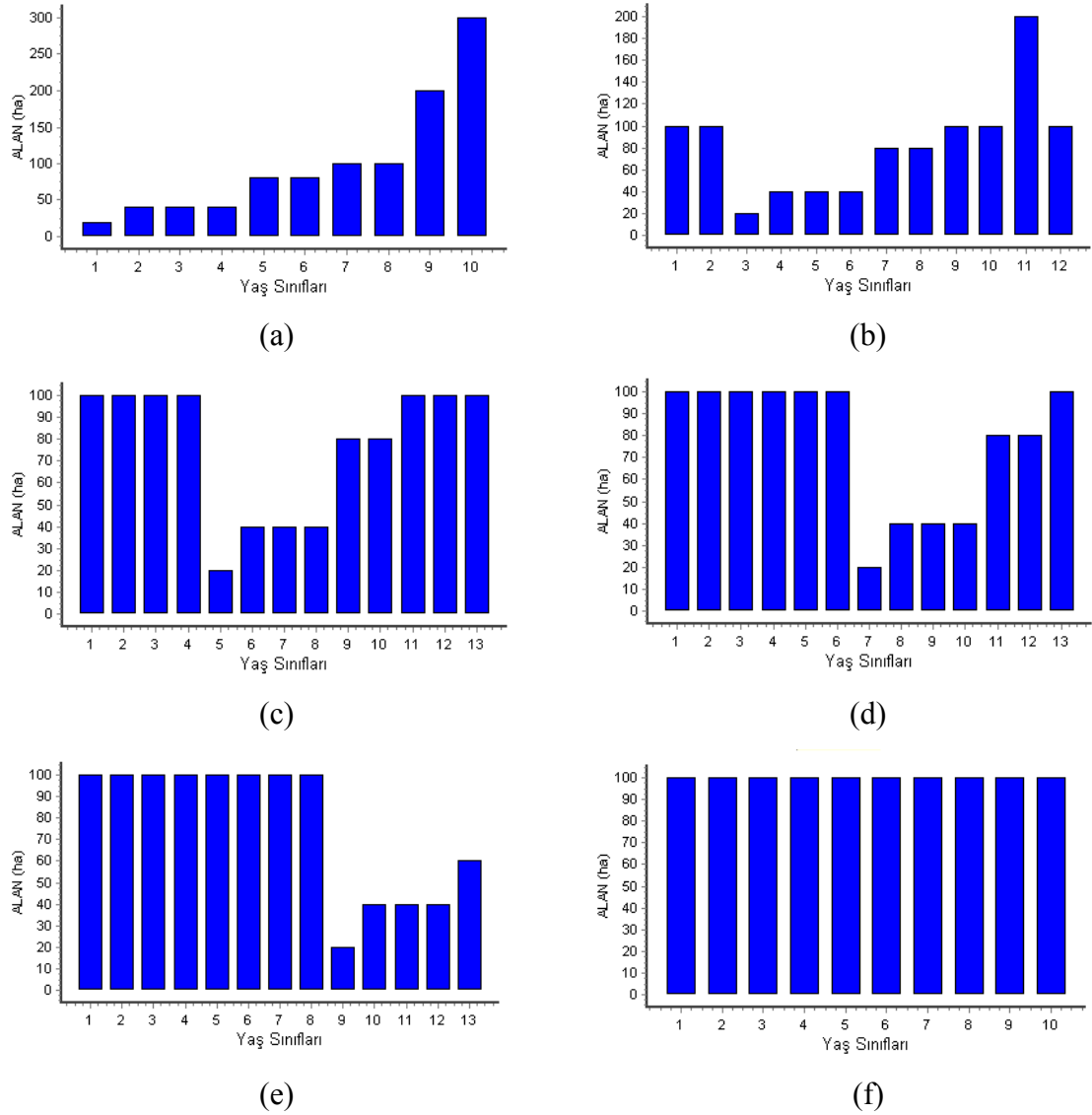
Şekil 37. 7 numaralı bölmeceğin 100 yıllık süreçteki a) servet ve b) toprak kaybı değeri

Örnek olarak kullanılan “S1” planlama senaryosundan, orman ekosistemi bazında simülasyon süresi boyunca elde edilen eta miktarları, karbon birikimi değerleri, dikili servet ve bakım-gençleştirme alanı miktarları grafik formatında hazırlanmıştır (Şekil 38).aşağıda verilmiştir. Diğer konumsal simülasyon senaryoları içinde aynı grafikler oluşturulmaktadır.



Şekil 38. Planlama birimi düzeyinde gerçekleşen a) ara ve son hâsılat eta miktarları b) ağaç sayısı c) dikili servet miktarları d) gençleştirme ve bakım alanları

Ayrıca modelde planlama senaryosunun çözümü sonucu orman ekosisteminin her bir periyottaki yaş sınıfı dağılımını izlemek mümkündür. Burada örnek olarak verilen S1 planlama senaryosunda, planlama biriminin belirli periyotlardaki yaş sınıfları dağılımı incelendiğinde, planlama yörüngesi sonunda eşit yaş sınıfı dağılımının sağlandığı görülecektir (Şekil 39). Bunun nedeni planlama senaryosunda periyodik alan (OPA) kısıtı (%10 sapma) politikasının tercih edilmesinden kaynaklanmıştır.



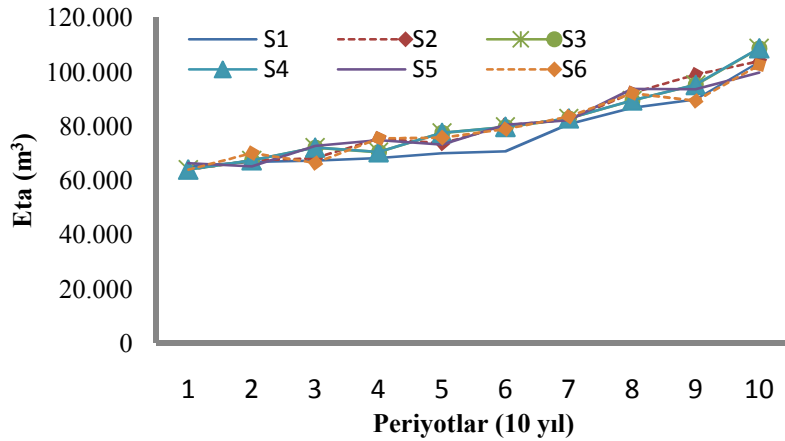
Şekil 39. Orman ekosisteminin a) başlangıç durumundaki b) 20 yıl sonraki c) 40 yıl sonraki d) 60 yıl sonraki e) 80 yıl sonraki f) planlama süresi sonundaki yaş sınıfları dağılımı (100 yıl)

Konumsal simülasyon modeli ile test edilen altı farklı simülasyon senaryosu birlikte değerlendirildiğinde, toplam eta miktarlarının zamansal değişimi Şekil 40' ta, ağaç sayılarının değişimi ise Şekil 41'de verilmiştir. Toplam eta miktarları karşılaştırıldığında, simülasyon senaryoları fazla farkın olmadığı görülmektedir. Ancak, her bir senaryoda konumsal olarak üretime alınan bölmeciklerin farklı olduğu görülmektedir. Bu aşamada, konumsal simülasyonun ilk ve en önemli katkısı sonuçların haritaya aktarılması ile konumsal öğelerin periyodik olarak izlenmesidir. Miktar olarak benzer çıktıların üretilmesi, konumsal özelliklerin de benzer olacağı anlamına kesinlikle gelmemelidir. Burada oluşan gençleştirme alanı bilgilerinin haritaya aktarılması ile farklı plan

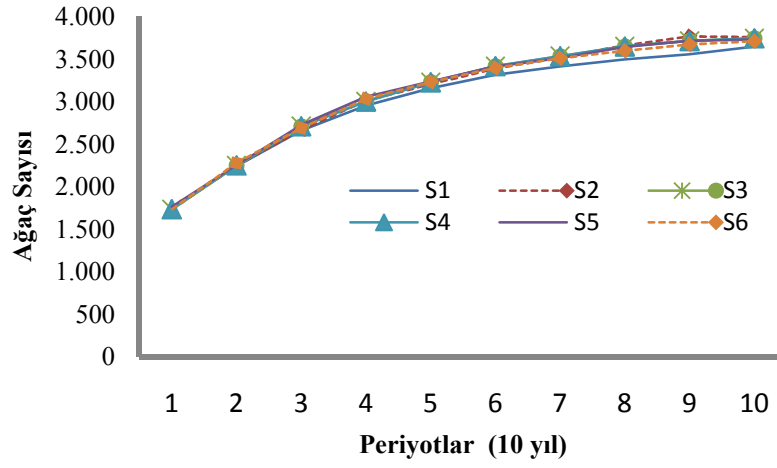
senaryolarının performansı harita üzerinde hazırlanmıştır (Şekil 42-47).

Temel simülasyon (S1) sonucunu gösteren harita incelendiğinde, aynı periyotta kesilen bölmeciklerin çok düzensiz bir şekilde alana dağıldığı, hiçbir şekilde komşu olup olmadığı, aynı anda komşu bölmeciklerin kesim alanları büyüklüklerinin kontrol edilmediği görülmektedir. Diğer bir ifadeyle, aynı anda komşu bölmeciklerin çoğu bir anda aynı periyotta gençleştirilmeye alınmış yahut çok dağınık halde kesim alanları oluşturulmuştur (Şekil 42). S2 senaryosu ise konumsal parametre kullanılması nedeniyle, minimum 6 ha, maksimum 12 ha blok alanı büyüklüğünü, “0” metre yakınlık mesafesi ile tam olarak sağlamaktadır (Şekil 43). S3 senaryosu ise “0 metre” komşuluk mesafesi, 0 periyot erteleme süresi ve 36 ha maksimum açma alanı kısıtını tam olarak yerine getirmiştir (Şekil 44). Benzer şekilde S4 senaryosunda verilen konumsal parametreler tam olarak sağlanmış ve harita üzerinde sunulmuştur (Şekil 45). S5 ve S6 senaryolarında ise, erteleme süresi kullanılarak ardışık periyotlardaki kesime uygun blokların konumsal dağılımları kontrol edilmektedir (Şekil 46-47).

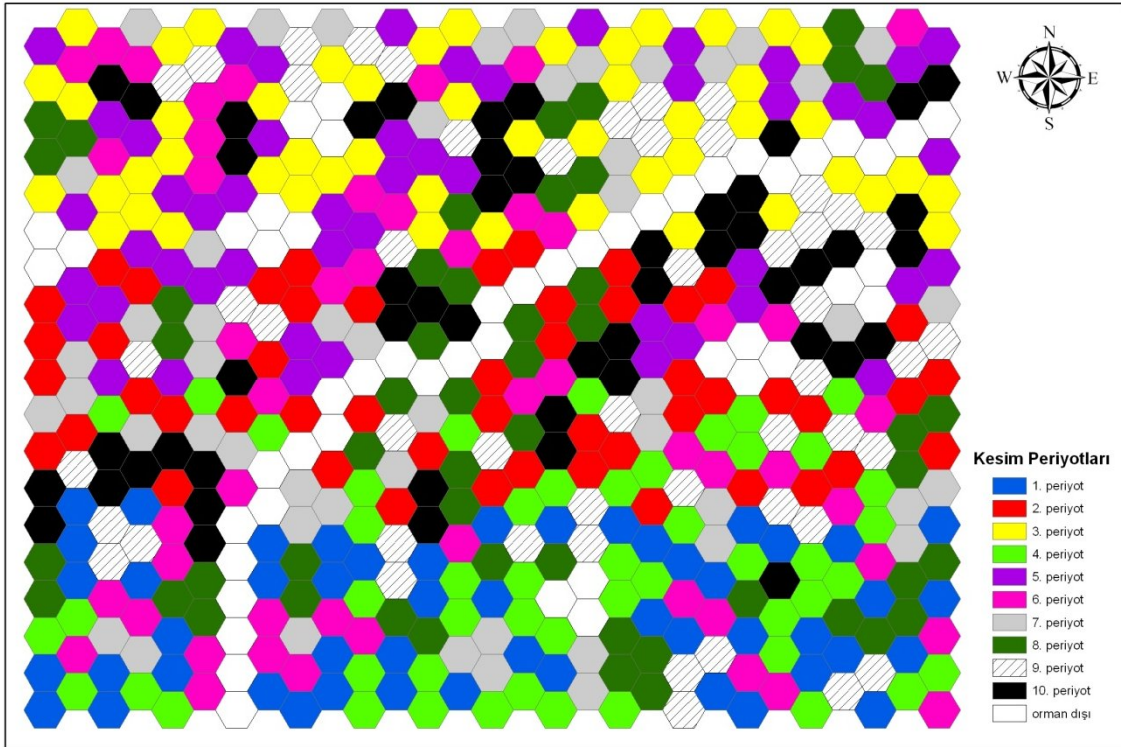
Bu çalışma kapsamında tasarlanan ve yazılımı gerçekleştirilen simülasyon modelleri konulan kısıtları tam olarak yerine getirmekte, kuralın ihlali durumunda simülasyon çalışması ilgili periyotta durdurulmaktadır. İlgili periyotta ne gibi bir hatadan dolayı simülasyonun durdurulduğu kullanıcıya hata kodu olarak verilmektedir. Örneğin, modelin çalıştırılması esnasında 8. periyotta gençleştirme ve bakım alanlarına ilişkin veriler hesaplanırken, açma alanı kuralı ihlal edilmeden istenilen alan yada eta hedefine ulaşılamıyorsa ve başka bir bölmeciğin çözüme dahil edilmesi ile istenilen hedef yine de yakalanamıyorsa, simülasyon o anda durdurulur ve hata kodu açıklaması ile birlikte kullanıcıya iletilir.



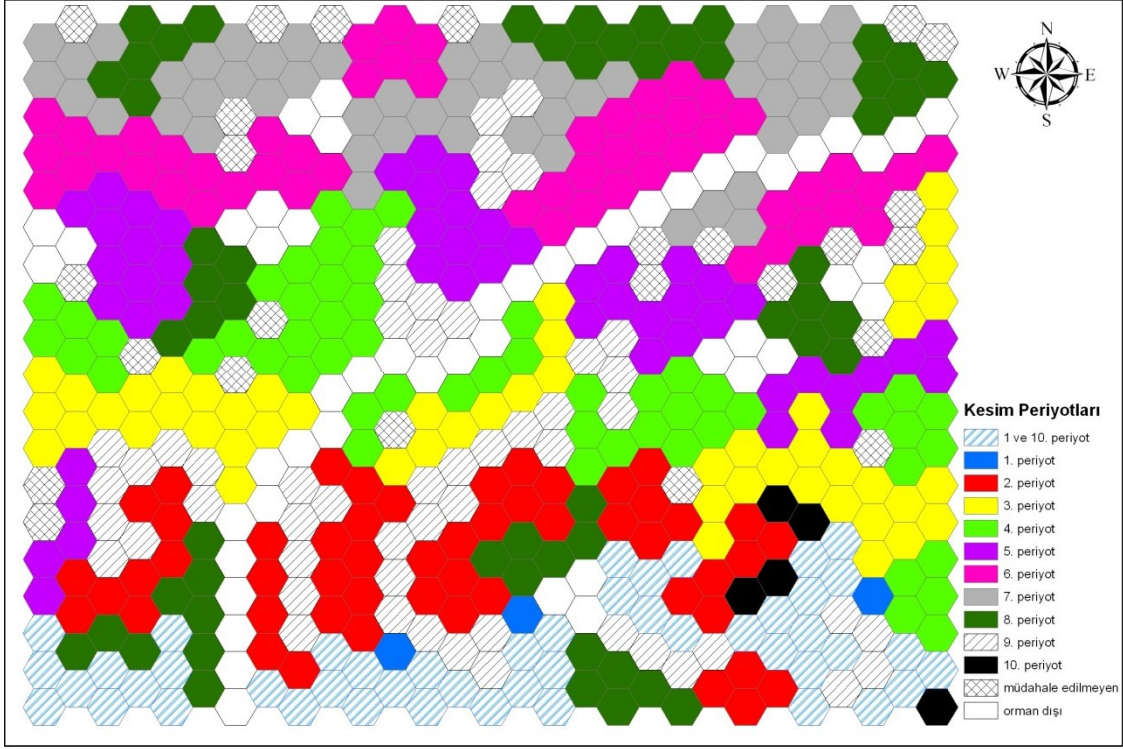
Şekil 40. Farklı planlama senaryolarının periyodik olarak toplam eta miktarları



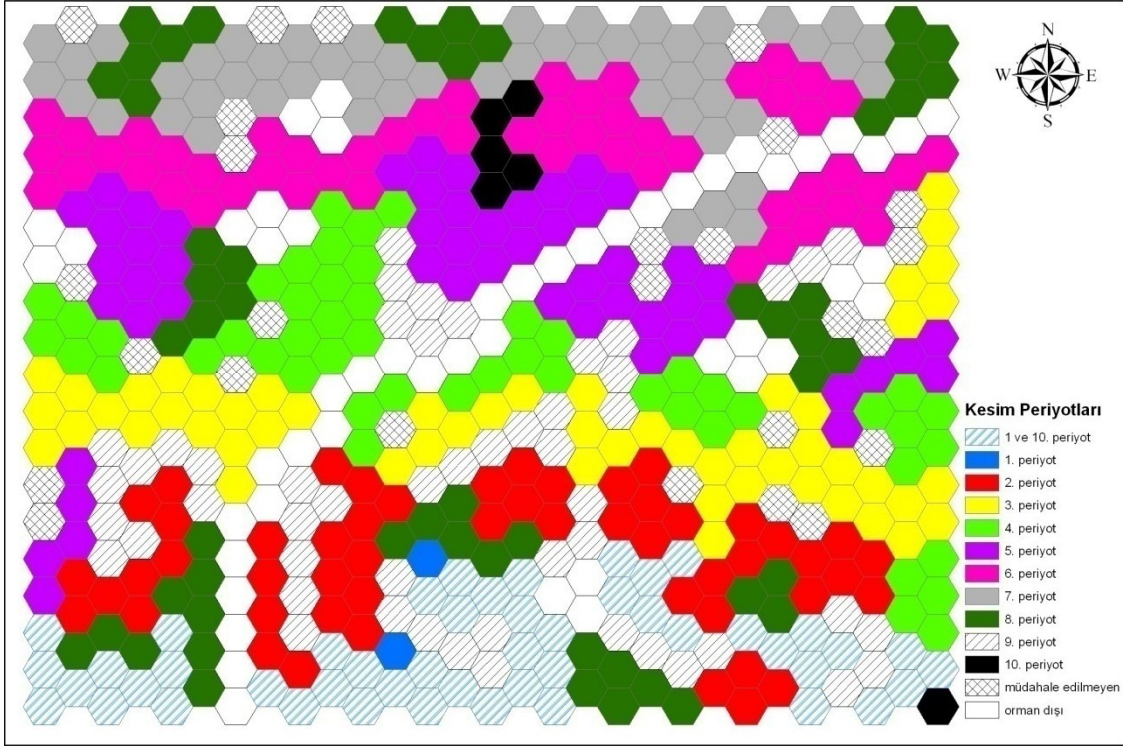
Şekil 41. Farklı planlama senaryolarının periyodik olarak toplam ağaç sayısı miktarları



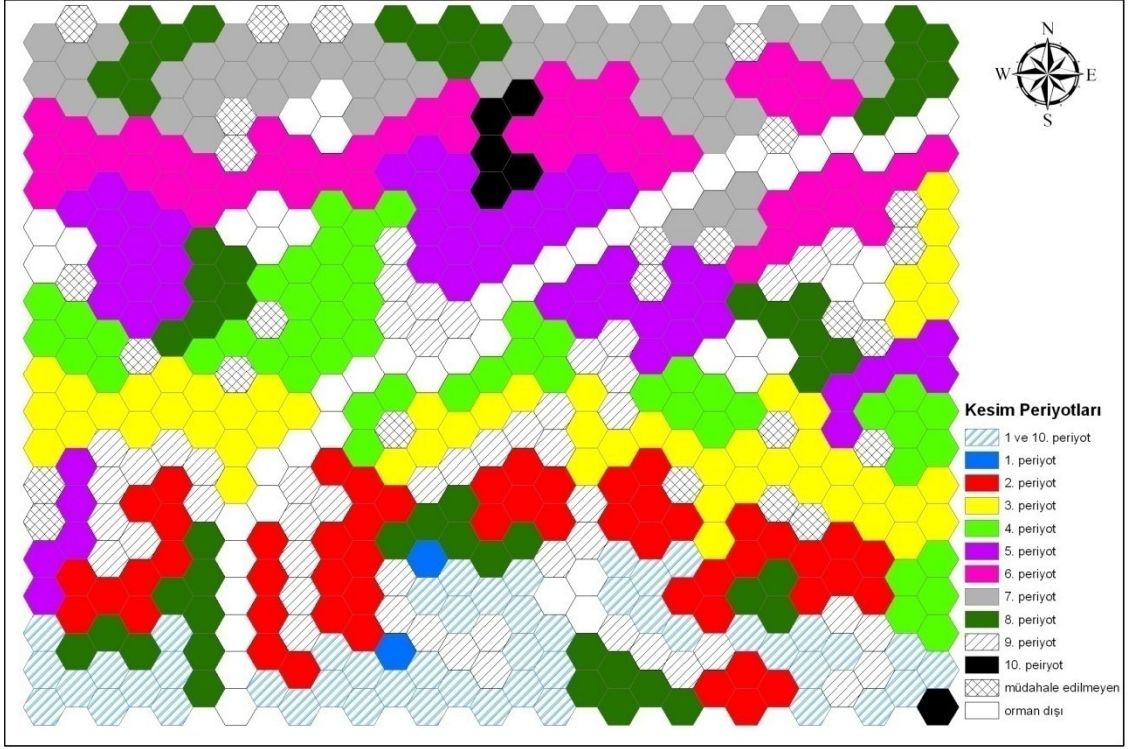
Şekil 42. S1 senaryosu sonucu oluşan kesim düzeni haritası



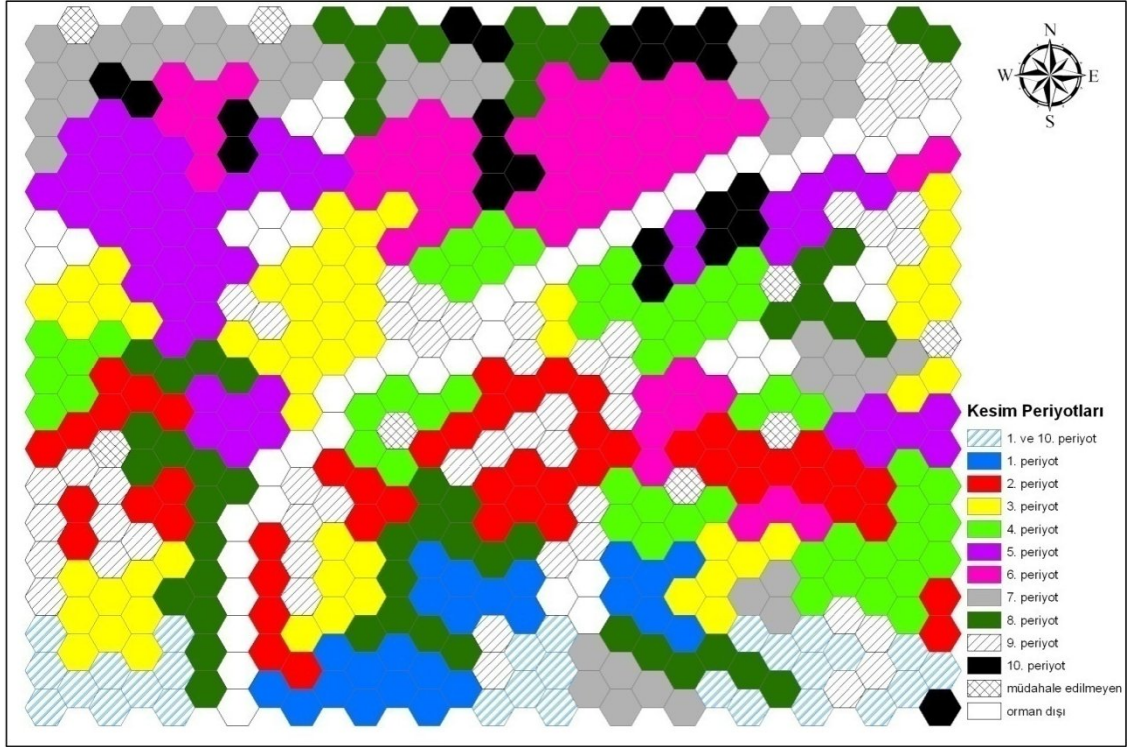
Şekil 43. S2 senaryosu sonucu oluşan kesim düzeni haritası



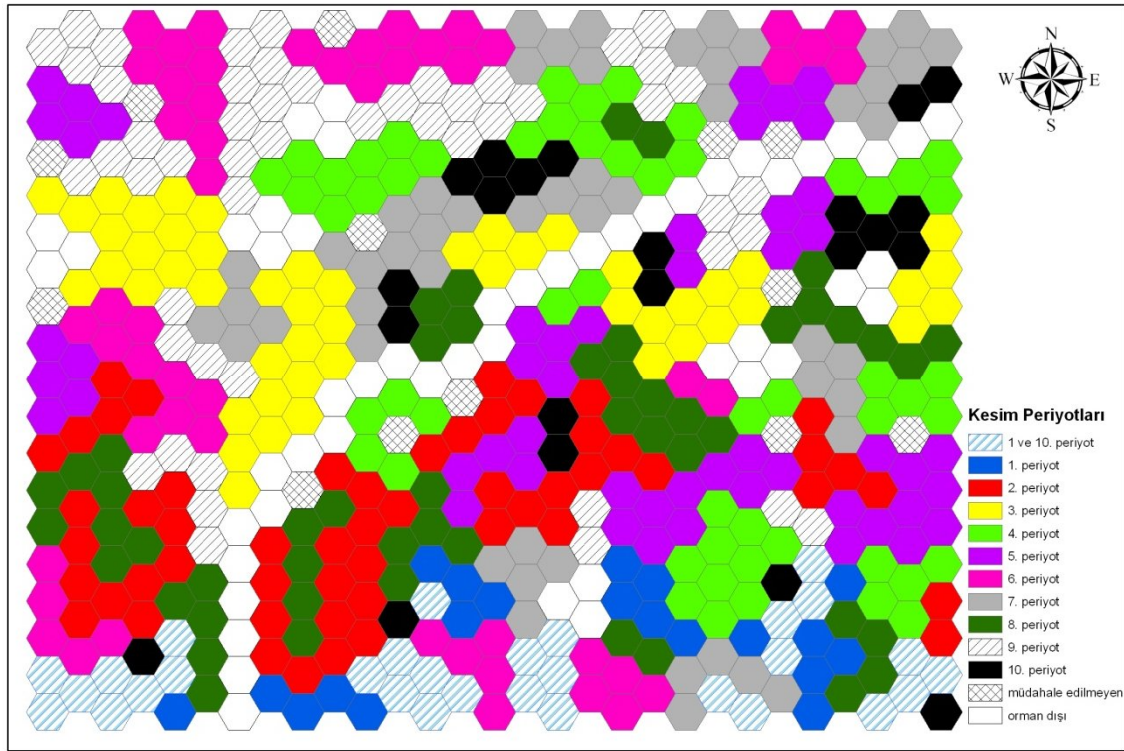
Şekil 44. S3 senaryosu sonucu oluşan kesim düzeni haritası



Şekil 45. S4 senaryosu sonucu oluşan kesim düzeni haritası



Şekil 46. S5 senaryosu sonucu oluşan kesim düzeni haritası

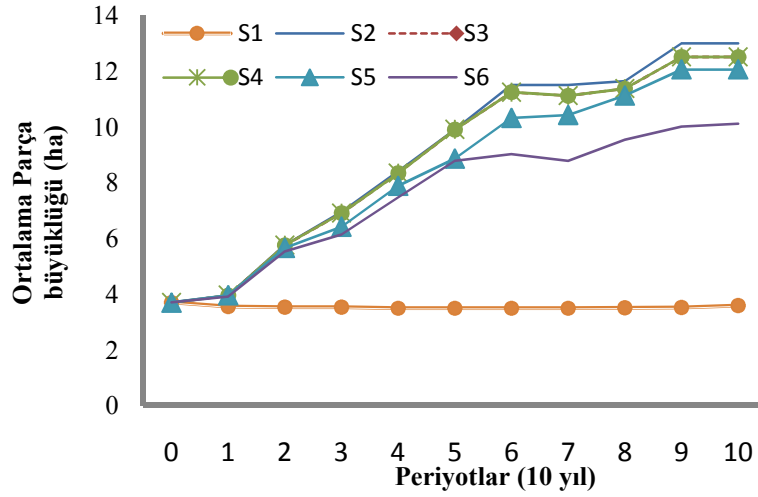


Şekil 47. S6 senaryosu sonucu oluşan kesim düzeni haritası

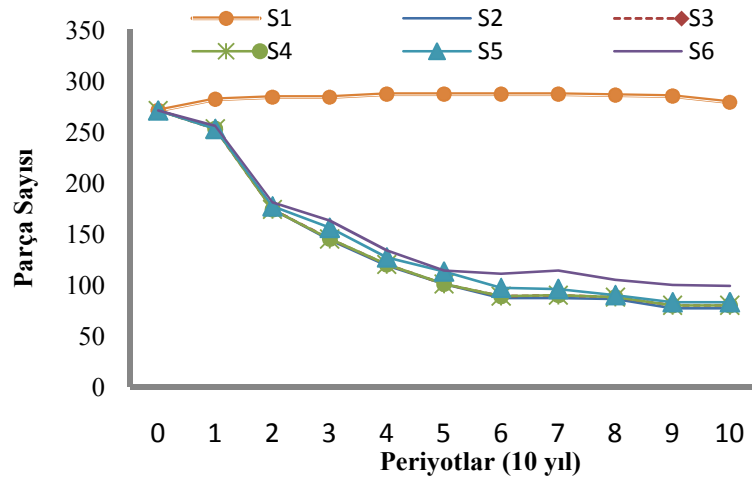
Gençleştirme alanlarının konumsal dağılımı haritada incelendikten sonra, ayrıca bu alanlarının ve diğer alanların konumsal özelliklerinin parçalılık indeksleri ile değerlendirilmesi de mümkündür. Konumsal özelliklerin planlamaya aktarıldığı bu plan senaryolarında, parçalılık indeksleri planlama yörüngesi boyunca izlenmiştir. Yaş sınıfları bazında tanımlanan parçalara göre, 100 yaşa kadar olan yaşlardaki alanlar 10 sınıfa ayrılmış, 100 yaşından büyük alanlar ise tek bir sınıf olarak tanımlanmıştır. Arazi ve sınıf bazında hazırlanan bu parçalara göre ortalama parça büyüklüğü zaman bağlı olarak artmakta, parçalı orman ekosistemi daha az parçalı bir hal almaktadır (Şekil 48). Ancak, konumsal özelliklerin planlamaya yansıtılmadığı S1 senaryosunda ise ortalama parça büyüklüğünün rastgele değiştiği ve 4 ha civarında olduğu görülmüştür. Ayrıca bu değere paralel olarak parça sayısı konumsal özelliklerin planlamaya yansıtıldığı senaryolarda azalmış, fakat S1 senaryosunda 270 adet civarında sabit kalmıştır (Şekil 49). Bir başka önemli parçalılık indeksi olan, en büyük parça indeksinin değişimine bakıldığı zaman, konumsal özelliklerin planlamaya dahil edildiği senaryolarda, 100 yaşında büyük alanların zamanla büyük parçalar oluşturduğu, ancak daha sonra bu alanların gençleştirilmesi ile parçalı ve %5 değeri civarında bir en büyük parça indeksi değeri oluşturduğu görülmüştür (Şekil 50). Fakat, S1 senaryosunda en büyük parça indeksi değeri %1.4

değerinde yaklaşık sabit kalmıştır.

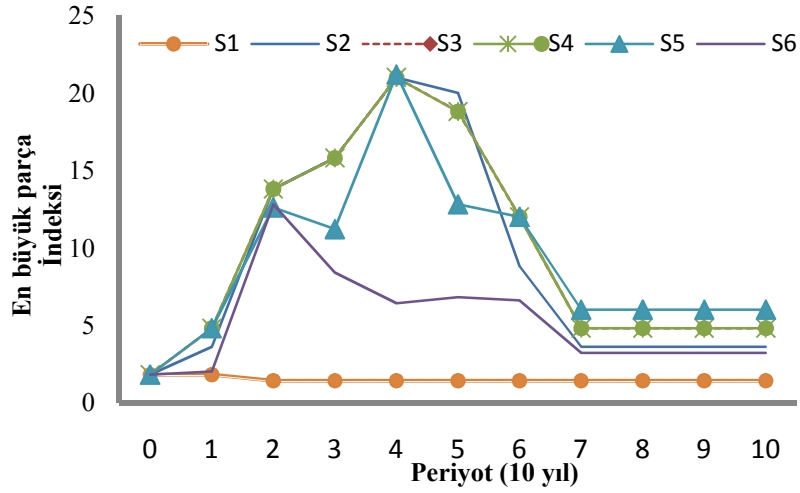
Ortalama parça büyüklüğü, en büyük parça indeksi ve parça sayısı indeksleri birlikte değerlendirildiği zaman, S1 senaryosunda hiçbir şekilde konumsal özellikler dikkate alınmadığı için gelişimi güzel değiştiği görülmektedir. Ancak, diğer konumsal simülasyon senaryolarında belli bir oranda kontrol edildiği ve planlayıcı tarafından kesim bloğu ve açma alanı değerleri ile yönlendirildiği görülmüştür.



Şekil 48. Planlama yörüngesi boyunca arazi bazında ortalama parça büyüklüğünün değişimi



Şekil 49. Planlama yörüngesi boyunca arazi bazında parça sayısının değişimi



Şekil 50. Planlama yörüngesi boyunca arazi bazında en büyük parça indeksinin değişimi

Aynı zamanda, her bir planlama senaryosu için, belirlenen parça tanımına uygun olarak planlama yörüngesi boyunca parçalılık indeksleri de kontrol edilmektedir. Örneğin, S2 ve S6 senaryoları için belirlenen parçaların planlama yörüngesi boyunca (2, 4, 6, 8 ve 10. periyotta) toplam sınıf alanı değişimi tablo formatında verilmiştir (Tablo 10). Bu veriler kullanılarak arazi bazında parçalılık değişimleri yanında, belirlenen her bir parça özel olarak izlenebilmekte ve istenildiği anda harita üzerinde konumsal dağılımı gösterilmektedir.

Tablo 10. S2 ve S6 planlama senaryolarının parça büyüklüğünün (ha) sınıf bazında planlama yörüngesi boyunca değişimi

Yaş sınıfı Aralığı (Yıl)	Başlangıç durumu	Periyotlar									
		2		4		6		8		10	
		S2	S6	S2	S6	S2	S6	S2	S6	S2	S6
0-10	20	104	108	108	108	106	104	110	102	104	104
11-20	40	100	100	102	100	100	102	104	104	106	102
21-30	40	20	20	104	108	108	108	106	104	110	102
31-40	40	40	40	100	100	102	100	100	102	104	104
41-50	80	40	40	20	20	104	108	108	108	106	104
51-60	80	40	40	40	40	100	100	102	100	100	102
61-70	100	80	80	40	40	20	20	104	108	108	108
71-80	100	80	80	40	40	40	40	100	100	102	100
81-90	200	100	100	80	80	40	40	20	20	104	108
91-100	300	72	78	58	60	32	40	28	26	6	40
>100		324	314	308	304	248	238	118	126	50	26
Orman Toprağı	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Orman Dışı	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86

3.1.5. Konumsal Simülasyon Modelinin Uğurlu Planlama Biriminde Uygulanması

Simülasyon tabanlı konumsal orman amenajman planlama modelinde kullanılan her türlü veri tabloları Uğurlu planlama birimi içinde aynen kullanılmıştır. Çok sayıda alternatif oluşturulabilmesine rağmen burada örnek olması açısından bir simülasyon süresi sabit alınmış ve konumsal parametre özellikleri değiştirilmek suretiyle dört farklı senaryo incelenmiştir. Bu senaryoların çıktıları grafik, tablo ve haritalar şeklinde sunulmuştur. Konumsal simülasyon senaryosunun hipotetik planlama senaryosundan farklı olan özellikleri aşağıda verilmiştir:

- Uğurlu planlama birimine ait bölmecik tablosu (aktüel orman verileri) kullanılmıştır.
- Periyot genişliği 20 yıl, simülasyon süresi 120 yıl alınmıştır

Tüm planlama senaryolarında, her periyotta her periyotta 1300 ha gençleştirmeye alınacağı, ve bu değerden %10 sapma olabileceği varsayılmış ve 120 yıllık simülasyon yapılmıştır. Belirtilen bu simülasyon özellikleri temel alınarak “A1” planlama senaryosu oluşturulmuş ve kesinlikle hiçbir konumsal kısıt kullanılmamıştır. Bu senaryoya konumsal parametre ve parçalılık indeks değerleri entegre edilmesi ile A2, A3 ve A4 senaryoları türetilmiştir (Tablo 11).

Tablo 11. Planlama senaryosu alternatifleri

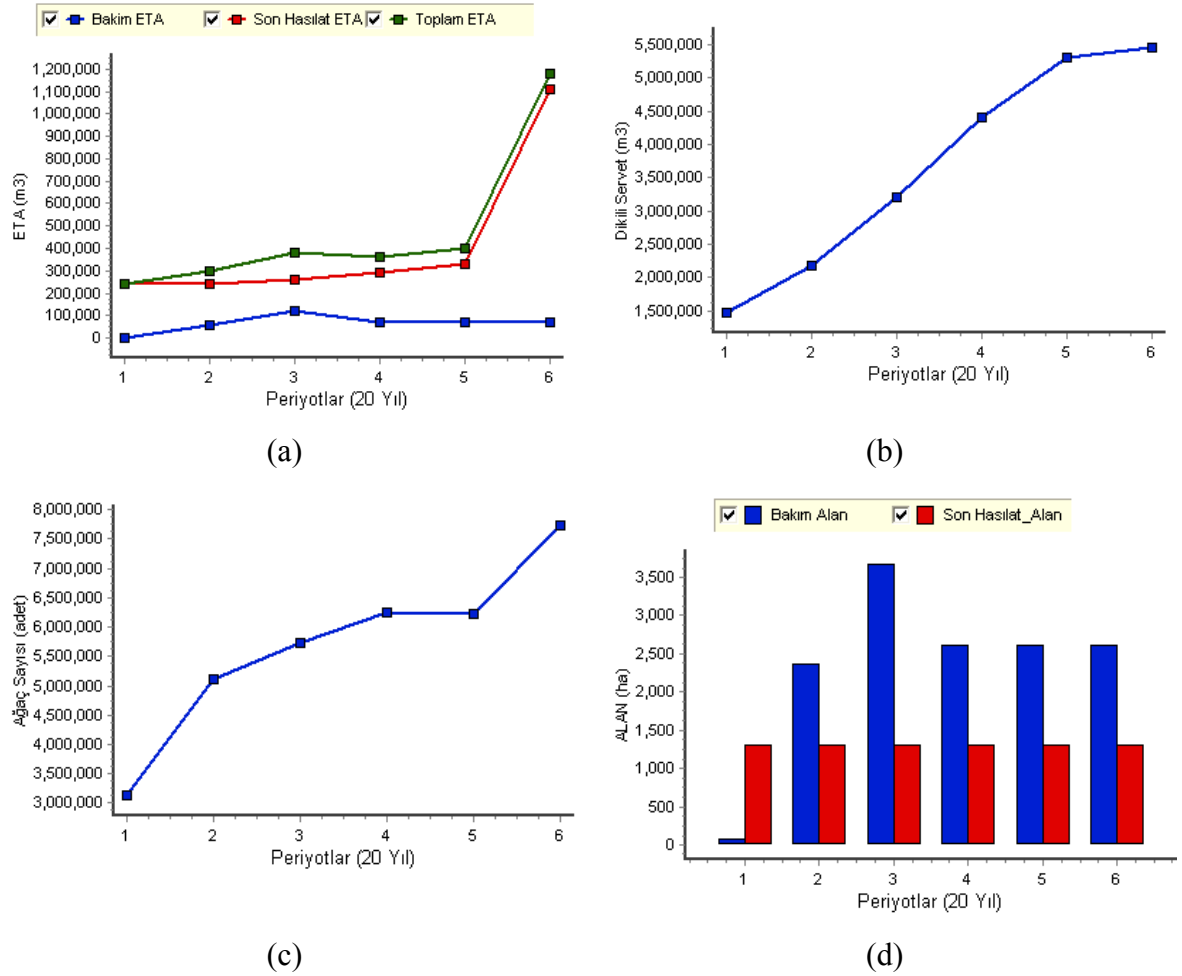
Senaryo no	Yakınlık mesafesi (metre)	Minimum kesim bloğu (ha)	Hedef kesim bloğu (ha)	Komşuluk mesafesi (metre)	Erteleme Süresi (periyot)	Maksimum açma alanı (ha)
A1						
A2	0	5	50	0	0	0
A3	0	5	50	0	0	200
A4	0	5	50	0	1	400

Uğurlu planlama biriminde, konumsal planlama senaryoları için, genel bazda arazi kullanım sınıfları ve detay bazda 7 adet yaş sınıfına (20 yıl aralıklı) göre parça tanımı yapılmıştır (Tablo 12).

Tablo 12. Yaş sınıfları bazında parça tanımları

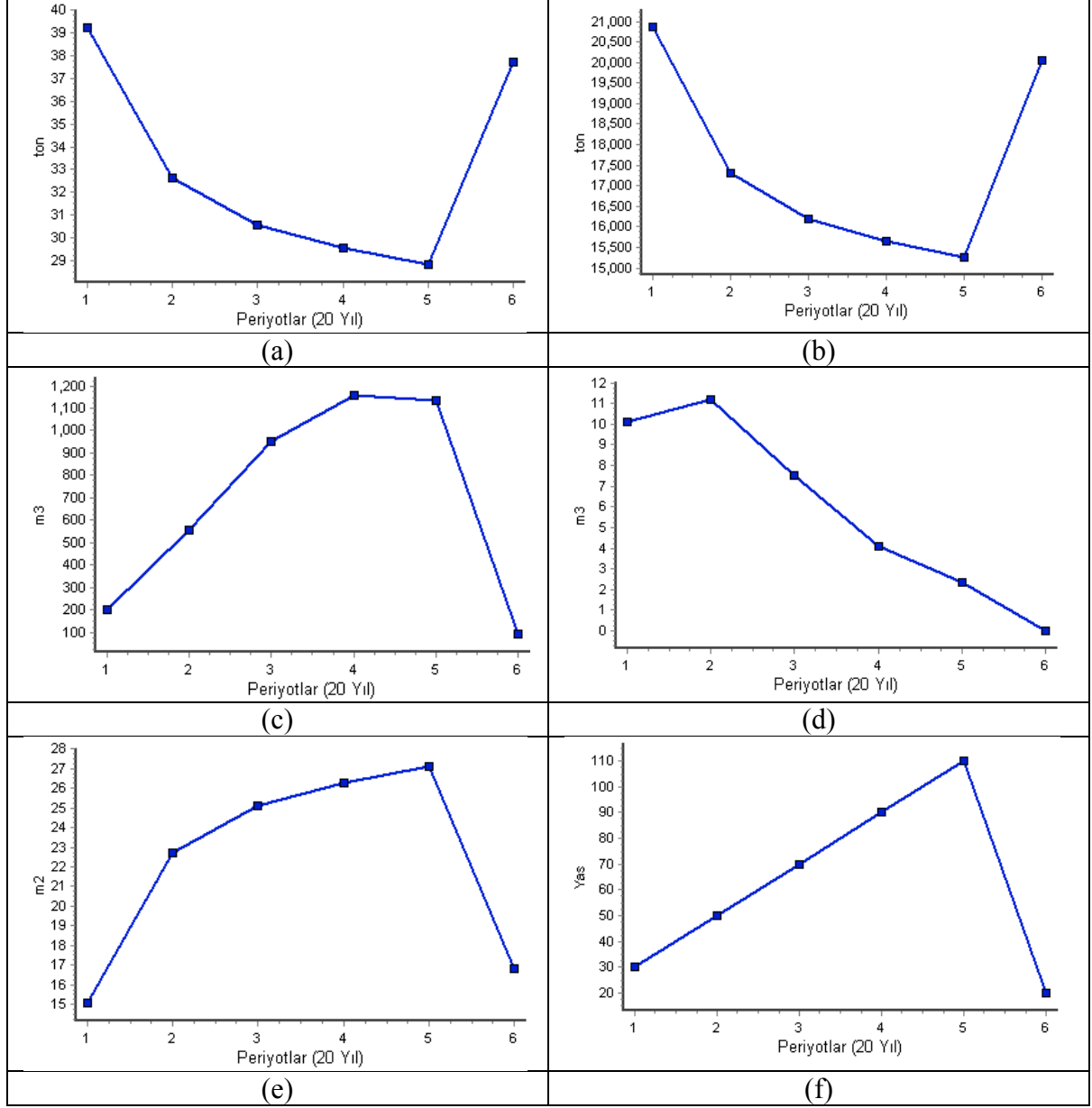
Sınıf ID	Yaş aralığı
1	0-20
2	21-40
3	41-60
4	61-80
5	81-100
6	101-120
7	>120

Simülasyon tabanlı konumsal planlama modeli sonucunda, tüm konumsal simülasyon senaryoları birlikte değerlendirilmiş ve sonuçları grafik, tablo ve harita formatlarında sunulmuştur. A1 senaryosuna ilişkin, orman ekosistemi bazında simülasyon süresi boyunca elde edilen eta miktarları, ağaç sayısı, dikili servet ve bakım-geçleştirme alanı miktarları grafik formatında oluşturulmaktadır (Şekil 51).



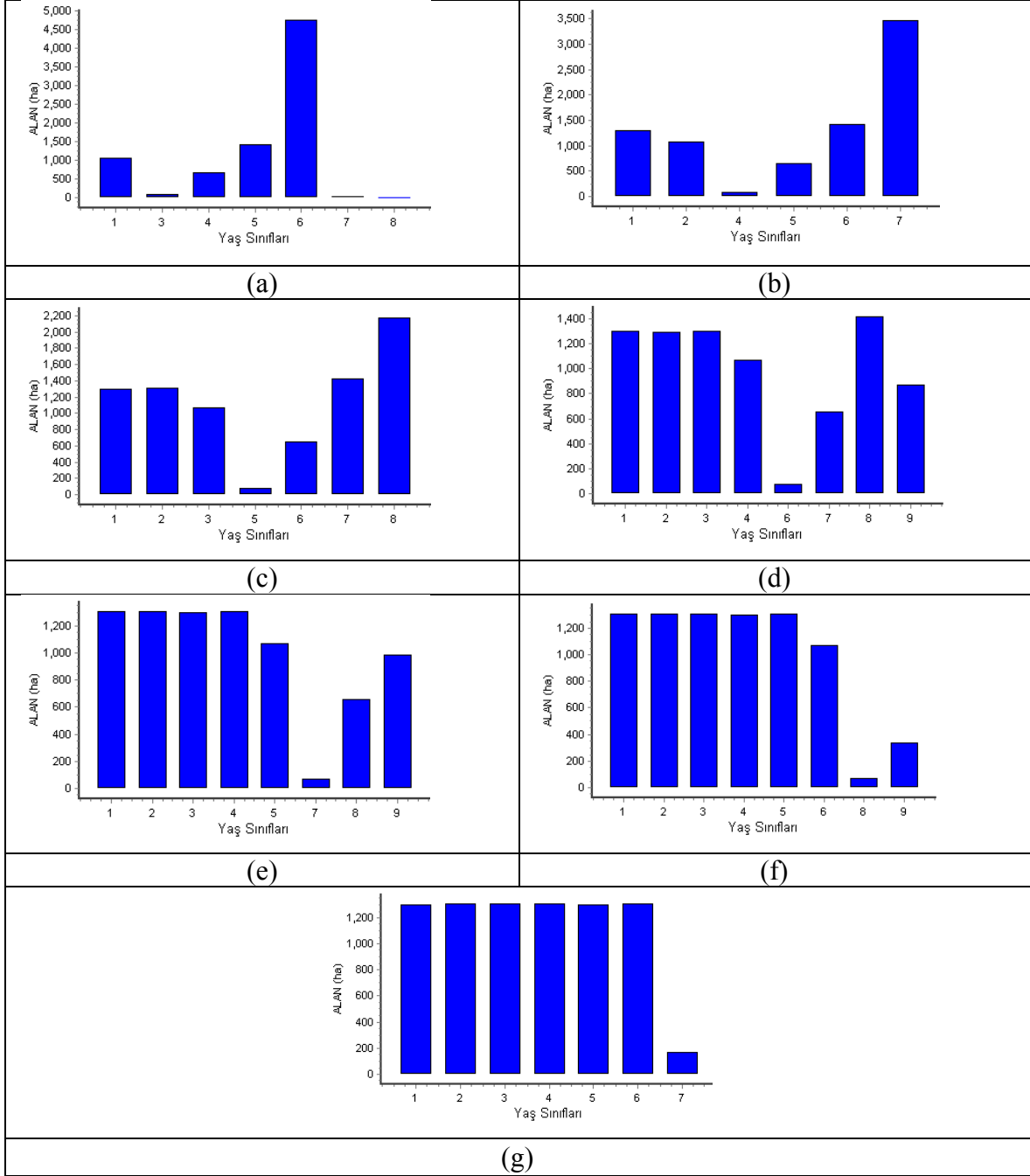
Şekil 51. Planlama birimi düzeyinde gerçekleşen a) ara ve son hâsılat eta miktarları b) dikili servet c) ağaç sayısı d) gençleştirme ve bakım alanları

Ayrıca A1 senaryosu sonucu oluşan, “10” nolu bölmeçiğe ait servet, su üretimi, net karbon miktarı, yaş ve toprak kaybı değerlerinin planlama yörüngesi boyunca değişimi grafik olarak gösterilmektedir (Şekil 52)



Şekil 52. 10 numaralı bölmeçiğin 120 yıllık süreçteki a) toprak kaybı değeri b) su üretimi, c) servet, d) artım, e) göğüs yüzeyi ve f) yaşının değişimi

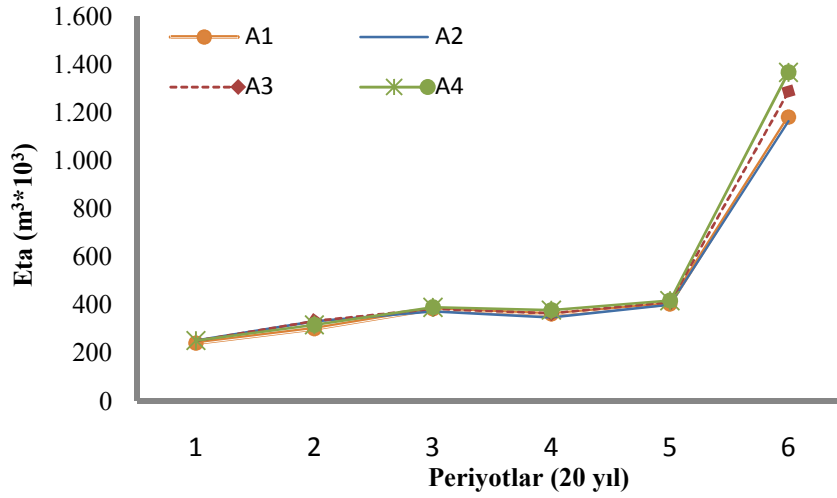
A1 konumsal planlama senaryosunda, planlama biriminin belirli periyotlardaki yaş sınıfları dağılımı incelendiğinde, planlama yörüngesi sonunda eşit yaş sınıfı dağılımının sağlandığı görülmüştür. Bunun nedeni planlama senaryosunda, her bir periyotta optimal periyodik alan (OPA) miktarı kadar gençleştirme alanı belirlenmesinden kaynaklanmaktadır (Şekil 53).



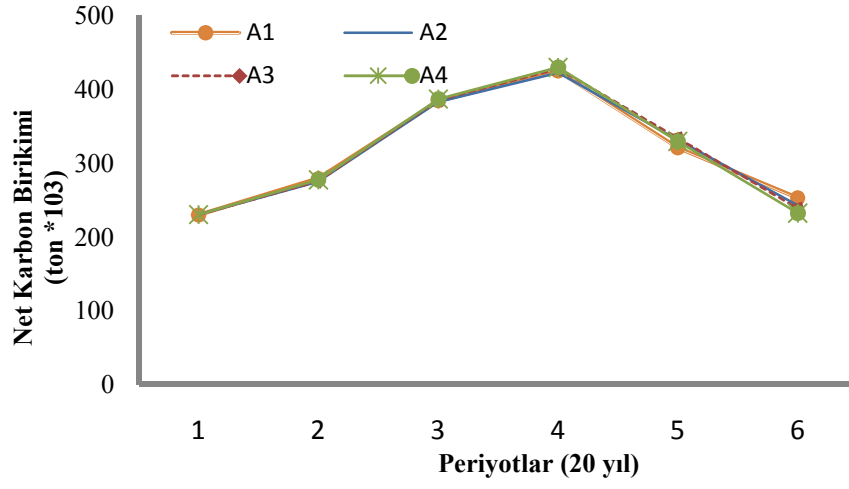
Şekil 53. A1 planlama senaryosu için, orman ekosisteminin a) başlangıç durumundaki b) 20 yıl sonraki c) 40 yıl sonraki d) 60 yıl sonraki e) 80 yıl sonraki f) 100 yıl sonraki, g) planlama yörüngesi sonundaki yaş sınıfları dağılımı (120 yıl)

Uğurlu planlama biriminde uygulanan dört farklı planlama senaryosu birlikte değerlendirdiğinde, her bir periyottaki toplam eta miktarlarının, toplam ağaç sayısındaki ve karbon birikiminde meydana gelen değişim analiz edilmiştir. Toplam eta miktarlarının gidişatı ve karbon birikimi değerleri arasında fazla fark olmadığı gözlenmiştir (Şekil 54 ve 55). Ağaç sayısı gidişatında ise A1 senaryosunun başlangıçta az, daha sonra daha fazla

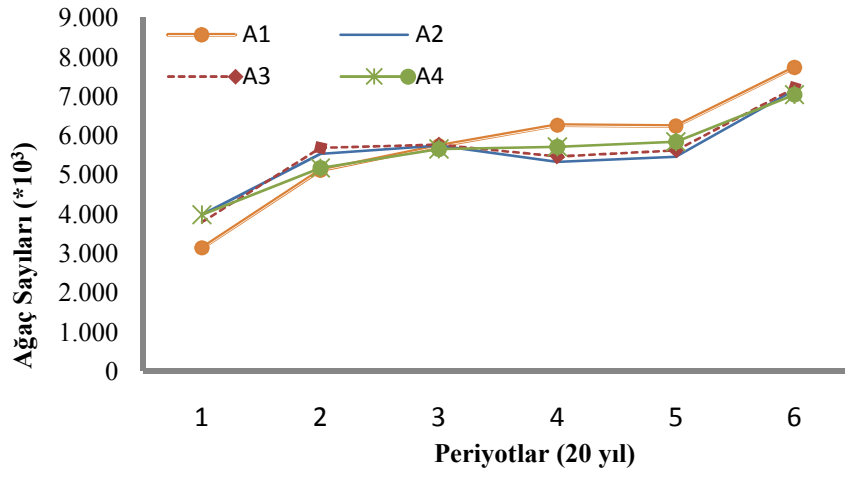
ağaç sayısı miktarına ulaştığı görülmektedir (Şekil 56). Bu bulgulara rağmen, benzer eta miktarları elde edilmesine rağmen gençleştirme alanlarının harita üzerindeki konumsal dağılımları incelendiğinde farklılıklar hemen göze çarpmaktadır (Şekil 57-60). Bu haritalar incelendiğinde, kesim periyotlarını gösteren renklerin hedeflenen kesim bloğu büyüklüğü ve açma alanı kuralını sağlamak amacıyla konumsal olarak değiştiği görülmektedir. Haritaya aktarılan veriler incelendiğinde, A1 simülasyon senaryosunda 146 adet (406 ha) bölmeciğe, A2 senaryosunda ise 187 adet (521 ha) bölmeciğe, A3 senaryosunda 183 adet (549 ha) bölmeciğe ve A4 senaryosunda 184 adet (436 ha) bölmeciğe gençleştirme müdahalesi yapılmadığı görülmektedir. Bu veriler incelendiğinde, bazen konumsal özellikleri yerine getirebilmek amacıyla bölmeciklerin bazılarını son hasılat kesimine alınmadığı görülmektedir. Senaryoların oluşturulması aşamasında, birçok konumsal parametre denenmiş ancak simülasyon modeli bir koşulu yerine getiremediği anda modeli durdurmuştur.



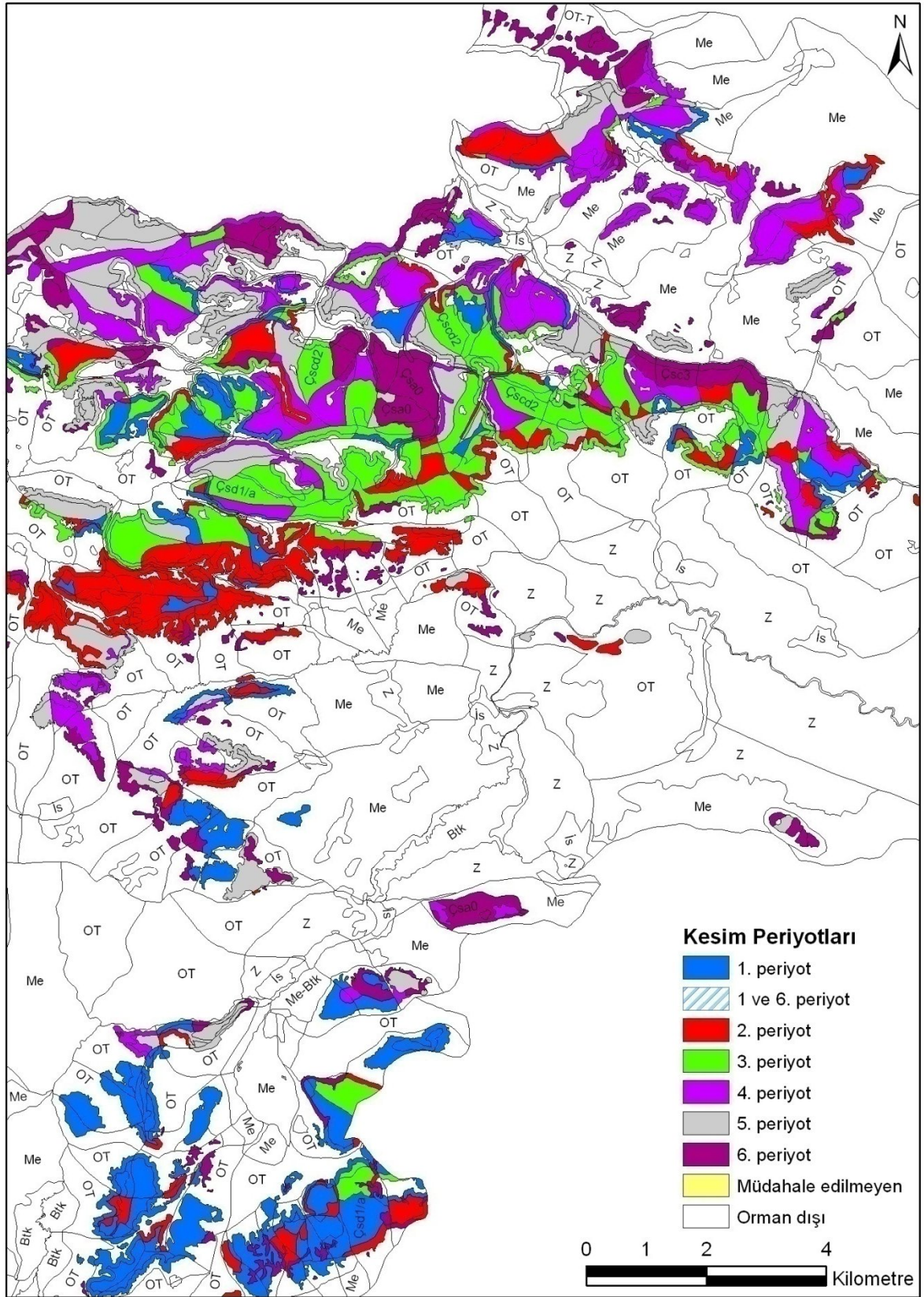
Şekil 54. Farklı planlama senaryolarının periyodik olarak toplam eta miktarları



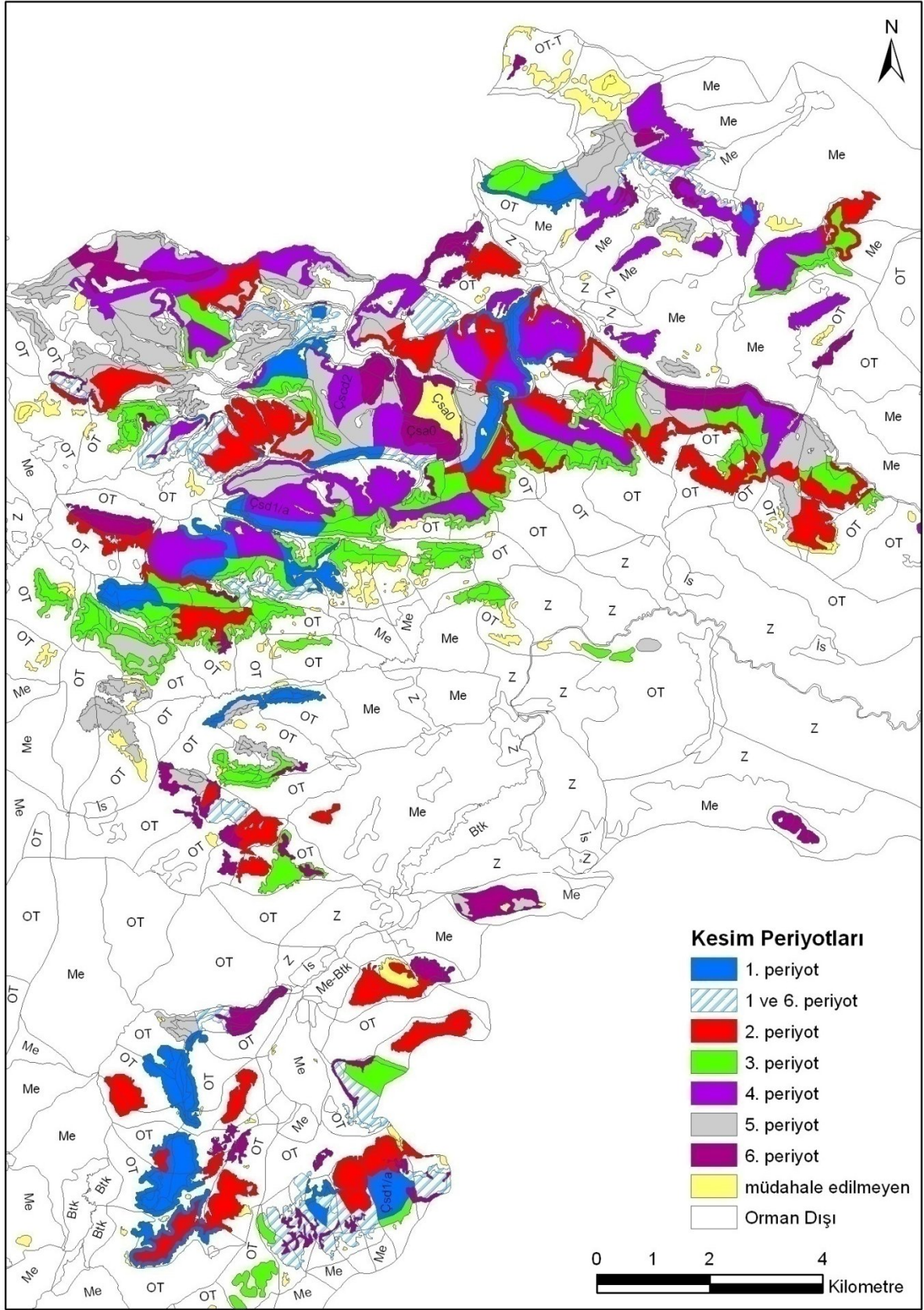
Şekil 55. Farklı planlama senaryolarının periyodik olarak toplam net karbon birikimi



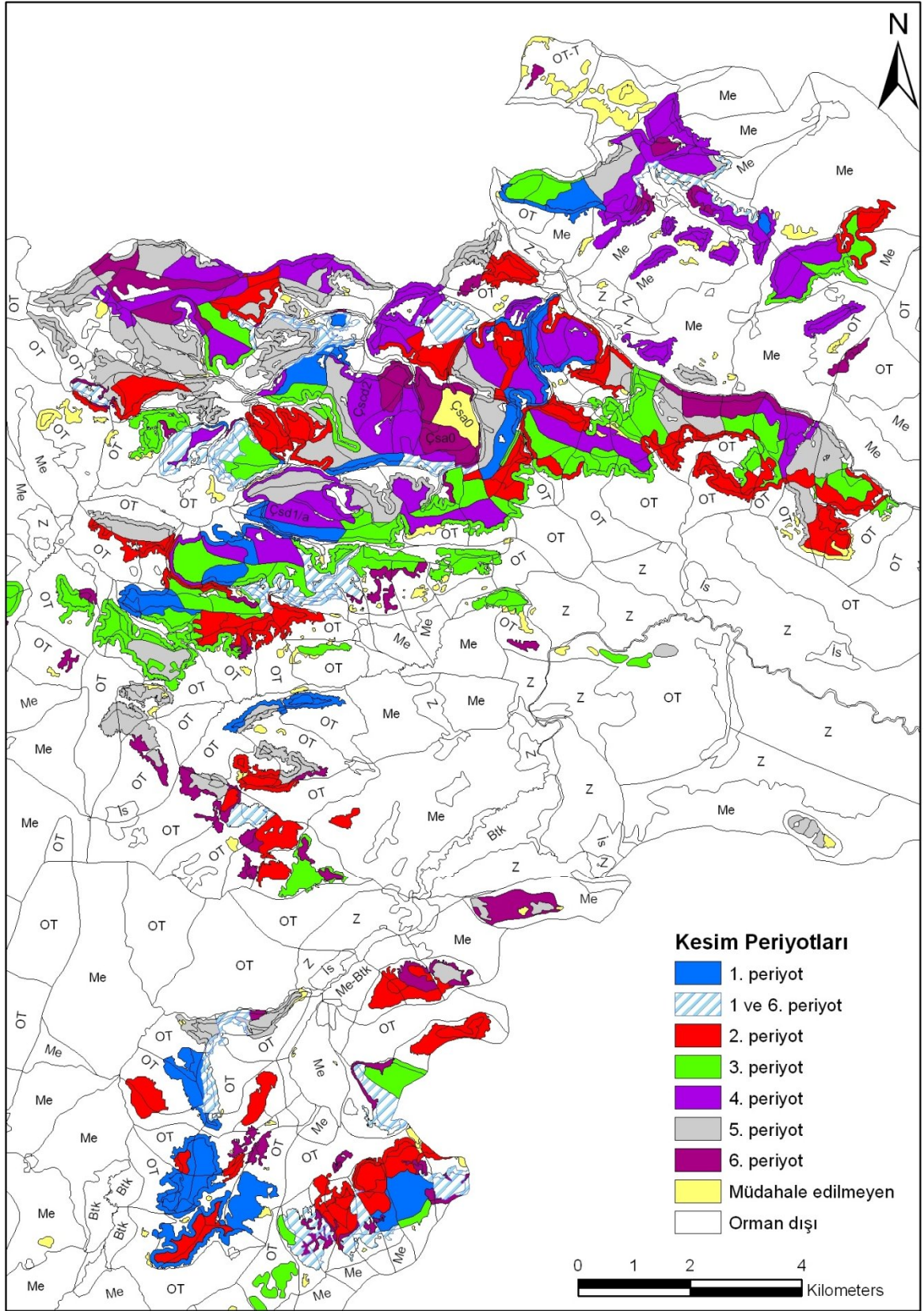
Şekil 56. Farklı planlama senaryolarının periyodik olarak toplam ağaç sayısı



Şekil 57. A1 plan senaryosu sonucuna oluşan kesim düzeni haritası



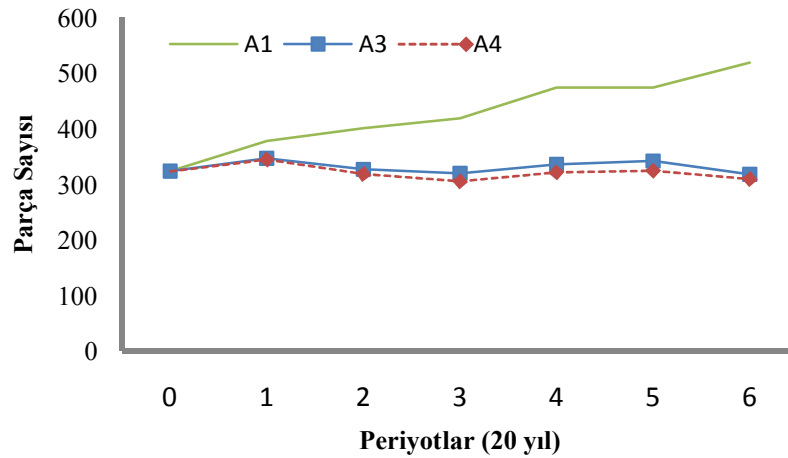
Şekil 58. A2 plan senaryosu sonucuna oluşan kesim düzeni haritası



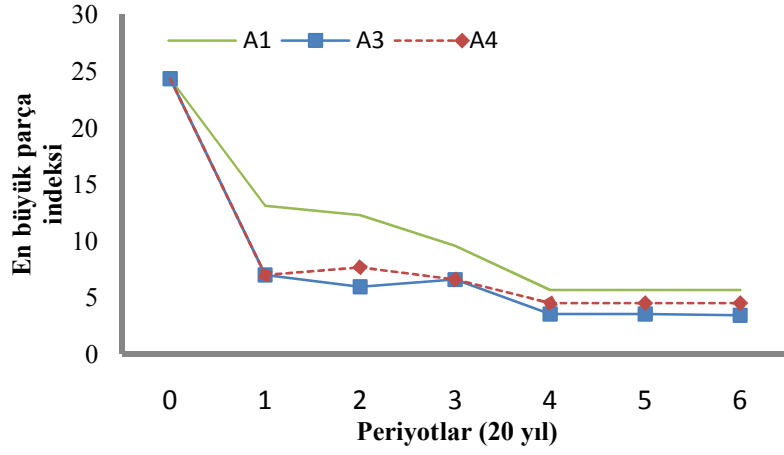
Şekil 59. A3 plan senaryosu sonucuna oluşan kesim düzeni haritası

Belirlenen parça tanımına uygun olarak, parçalılık indeksleri planlama yörüngesi boyunca tüm senaryolar için hesaplanmıştır. A1, A3 ve A4 senaryolarına ait arazi bazındaki parça sayısı değerlerinin değişimi incelendiğinde, konumsal özellik ihtiva etmeyen A1 senaryosunda parça sayısının düzensiz bir şekilde artış gösterdiği görülmektedir (Şekil 61). Benzer şekilde, en büyük parça indeksi değerinde meydana gelen değişim incelendiğinde, A1 senaryosunda rastgele bir azalma eğrisi görüldüğü, diğer A3 ve A4 senaryolarında ise belirlenen açma ve blok alanı değerlerine bağlı olarak düzenli bir azalma olduğu gözlenmiştir (Şekil 62). Orman ekosisteminde yer alan orman parçalarının büyüklük olarak dağılımları ve ortalama parça büyüklüğü önemli parçalılık indeksleri arasında yer almaktadır. Bu indeksin planlama yörüngesi boyunca değişimi incelendiğinde, A1 senaryosunda çok düzensiz bir değişim olduğu, buna karşın A3 ve A4 senaryolarında ise belirlenen kesim bloğu büyüklüğü ve açma alanı değerlerine göre daha ortalama parça büyüklüğünün değiştiği gözlenmiştir (Şekil 63).

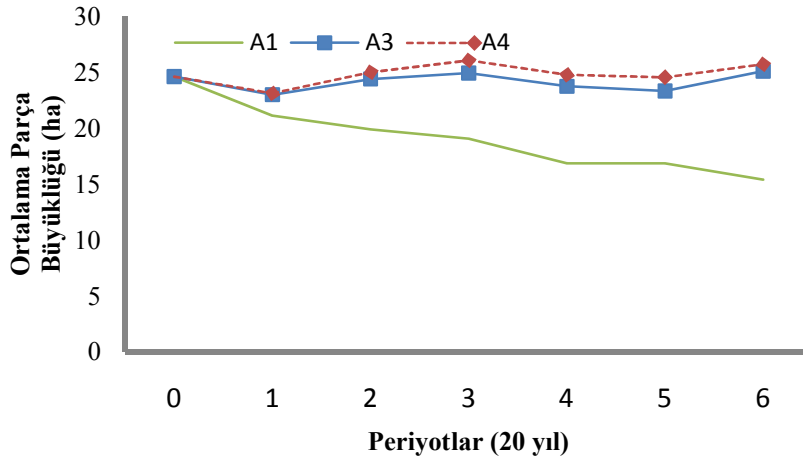
Ayrıca, belirlenen parça tanımlarına göre sınıf bazında tüm parçalılık indeksleri planlama yörüngesi boyunca izlenmektedir. A3 ve A4 senaryoları uyarınca, sınıf alanı ve ortalama parça büyüklüğü değerleri planlama yörüngesi boyunca analiz edilmiştir. Aktüel orman kuruluşunda yaş sınıflarında çok farklı olan sınıf alanı değeri planlama yörüngesi sonunda daha eşit bir yaş sınıfı alan dağılımı oluşturmuştur (Tablo 13). Aktüel durumda yaş sınıfları bazında çok farklı olan ortalama parça büyüklüğü değeri planlama yörüngesi sonunda belirlenen açma ve kesim bloğu alan değerleri ile daha düzenli bir dağılım göstermiştir (Tablo 14).



Şekil 61. Planlama yörüngesi boyunca parça sayılarının arazi bazında değişimi



Şekil 62. Planlama yörüngesi boyunca en büyük parça indeksinin arazi bazında değişimi



Şekil 63. Planlama yörüngesi boyunca ortalama parça büyüklüğünün arazi bazında değişimi

Tablo 13. Yaş sınıfları bazında sınıf alanlarının planlama yörüngesi boyunca değişimi (A3 ve A4)

Yaş sınıfları	Başlangıç durumu	Periyotlar (20 yıl)											
		1		2		3		4		5		6	
		A3	A4	A3	A4	A3	A4	A3	A4	A3	A4	A3	A4
0-20	1065.4	1305.4	1304.4	1331.0	1347.9	1316.2	1319.1	1340.0	1337.5	1314.4	1311.5	1331.8	1302.4
21-40		1065.4	1065.4	1305.4	1304.4	1331.0	1347.9	1316.2	1319.1	1340.0	1337.5	1314.4	1311.5
41-60	71.5			1065.4	1065.4	1305.4	1304.4	1331.0	1347.9	1316.2	1319.1	1340.0	1337.5
61-80	653.0	71.5	71.5			1065.4	1065.4	1305.4	1304.4	1331.0	1347.9	1316.2	1319.1
81-100	1417.6	653.0	653.0	71.5	71.5			1065.4	1065.4	1305.4	1304.4	1331.0	1347.9
101-120	4749.9	1417.6	1417.6	653.0	653.0	71.5	71.5			1065.4	1065.4	716.8	727.3
>120	17.9	3462.5	3463.4	3549.1	3533.0	2885.9	2866.9	1617.3	1600.9	302.9	289.4	625.1	629.5

Tablo 14. Yaş sınıfları bazında ortalama parça büyüklüğünün planlama yörüngesi boyunca dağılımı (A3 ve A4)

Yaş sınıfları	Başlangıç durumu	Periyotlar (20 yıl)											
		1		2		3		4		5		6	
		A3	A4	A3	A4	A3	A4	A3	A4	A3	A4	A3	A4
0-20	8.46	65.27	68.65	44.37	38.51	37.60	69.42	51.54	55.73	35.52	31.99	29.60	28.94
21-40		8.46	8.46	65.27	68.65	44.37	38.51	37.60	69.42	51.54	55.73	35.52	31.99
41-60	11.91			8.46	8.46	65.27	68.65	44.37	38.51	37.60	69.42	51.54	55.73
61-80	18.66	11.91	11.91			8.46	8.46	65.27	68.65	44.37	38.51	37.60	69.42
81-100	21.48	18.66	18.66	11.91	11.91			8.46	8.46	65.27	68.65	44.37	38.51
101-120	55.88	21.48	21.48	18.66	18.66	11.91	11.91			8.46	8.46	42.17	34.64
>120	2.98	36.83	37.24	32.26	36.05	28.02	28.39	16.34	16.17	4.45	4.74	4.88	5.04

3.2. Kombine Optimizasyon Tabanlı Konumsal Orman Planlama Modeli

Bu çalışma da aynı zamanda, tavlama benzetimi tekniği kullanılarak farklı bir konumsal planlama modeli geliştirilmiştir. ETÇAP ana modelinin başlangıç penceresinden kombine optimizasyon modeli seçildiği zaman başlangıç durumu penceresi açılacaktır (Şekil 64). Simülasyon tabanlı konumsal planlama modelinde olduğu gibi kombine optimizasyon planlama modeli;

- Model/Senaryo Yönetimi
- Tablolar (Veri tabanı girişi)
- Ayarlar (Optimizasyon ayarları)
- Sonuçlar (Çıktılar)
- Konumsal Ayarlar
- Konumsal Sonuçlar olarak altı ana bölümden oluştuğu görülmektedir.



Şekil 64. Kombine optimizasyon modeli başlangıç ve konumsal ayarlar penceresi

Kombine optimizasyon tabanlı modeller de, yine konumsal simülasyon modellerinde olduğu gibi genellikle farklı amaç veya kısıtlayıcı özellikleri içeren senaryolardan meydana gelmektedir. Bu nedenle herhangi bir kombine optimizasyon modeli açıldığı zaman başlangıçta bir senaryo tanımlanması gerekmektedir. Modelin sol üst köşesinde çoğu Windows programına benzer şekilde birkaç tane kısayol tuşlarının olduğu görülecektir (Şekil 64). Bu tuşlar ile, kombine optimizasyon modelinde yeni bir kombine optimizasyon senaryosunun hazırlanması, varolan senaryonun açılması veya herhangi bir senaryosunun silinmesi ve senaryolar üzerinde yapılan değişikliklerin kaydedilmesi işlemlerini gerçekleştirmekte olup “model/senaryo yönetimi” olarak adlandırılmaktadır. Tablolar bölümü daha önce simülasyon tabanlı konumsal planlama modelinde açıklandığı üzere,

aktüel orman verilerinin tutulduğu bölmecek tablosu, normal verilerin tutulduğu hasılat tabloları, meşcerelere yapılan müdahaleler sonucu ağaç türünde veya bonitette meydana gelecek değişikliklerin belirlendiği geçiş tablosu, odun ürün miktarlarını hesaplama için kullanılacak odun ürünü çeşitleri tablosu, odun üretimine yönelik ekonomik verilerin kaynağı olan ekonomik veri tablosu, karbon birikimi hesabının gerçekleştirilmesi için gerekli karbon birikimi tablosundan oluşmaktadır. Ayrıca, bu tablolara ilave olarak rejim tanımları tablosu modele entegre edilmiştir. Bu tablo, kullanıcının planlamak istediği orman planlama biriminde yer alan analiz alanları için silvikültürel müdahale seçeneklerini (müdahale reçetesini) belirlemektedir.

Ayarlar bölümünde, bir optimizasyon senaryosunun oluşturulması amacıyla hazırlanacak olan rastgele çözüm setini ve optimizasyon sonucunun elde edilmesi için, periyot uzunluğu ve planlama süresi uzunluğunun belirlenmesi, tablolar menüsünde belirlenen silvikültürel müdahale rejimlerinin analiz alanlarına tahsis edilmesi, odun dışı orman fonksiyonlarına ait birim parasal değerlerin belirlenmesi, yardımcı modellerin seçilmesi, amaç fonksiyonu ve kısıtlayıcı koşulların düzenlenmesi aşamalarından oluşmaktadır.

Rejim atamaları bölümünde, daha önce rejim tanımları penceresinde kullanıcı tarafından belirlenen silvikültürel rejimler orman ekosistemini oluşturan analiz alanlarına atanmaktadır. Burada her bir analiz alanı için kullanıcı tarafından bir veya birden fazla silvikültürel müdahale reçetesi tahsis edilmektedir.

Modelde, simülasyon tabanlı konumsal planlama modelinde olduğu gibi dört farklı su üretimi ve üç farklı toprak erozyonu modeli bulunmaktadır. Kullanıcı planlama probleminin çözümünde, su üretimi veya toprak erozyonu miktarlarını hesaplamak istiyorsa, bu modellerden herhangi birini seçebilmektedir.

Kombine optimizasyon planlama modelinde, başlangıç çözüm setini oluşturmak amacıyla kullanıcı tarafından bir amaç fonksiyonu seçilmek zorundadır. Bu çalışma kapsamında geliştirilen optimizasyon modelinde, odun üretimi, su üretimi, karbon birikimi, oksijen üretimi ve toprak erozyonu fonksiyonları için mutlak miktarlar ve ekonomik değerlerin eniyilenmesi şeklinde alternatif amaç fonksiyonları bulunmaktadır .

Modelde, amaç fonksiyonu belirlendikten sonra kullanıcı tarafından isteğe bağlı olarak kısıtlayıcı koşullar ortaya konulmaktadır. Orman amenajmanında kısıtlayıcı koşullar olarak, simülasyon tabanlı planlama modelinde olduğu gibi bir takım alan ve hacim kontrol politikaları bulunmaktadır.

3.2.1. Konumsal Ayarlar

Konumsal ayarlar menüsü, konumsal özelliklerin belirlendiği ve TB yöntemi ile çözüldüğü iki ana bölümden oluşmaktadır (Şekil 64). Konumsal düzenleme yapılabilmesi amacıyla gerekli olan başlangıç verilerinin hazırlandığı, konumsal parametre ve parça tanımlama işlemi, konumsal özellikler menüsünde yer almaktadır. Konumsal parametreler, komşuluk tablosu ve parça tanımlama arayüzü simülasyon tabanlı konumsal planlama modelinde olduğu gibidir. Kombine optimizasyon modeli iki türlü modeli başlangıç çözümü olarak kabul etmektedir. Birincisi, normal optimizasyon sonucu elde edilen parçalı meşcerelerden tamsayılı çözüm setinin oluşturulduğu “tam sayılı çözüm” seçeneğidir. İkincisi ise, optimizasyon modeli için hazırlanmış olan amaçları ve karar değişkenlerini kullanarak hazırlanmış olan rastgele çözüm setidir. Kullanıcı bu menüde seçenekleri kullanmak suretiyle rastgele çözümler üretebilmekte yada belirlediği amaç ve kısıtları içeren optimizasyon model çözümünü tavlama benzetimi modeli için başlangıç çözümü olarak kullanmaktadır. Hedef ve kısıt ağırlıkları menüsünde, modelde belirlenen amaç ve periyodik kısıtlardan meydana gelen sapmaların ceza ağırlıkları ile konumsal parametrelerden meydana gelen ceza değeri ağırlıkları yer almaktadır. Kullanıcı istediği amaç yada kısıta farklı değerlerde ağırlık verebilmekte ve modeli yeniden çözebilmektedir (Şekil 65).

Parametre	Değer
Toplam ETA :	1
Periyodik ETA :	0
Periyodik Alan :	3
Cezalı Blok Oranı :	0
Cezalı Aşma Oranı :	0
Toplam Blok Ceza :	3
Toplam Aşma Ceza :	4

TAMAM

Şekil 65. Amaç ve kısıtların ceza değerlerini ağırlıklandırma ekranı

3.2.2. Modelin Çalıştırılması

Kombine optimizasyon modelinde, konumsal planlama için gerekli her türlü veri ve bilgiler ilgili veri giriş tablolarına girilip, gerekli planlama ayarları yapıldıktan sonra, model çalıştırılır. Modelin çalıştırılmasında “Ayarlar” sekmesinde yer alan “Tavlama Benzetimi İle Çöz” düğmesi kullanılarak model çalıştırılır. Böylece konumsal planlama modeli öncelikle, rastgele çözüm yada tamsayılı çözüm sonucu elde edilen çözüm setini ve karar değişkeni matrislerini oluşturmaktadır. Model bunlara belirlenen konumsal parametre ve parçalılık indekslerini de ekleyerek belirlenen hedef ve kısıt ağırlıklarına göre toplam ceza değerini en aza indirecek şekilde tanımlanan problemi çözmektedir. Tavlama benzetiminde, başlangıç ısı değerini daha hassas bir şekilde ayarlamak amacıyla model çözüme başlamadan önce, rastgele bin adım iterasyon gerçekleştirmekte ve bu adımlar sonucu ceza değerindeki olası en küçük ve en büyük değişim miktarını bulmaktadır. Bulduğu bu en büyük ve en küçük ceza değer sapmasına göre ise, modelin başlangıç ısı değerini ayarlamakta ve modeli tavlama benzetimi algoritması ile çözmektedir. Isı değerini ayarlamadaki en önemli sebep, yüksek veya düşük ısı değeri almak suretiyle çözümün dar bir çerçevede aranması ve en iyi çözüm setinden uzaklaşmayı engellemektir. Kullanıcı, ceza değer ağırlıklarını veya ceza değeri özelliklerini değiştirmek suretiyle farklı senaryolar deneyebilmekte, tüm senaryoları harita ve tablo verileri olarak karşılaştırabilmektedir.

3.2.3. Kombine Optimizasyon Sonuçları (Çıktılar)

Optimizasyon modeli çalıştırdıktan sonra, toplam ceza değerindeki meydana gelen değişim izlenmektedir. En düşük ceza değerine sahip çözüm setine ilişkin her türlü çıktılar “konumsal sonuçlar” sekmesinden izlenebilmektedir (Şekil 66). Şekilden görüldüğü gibi, konumsal sonuçları farklı bölümlerden oluşmaktadır. Karar değişkenleri, odun üretimi ve diğer orman fonksiyonu değerlerine ilişkin çıktılardan yanında, parçalılık indeks değerleri ve haritaya aktarma sekmesini içermektedir. *Odun üretim çıktıları, orman dinamiği, odun dışı orman fonksiyonları, müdahale alanları ve karar değişkeni çıktıları* konumsal planlama sonucunda da elde edilen yeni çözüm seti için sunulmaktadır. Ayrıca, model çözümü belirlenen parça tanımı için tüm parçalılık indekslerini sınıf/arazi ölçeğinde tablo ve grafik olarak sunmaktadır. En önemli çıktılardan birisi olan haritaya aktarma menüsü ile de, elde

edilen konumsal planlama sonuçları bölmecik bazında haritaya aktarılmakta ve planlama yörüngesi boyunca kesim düzeni oluşturulmaktadır. Kesim düzeni haritası yanında, bölmecik bazında tüm meşcere parametreleri (yaş, servet, orta çap, göğüs yüzeyi gibi), sınıf ve parça değerleri de haritaya aktarılmaktadır.



Şekil 66. Konumsal sonuçlar ana ekranı

Konumsal planlama modeli ve çıktılarının daha iyi anlaşılması için model hipotetik ve gerçek planlama biriminde çözülmüştür. Bu model çıktıları grafik, tablo ve harita formatında sunularak kombine optimizasyon çıktıları değerlendirilmiştir.

3.2.4. Kombine Optimizasyon Modelinin Hipotetik Planlama Biriminde Uygulanması

ETÇAPKombine modelinde, normal optimizasyon seçeneklerine, belirlenen konumsal parametreler (açma alanı, kesim bloğu büyüklüğü, erteleme süresi gibi) ile farklı hedef ve kısıt ağırlıkları eklenmesi suretiyle konumsal planlama stratejileri üretilmiştir (Tablo 15). Bu stratejiler hipotetik planlama birimlerinden küçük parçalı ve yaşlı orman formuna sahip alanda uygulanmıştır. Burada belirlenmiş olan bir optimizasyon modeline sabit komşuluk parametreleri (Şekil 67) eklenmesi ile farklı hedef ve kısıt ağırlıklarının olduğu konumsal planlama senaryoları üretilmiştir. Kombine optimizasyon model senaryolarının konumsal simülasyon senaryosundan farklı olan temel özellikleri aşağıda verilmiştir;

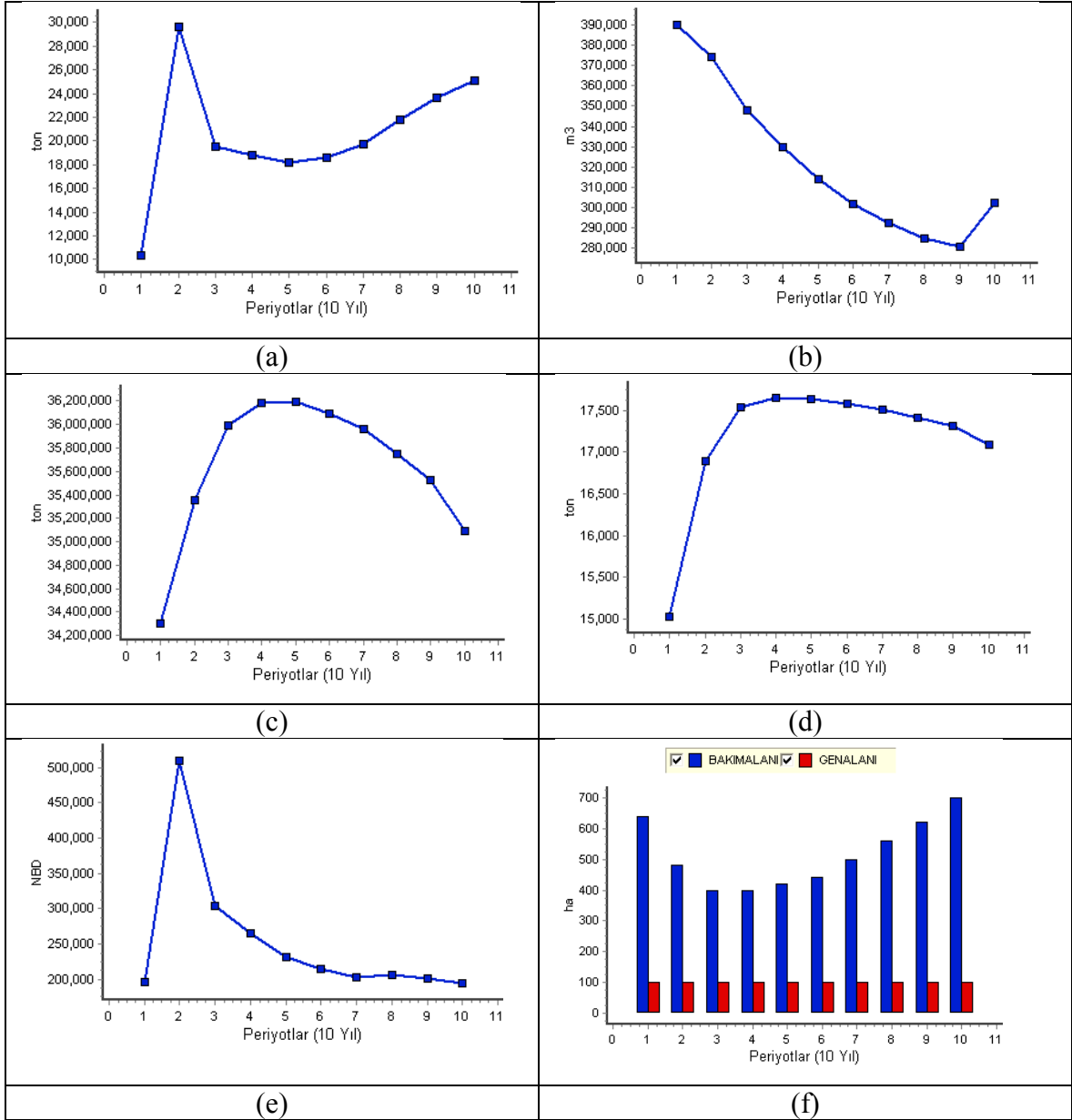
- Optimizasyon senaryosunun basit ve sade olması için silvikültürel müdahaleler sadece ağaç türü bazında verilmiş ve minimum gençleştirme yaşı 100 olarak alınmıştır.
- Eşit alan gençleştirme politikası seçilmiştir.

Şekil 67. Konumsal parametre tanımlama ekranı

Tablo 15. Konumsal planlama senaryoları ve hedef ağırlıkları

Senaryo no	Senaryo Tanımı	Başlangıç çözümü	Ağırlıklar (katsayı)			
			Toplam eta	Periyodik alan	Blok ceza	Açma ceza
H1	Optimal çözüm		-			
T1	Tamsayılı çözüm	H1	-			
H2	Konumsal plan 1	T1	1	10	100	100
H3	Konumsal plan 2	H2	1	10	50	50
RH1	Rastgele çözüm		-			
H4	Konumsal plan 3	RH1	2	10	50	50

Konumsal özelliklerin olmadığı, eşit periyodik gençleştirme alan kuralına göre model çözülmüş (H1) gençleştirme ve bakım alanı miktarları ve diğer model çıktıları sırasıyla Şekil 68’de gösterilmiştir.



Şekil 68. Optimizasyon model çıktılarının a) net karbon birikimi miktarı b) dikili servet, c) su üretimi, d) toprak kaybı değeri, e) karbon birikimi NBD miktarı, f) gençleştirme ve bakım alanlarının zamana bağlı değişimi

Tablo 16 incelendiğinde, her periyotta eşit miktarda alana (100 ha) gençleştirme müdahalesi için girilmiştir. Konumsal kontrol mekanizması olmadığı bu çözümde, bazı bölmeciklerin birden fazla periyotta kesime tabi tutulduğu ve parçalandığı görülmüştür (Şekil 69). Burada, 500 nolu bölmecik, 110 yaşında 1.392 ha ve 130 yaşında ise 0.607 ha olan diğer kısmı gençleştirmeye alınarak parçalanmıştır. Çözüm sonuçlarının haritadaki dağılımı görebilmek ve her bölmeciğe tek bir müdahale rejimi uygulanmasını düzenlemek amacıyla parçalı bölmecikler hazırlanan “tamsayılı çözüm” modülü aracılığıyla tek

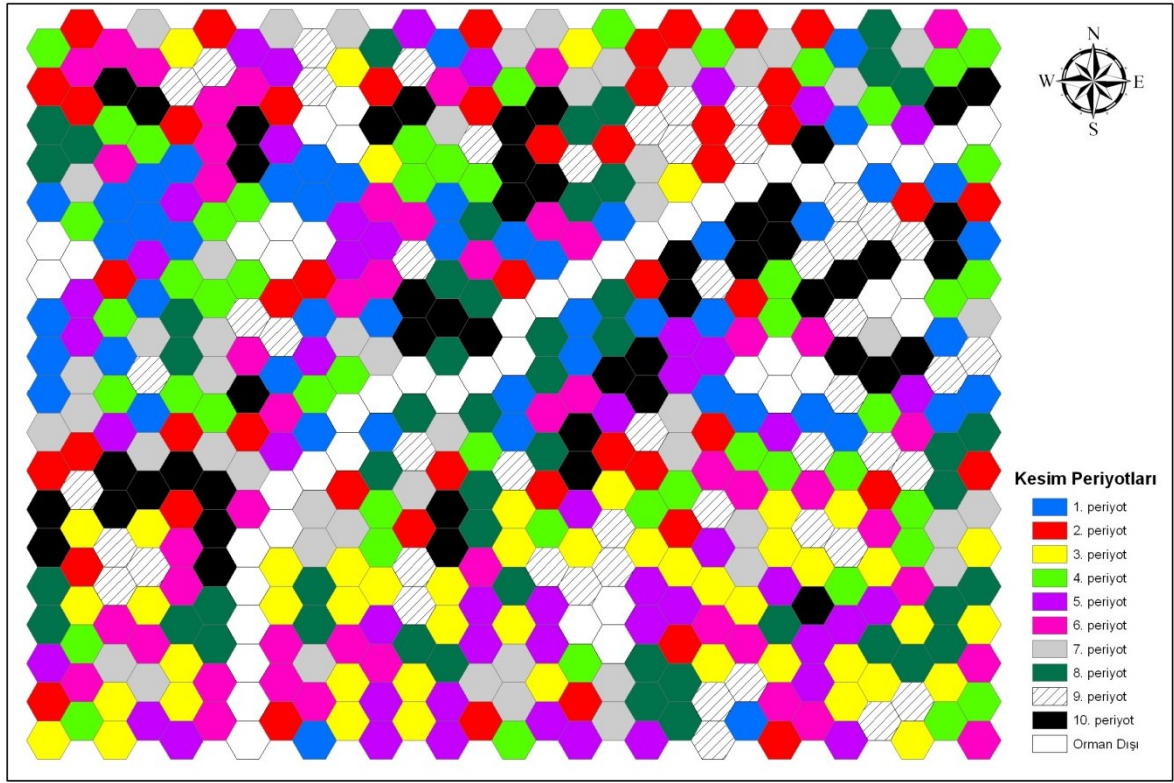
periyotta birleştirilmiştir. En fazla hangi periyotta gençleştirme alanı müdahalesi uygulanmış ise, ilgili bölmecik o periyota gençleştirildiği varsayılarak tüm meşcere parametreleri o müdahale rejimi için yeniden düzenlenmiştir. Bu aşamada oluşacak olan yeni çözüm setine göre, her bir periyottaki eta, alan ve diğer odun dışı orman ürün miktarları tekrar hesaplanmıştır. Elde edilen yeni çözüm setinde her bölmeciğe bir defa müdahale yapılma seçeneğini sağladığı için harita ortamına aktarılmıştır (Şekil 70). Bu haritada, kesim bloklarının ve açma alanlarının alana düzensiz bir şekilde bazen büyük bazen ise küçük parçalar halinde dağıldığı görülmektedir.

Tablo 16. Eta ve müdahale alanı miktarlarının periyotlara bağlı değişimi

Periyotlar	Bakım Eta (m3)	Genleştirme Eta (m3)	Toplam Eta (m3)	Bakım Alanı (ha)	Genleştirme Alanı (ha)
1	16985.61	58523.31	75508.92	840	100
2	15715.10	60750.2	76465.30	780	100
3	15469.26	61273.86	76743.12	700	100
4	11370.51	60748.87	72119.38	600	100
5	11201.67	60732.04	71933.71	600	100
6	10421.90	61449.67	71871.57	600	100
7	10880.02	61597.93	72477.95	620	100
8	10981.62	64126.75	75108.37	640	100
9	12797.36	62569.37	75366.73	700	100
10	13992.94	38257.36	52250.30	700	100

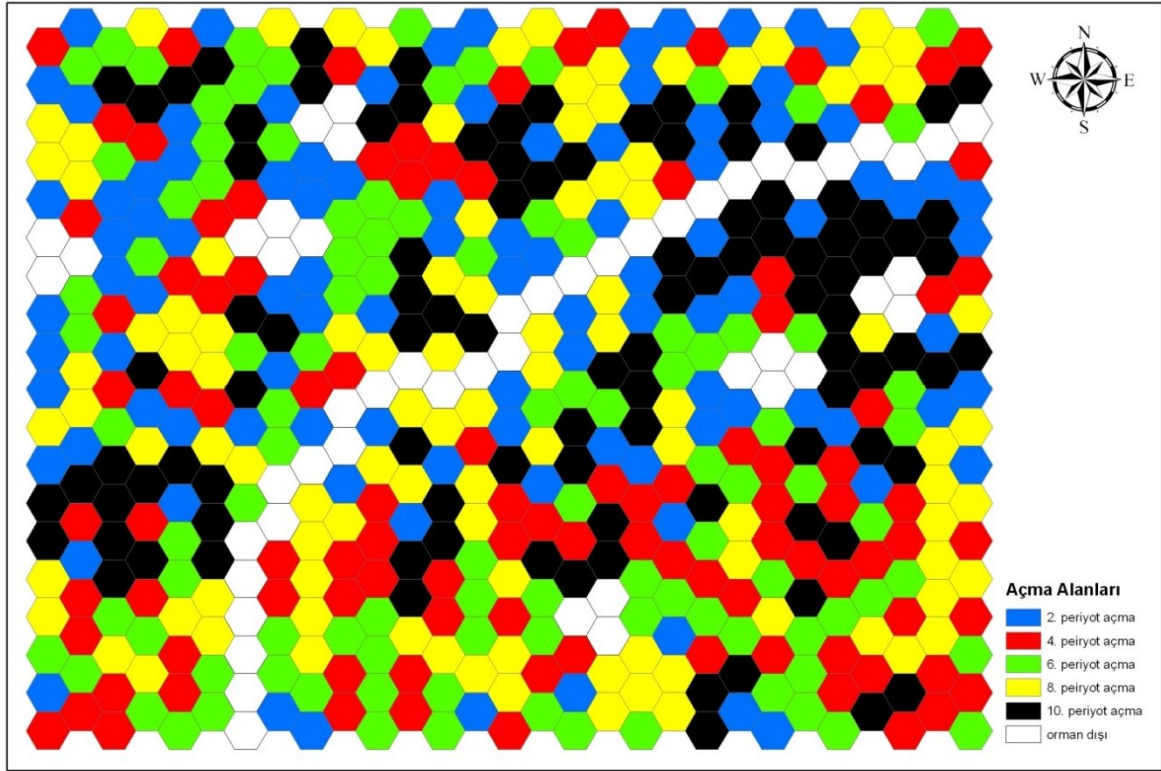
Servet															Göster	Seçilen Bölmecikler	Dosyaya Kaydet	Button6	Blok
Bolmc	Rejim	Agac	Kesim	1. P	2. P	3. P	4. P	5. P	6. P	7. P	8. P	9. P	10. P	Kes	Muda	Blo			
494	3	0	120	566.53	93.76	93.76	122.31	205.37	353.72	400.92	468.88	525.16	607.81	2					
495	3	0	120	109.84	183.88	316.18	358.24	418.82	468.97	542.67	576.19	602.61	93.76	2					
496	3	0	130	364.35	424.89	474.87	548.77	582.37	608.87	630.77	93.76	93.76	122.31	2					
497	2	0	140	513.70	547.51	574.17	596.21	614.87	93.76	93.76	122.31	203.23	337.52	2					
498	3	0	140	447.52	522.31	556.32	583.14	605.31	624.09	93.76	93.76	122.31	205.37	2					
499	3	0	140	364.35	424.89	474.87	548.77	582.37	608.87	630.77	649.33	93.76	93.76	2					
500	3	0	110	93.76	93.76	122.31	205.37	353.72	400.92	468.88	525.16	607.81	645.39	1.3922					
500	3	0	130	566.53	588.64	93.76	93.76	122.31	205.37	353.72	400.92	468.88	525.16	0.6077					
501	3	0	130	566.53	588.64	93.76	93.76	122.31	205.37	353.72	400.92	468.88	525.16	2					

Şekil 69. Optimizasyon sonucu parçalanmış bölmecikler



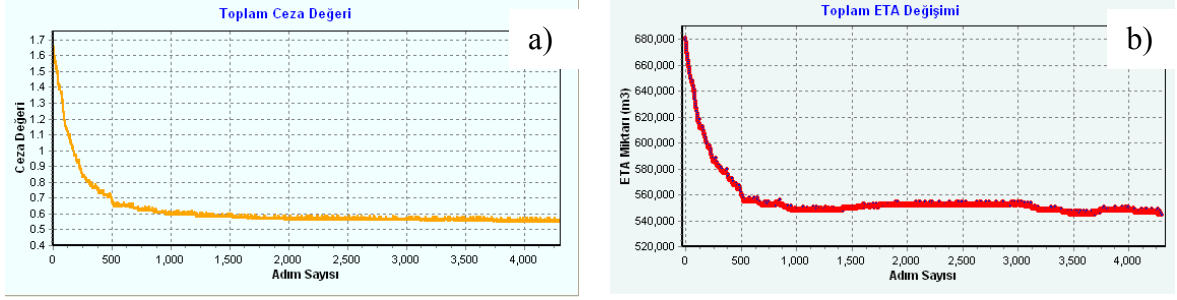
Şekil 70. T1 senaryosu sonucu oluşan kesim düzeni

Tamsayılı çözüm seti her ne kadar konumsal özellikleri içermemesine rağmen, belirlenen komşuluk parametresi kurallarına göre kesilen bölmeciklerin içinde buldukları bloklar ve açma alanları tespit edilmiştir. Açma ve blok alanı için Şekil 67'deki parametreler kullanılmıştır. Bu şekilde hazırlanan bir periyot erteleme süresi değeri için çift sayılı (2, 4, 6, 8 ve 10 nolu) periyotlardaki (Şekil 83) ve tek sayılı (1,3 5, 7, 9) periyotlardaki açma alanlarının konumsal dağılımı haritaya aktarılmıştır. Bu şekilde başlangıç çözümü için belirlenen tüm açma, blok alanları, optimizasyon çözüm setinde öngörülen kısıtlardan ve amaç fonksiyonu değerinden meydana gelen sapmalar için ceza değerleri belirlenmiştir. Buradan hareketle, kombine optimizasyon modülü tavlama benzetimi algoritması kullanarak belirlenen hedef ve kısıt ağırlıklarına göre hesaplanmış toplam ceza değerini en aza indirmeye çalışmıştır.

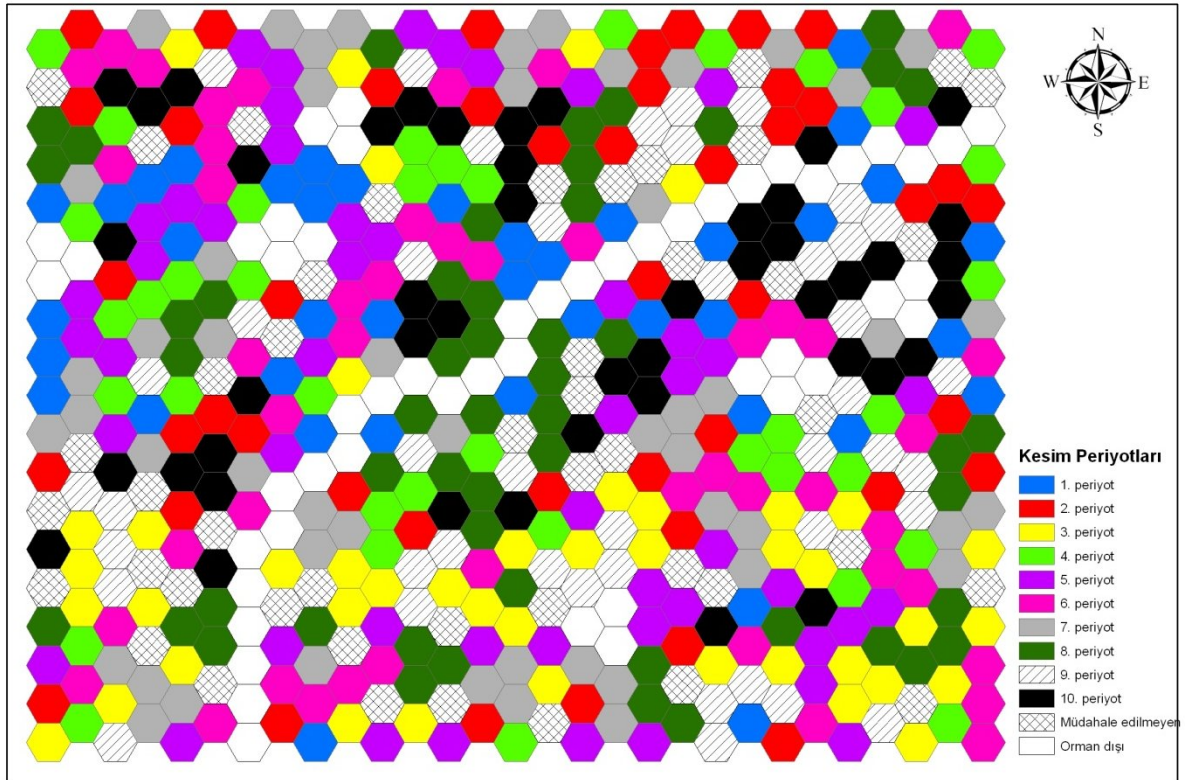


Şekil 71. T1 senaryosunda 2, 4, 6, 8 ve 10 nolu periyotlar için açma alanlarının konumsal dağılımı

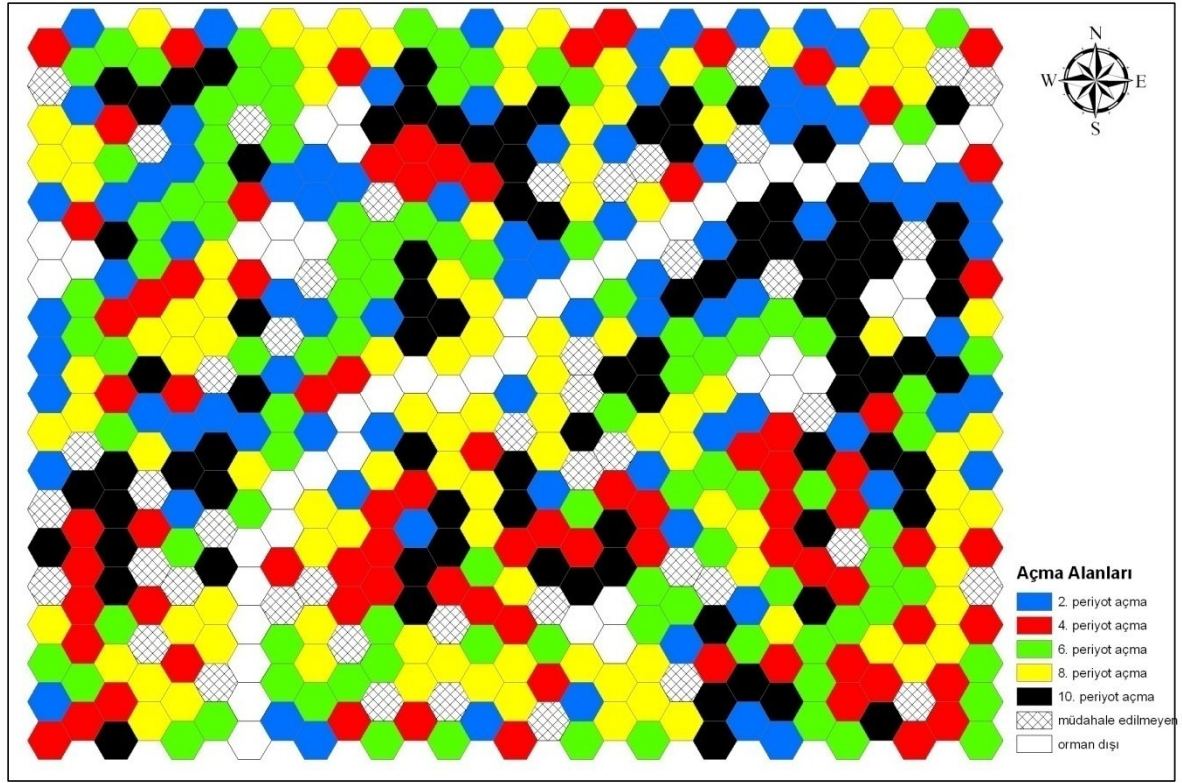
Tamsayılı çözüm setini başlangıç çözümü olarak kabul eden H2 senaryosu, tavlama benzetimi algoritması kullanılarak belirlenen hedef ve kısıt ağırlıklarına göre toplam cezayı en aza indirecek konumsal düzenlemeyi sağlamaya çalışmıştır. Bu senaryoda, tavlama algoritması ile çözüm aşamasında ceza ve eta değerinin değişimi analiz edilmiştir. Burada, ceza değerinde meydana gelen azalmayla birlikte, açma ve blok alanı cezası azalmış ancak buna karşın toplam eta miktarı da belirli bir oranda düşmüştür (Şekil 72). Eta miktarındaki % 20 lik bir azalış değerine karşılık, toplam amaç fonksiyonları ceza değeri %60 oranında düşmüştür. Bu senaryo sonucu oluşan yeni kesim düzeni haritası ve açma alanları haritası incelendiğinde, açma alanlarından olan ceza değerini azaltmak amacıyla bazı bölmeciklere gençleştirme müdahalesi yapılmadığı ve T1 senaryosuna göre daha az parçalı bir gençleştirme alanı dağılımı olduğu görülmektedir (Şekil 73-74).



Şekil 72. H2 senaryosu çözümü esnasında toplam ceza (a) ve eta (b) değerinin değişimi

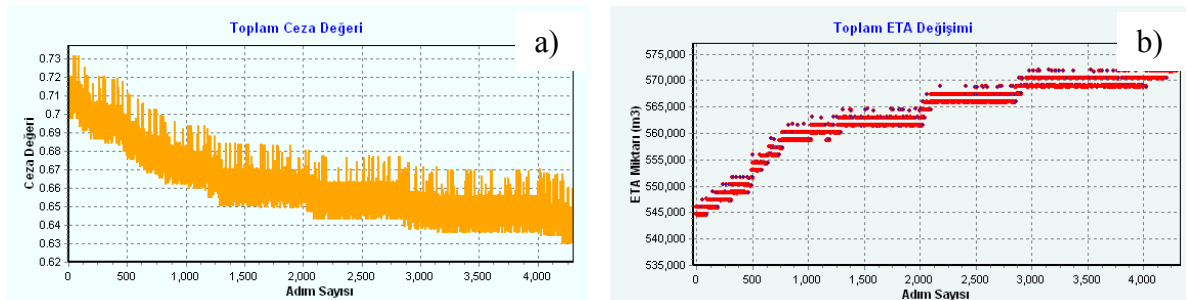


Şekil 73. H2 senaryosu sonucu oluşan kesim düzeni haritası

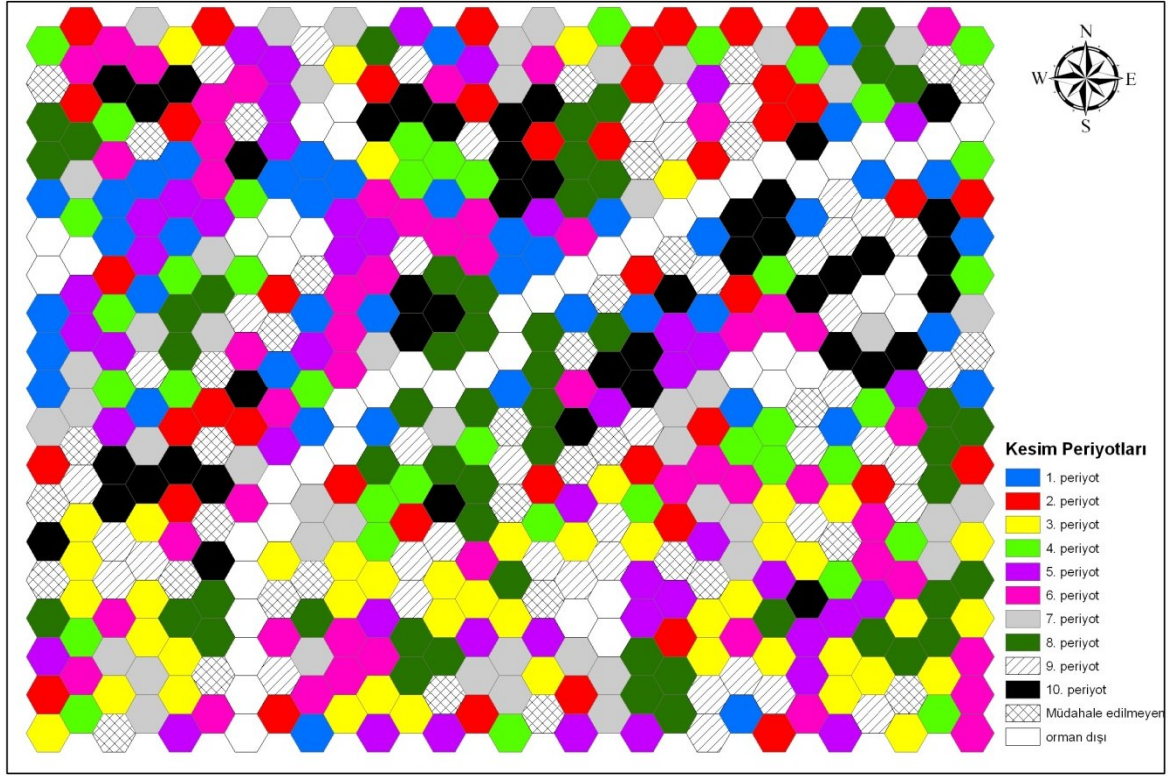


Şekil 74. H2 senaryosunda 2, 4, 6, 8 ve 10 nolu periyotlar için açma alanlarının konumsal dağılımı

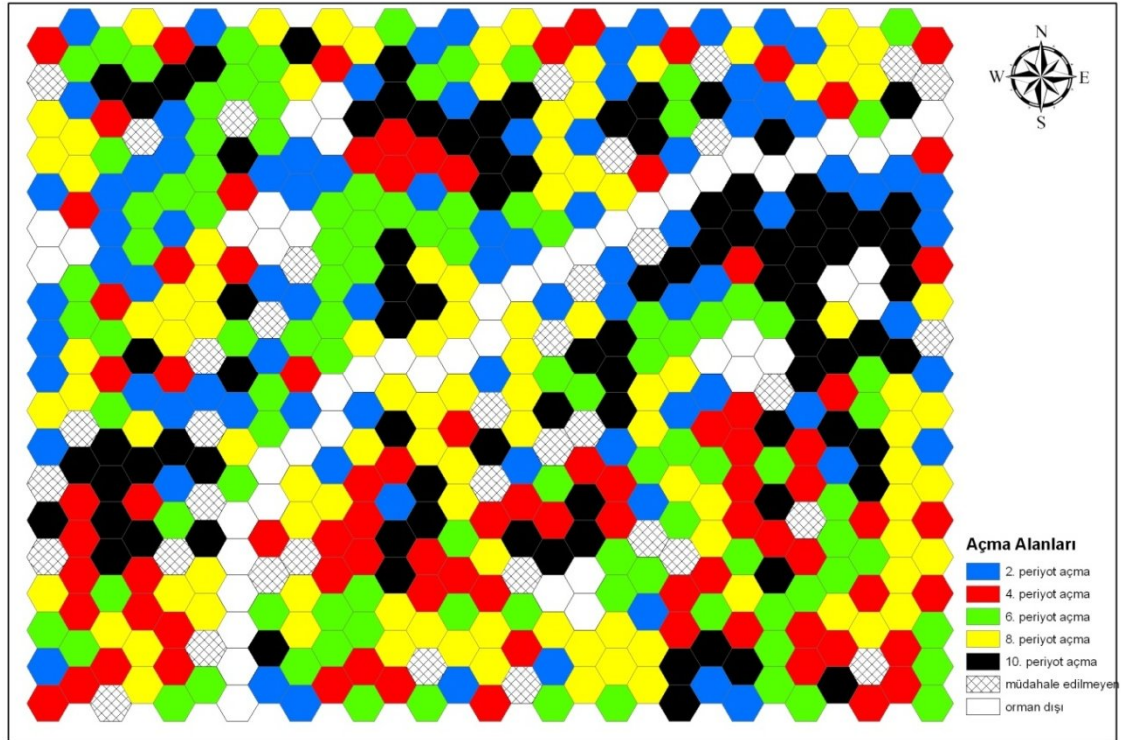
H3 senaryosu, H2 senaryosunu başlangıç çözümü olarak alarak blok ve açma ceza değerlerinin ağırlığını 50 değerine kadar düşürmüştür. Açma ve blok alanı değerindeki açma cezalarının ağırlığının azaltılması, eta miktarındaki ceza ağırlığının etkisinin arttırmakta ve model eta miktarından olan olası sapmaları en aza indirmek amacıyla keism bloğu ve açma alanı cezasını daha az dikkate alarak toplam eta miktarını arttırmıştır (Şekil 75). Eta miktarındaki %5 civarındaki bir artış ile birlikte, ceza değerinde %12 civarında bir azalış meydana gelmiştir. Bu senaryo sonucu oluşan gençleştirme alanlarının konumsal dağılımı incelendiğinde H2 senaryosuna oranla daha parçalı olduğu görülmektedir (Şekil 76). Benzer şekilde açma alanlarını blok alanlarına bağlı olarak biraz daha parçalandığı görülmüştür (Şekil 77).



Şekil 75. H3 senaryosu çözümü esnasında toplam ceza (a) ve eta (b) değerinin değişimi

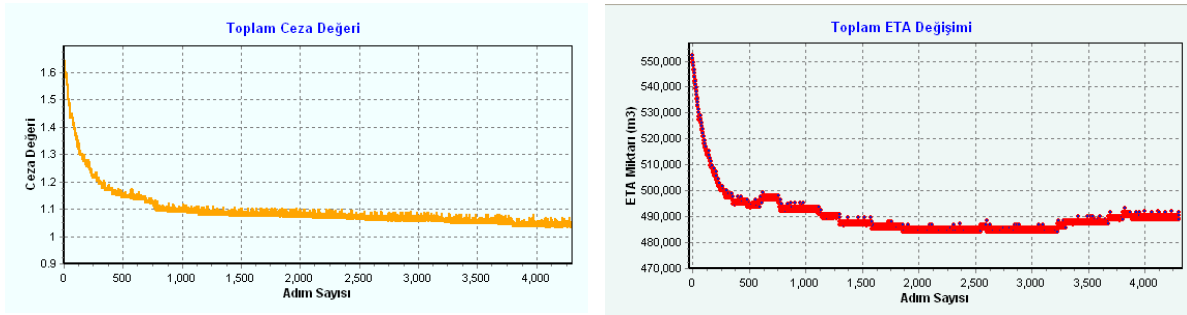


Şekil 76. H3 senaryosu sonucu oluşan kesim düzeni haritası

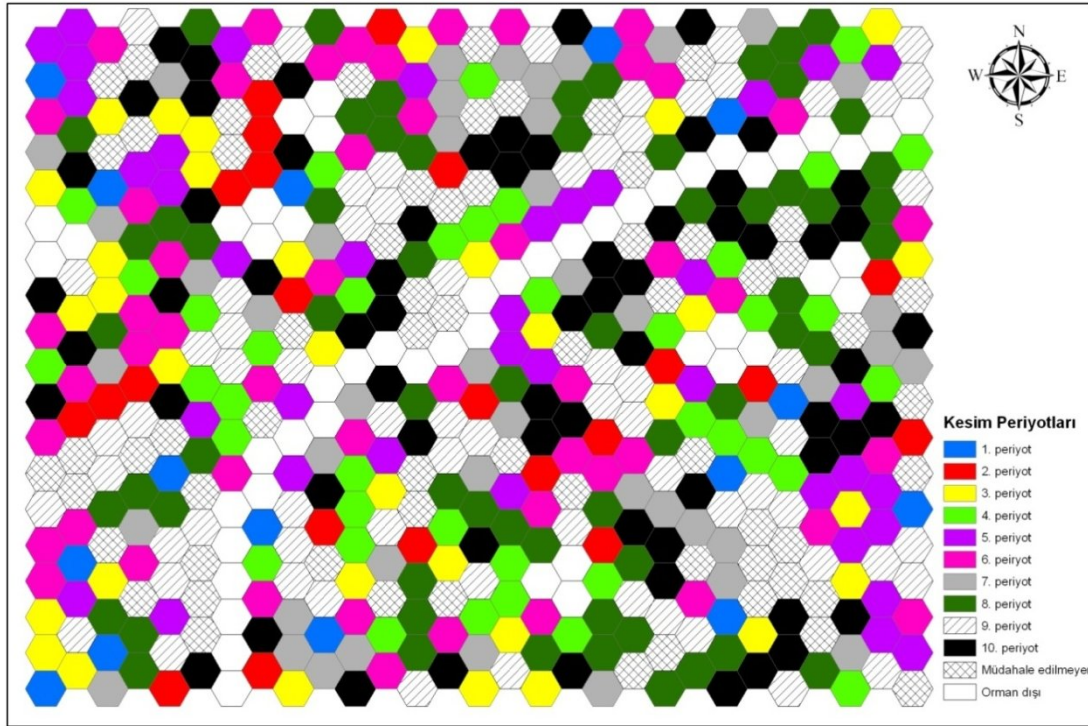


Şekil 77. H3 senaryosunda 2, 4, 6, 8 ve 10 nolu periyotlar için açma alanlarının konumsal dağılımı

H4 senaryosunda, optimizasyon senaryosu rejimlerini kullanarak oluşturulmuş rastgele bir çözümü, başlangıç çözümü olarak almıştır. Diğer konumsal senaryolardan farklı olarak eta miktarının ceza değeri katsayısı iki katın çıkarılmıştır. Bu senaryoda, toplam ceza değeri 1,6 değerinden 1,05 değerine kadar azalmış, toplam eta miktarı da %12 civarında düşmüştür (Şekil 78). Bu senaryo sonucu oluşan kesim düzeni haritası Şekil 79'da verilmiştir.



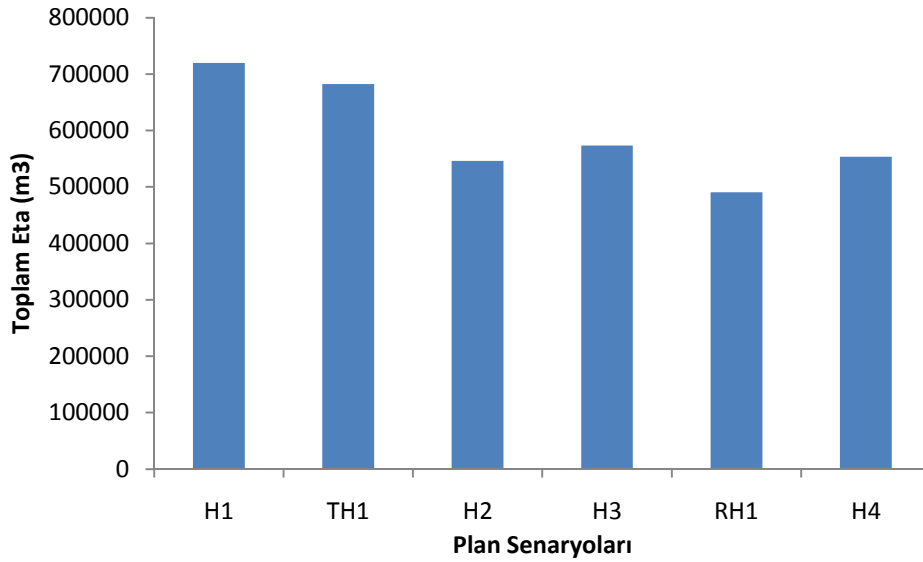
Şekil 78. H4 senaryosu çözümü esnasında toplam ceza (a) ve eta (b) değerinin değişimi



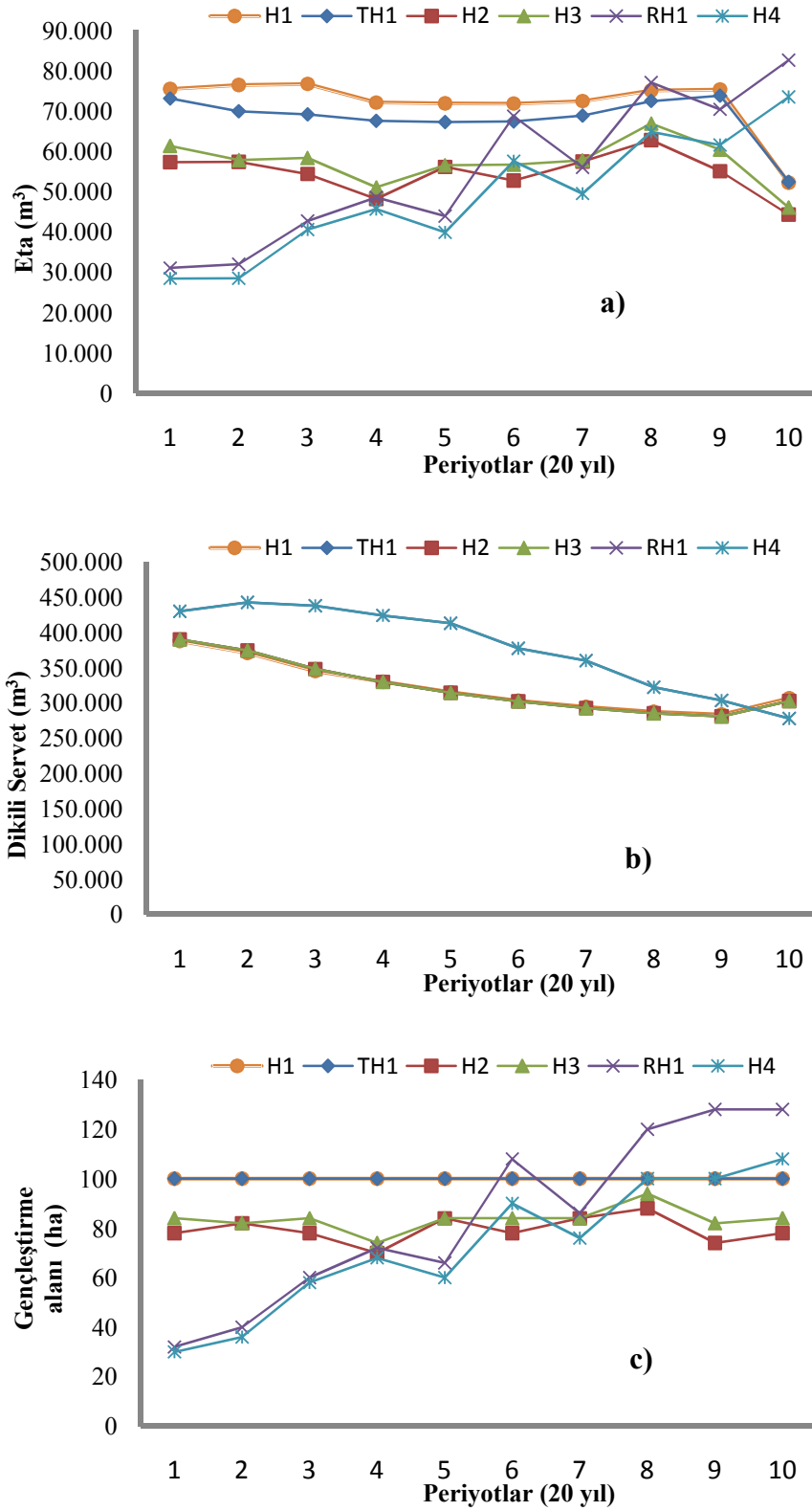
Şekil 79. H4 senaryosu sonucu oluşan kesim düzeni haritası

Hipotetik planlama biriminde uygulanan tüm senaryolar birlikte değerlendirildiğinde; toplam eta bakımından en iyi sonucunun H1 senaryosunda olduğu görülmüştür (Şekil 80).

TH1 senaryo sonucunun başlangıç çözümü olarak alan H2 senaryosu daha az toplam eta değerine sahip olmasına karşın, konumsal düzenleme dikkate alındığında daha az açma ve blok cezasına sahip olduğu görülmektedir. Periyodik eta gidişatı dikkate alındığında, H1 senaryosunun belli oranda sabit, en son periyotta azalan bir eta derine sahip olduğu görülmüştür. RH1 ve H4 senaryolarının ise giderek artan bir eta gidişatı seyri göstermektedir (Şekil 81-a). Dikili servetin planlama yörüngesi boyunca değişimi dikkate alındığında, H4 ve RH1 seçeneğinin diğer senaryolardan farklı bir seyir izlediği görülmektedir (Şekil 81-b). Gençleştirme alanı miktarları dikkate alındığında, TH1 ve H1 seçeneğinde eşit alan olduğu, diğer senaryolarda ise bu değer dalgali bir gidişat gösterdiği görülmüştür (Şekil 81-c).



Şekil 80. Toplam eta miktarının senaryolara göre değişimi



Şekil 81. Eta (a), dikili servet (b) ve gençleştirme alanlarının (c) planlama yörüngesi boyunca değişimi

3.2.5. Kombine Optimizasyon Modelinin Uğurlu Planlama Biriminde Uygulanması

Kombine optimizasyon modeli Uğurlu planlama biriminde uygulamak amacıyla örnek planlama senaryoları geliştirilmiştir. Uğurlu planlama biriminde kombine optimizasyon senaryosunun hipotetik alandaki kombine optimizasyon senaryosundan farklı olarak minimum gençleştirme yaşı 120 olarak kabul edilmiş ve periyot genişliği 20 yıl alınmıştır.

Yukarıda tüm özellikleri anlatılan doğrusal programlama tabanlı orman amenajmanı planlama senaryosu temel alınarak, bu modele konumsal parametreler ve hedef ağırlıkları eklenmek suretiyle farklı alternatifler üretilmiştir (Tablo 17). Bu alternatiflere ilişkin çıktılar, bundan sonraki bölümde tablo, grafik ve harita formatında sunulacaktır. Şekil 82’de verilen komşuluk parametreleri kullanılarak konumsal planlama seçenekleri oluşturulmuştur.

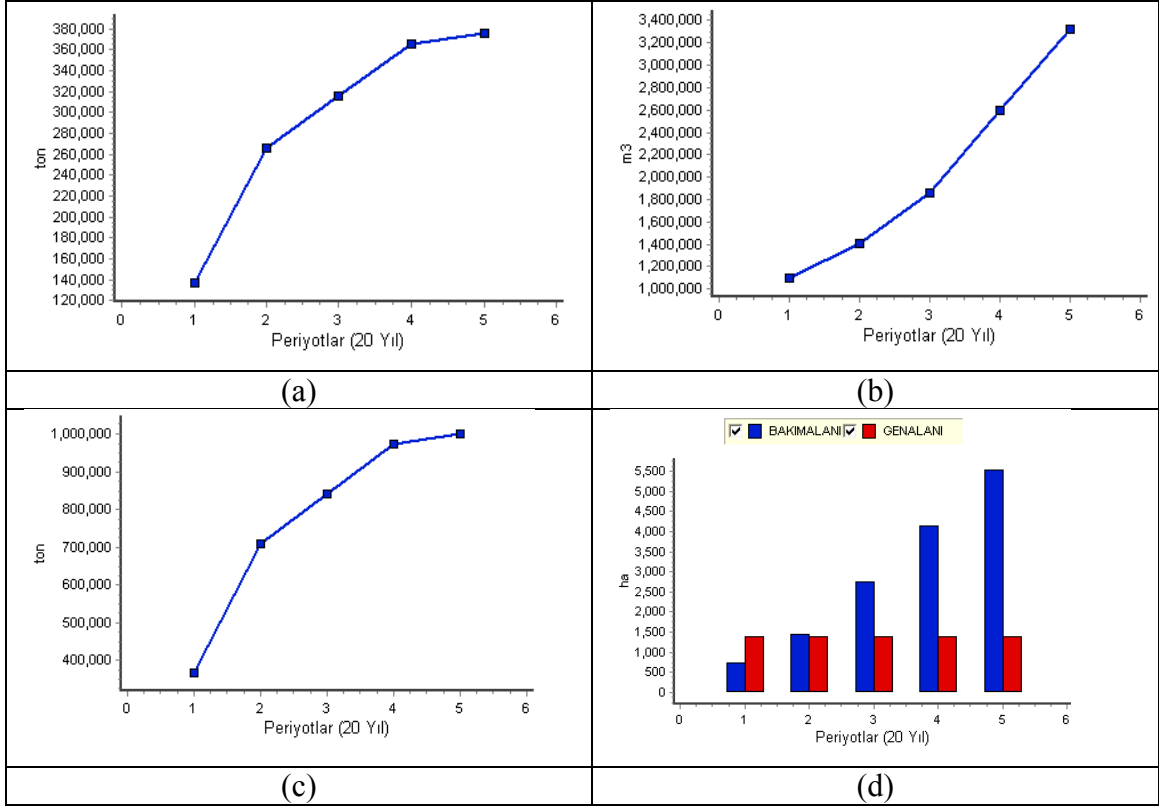
Şekil 82. Konumsal parametre tanımlama ekranı

Tablo 17. Konumsal planlama senaryoları ve hedef ağırlıkları

Senaryo no	Senaryo tanımı	Başlangıç çözümü	Toplam eta	Periyodik alan	Blok ceza	Açma ceza
G1	Optimizasyon eşit alan çözümü			-		
TG1	Tamsayılı çözüm	G1		-		
G2	Konumsal plan 1	TG1	1	1	50	50
G3	Konumsal plan 3	TG1	1	10	100	100
R1	Rastgele çözüm					
G4	Konumsal plan 4	R1	5	1	1	1

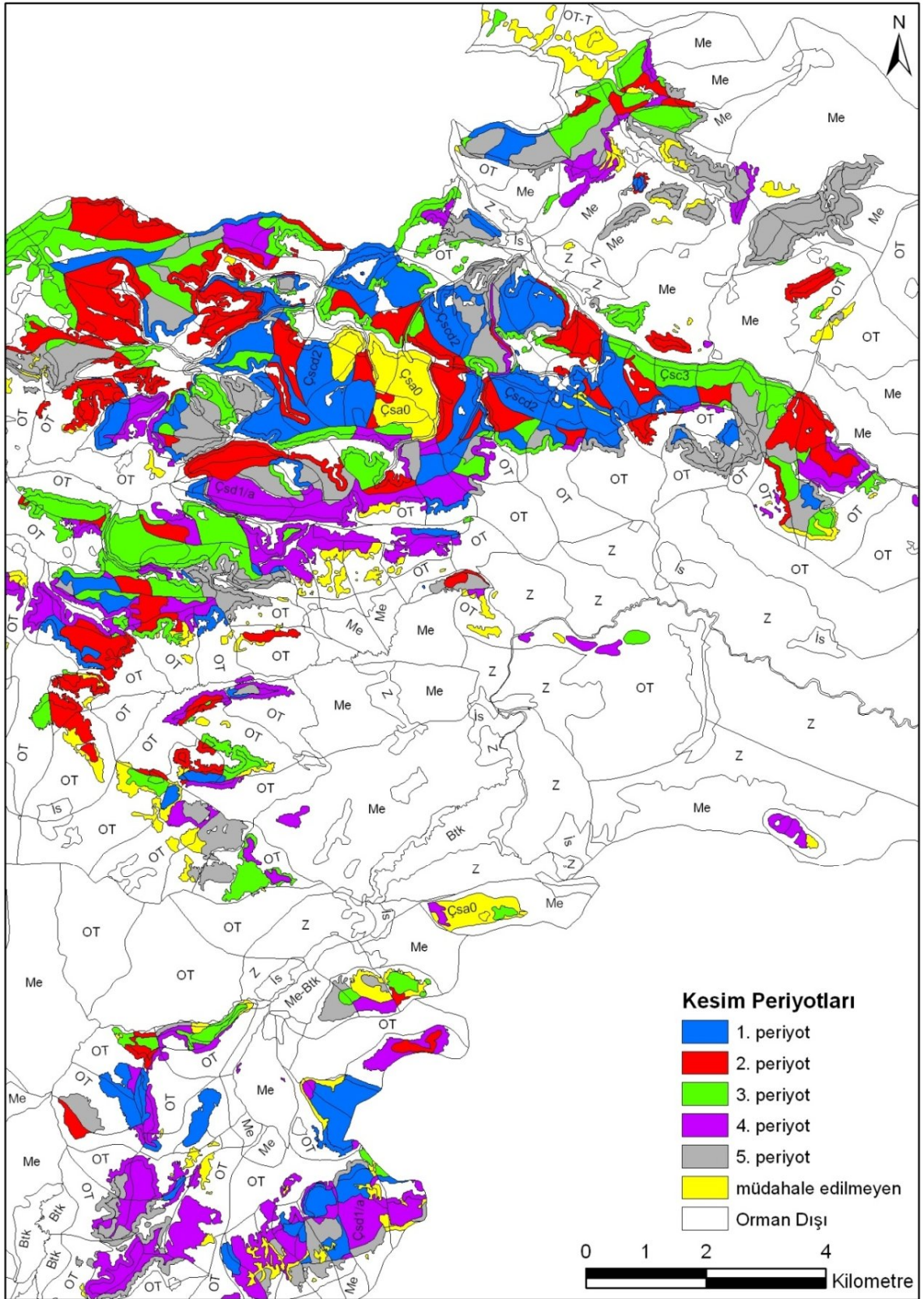
Konumsal özelliklerin olmadığı, eşit periyodik gençleştirme alan kuralına göre model çözülmüş (G1) gençleştirme ve bakım alanı miktarları ve diğer model çıktıları

sırasıyla Şekil 83'te gösterilmiştir.



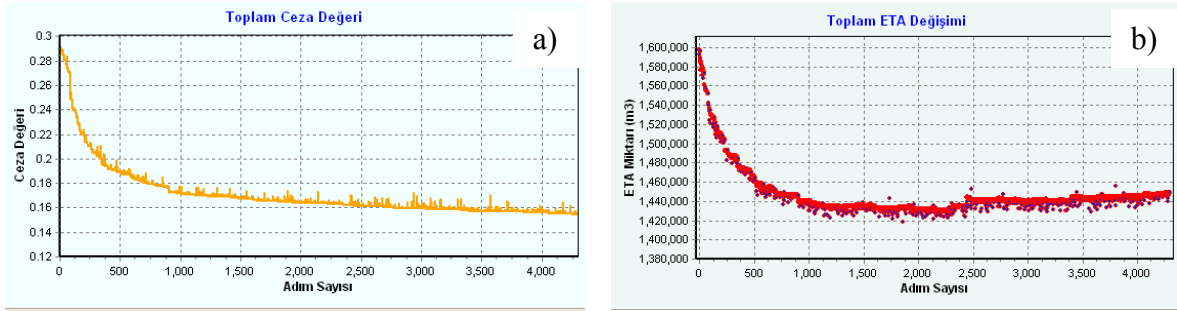
Şekil 83. Odun üretimi çıktıları a) net karbon birikimi miktarı b) dikili servet, c) oksijen üretimi, d) gençleştirme ve bakım alanlarının zamana bağlı değişimi

G1 senaryosu sonucu elde edilen çözüm seti, parçalı bölmecikler ihtiva etmesi nedeniyle, tamsayılı çözüm modülü ile çözülmüştür. Tamsayılı çözüm seti kullanılarak, belirlenen komşuluk parametresi kuralına göre kesilen bölmeciklerin içinde buldukları bloklar ve açma alanları tespit edilmiştir (Şekil 84).

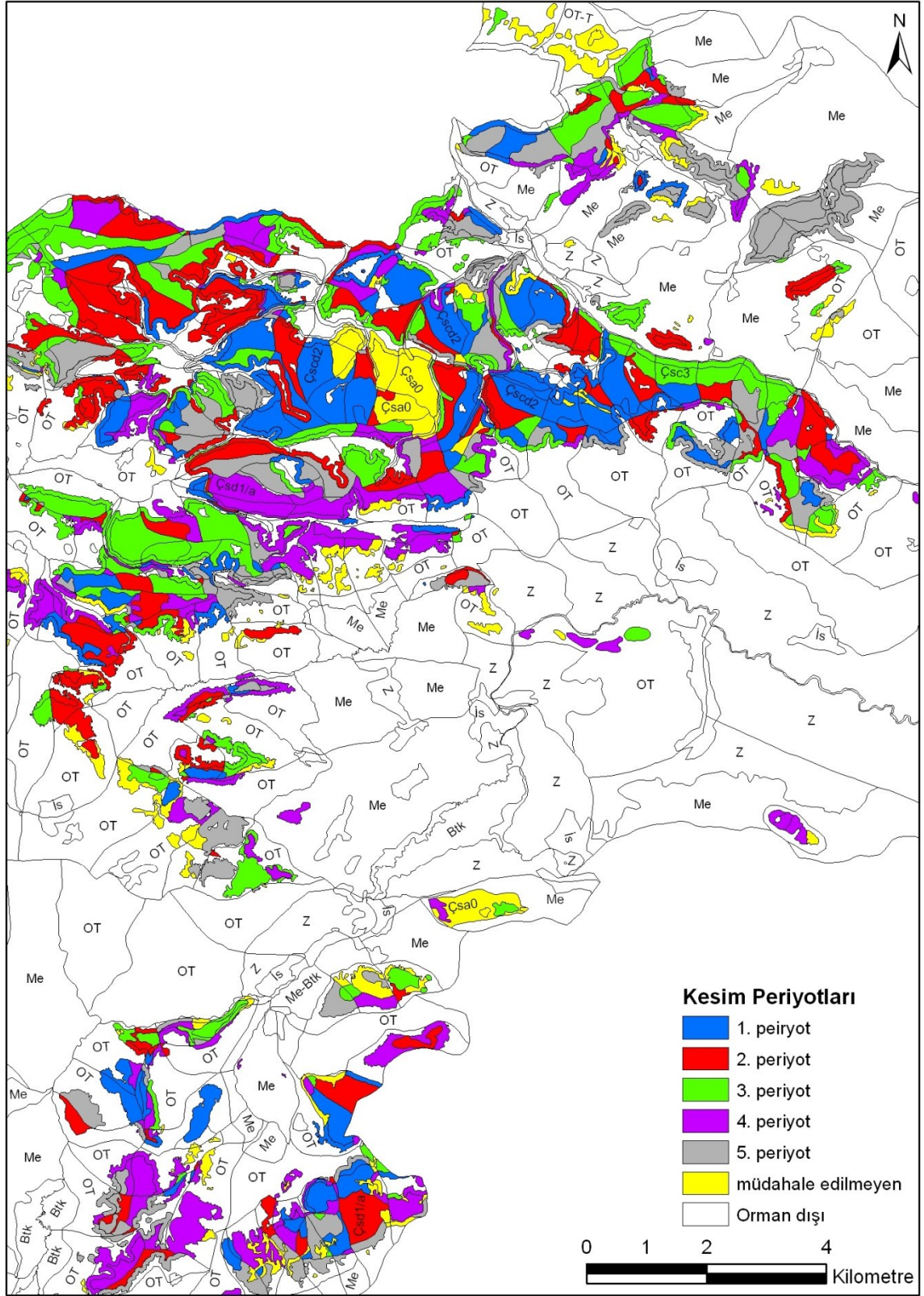


Şekil 84. TG1 senaryosu sonucu oluşan kesim düzeni haritası

GT1 çözüm setini başlangıç çözümü olarak kullanılan, G2 senaryosunda belirlenen hedef ağırlıklarına göre (Tablo 17) tavlama benzetimi algoritması ile yeniden çözülmüştür. Bu çözüm sonucuna göre, toplam ceza değeri 0.3 değerinden 0.15 değerine kadar azalmıştır. Ancak buna karşın toplam eta değeri ise %12 civarında azalmıştır (Şekil 85). Bu senaryo sonucu oluşan kesim düzeni haritası Şekil 86 'da sunulmuştur.

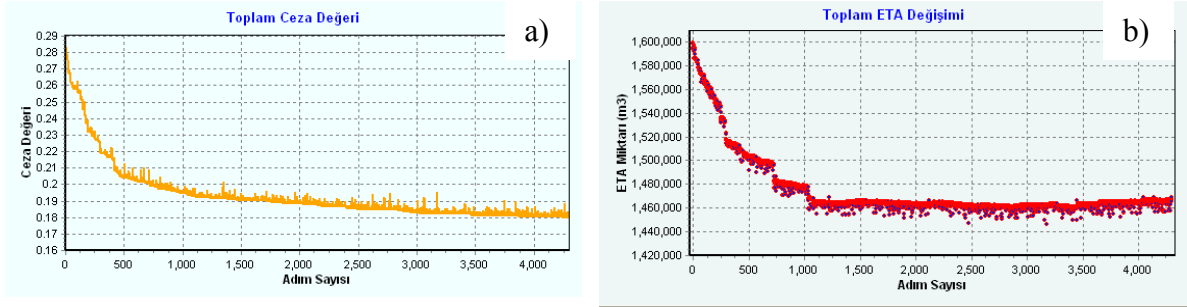


Şekil 85. G2 senaryosu çözümü esnasında toplam ceza (a) ve eta (b) değerinin değişimi



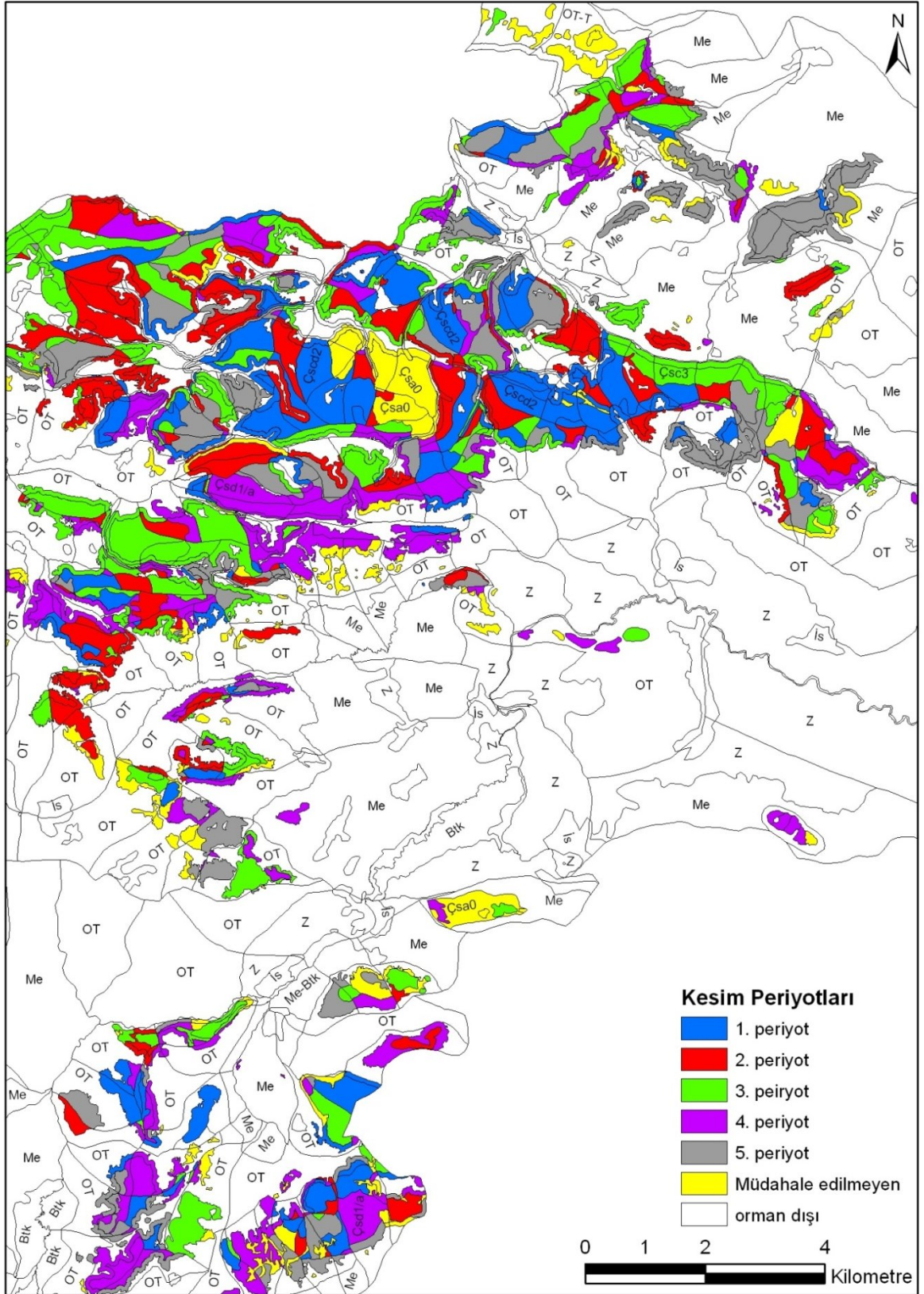
Şekil 86. G2 senaryosu sonucu oluşan kesim düzeni haritası

G3 senaryosu da, G2 senaryosu gibi TG1 çözüm setini başlangıç çözümü olarak kabul etmiş, ancak blok ve açma ceza değeri ağırlıkları iki kat, eşit alan ağırlık cezası ise 10 kat arttırılarak model yeniden çözülmüştür. Bu senaryo sonucu, toplam ceza değeri %30 oranında azalmış, eta miktarı ise benzer şekilde % 24 oranında azalmıştır (Şekil 87). Model açma ve blok alanından meydana gelebilecek olası ceza değerlerini azaltabilmek için bir çok alan gençleştirmeye almamış (Şekil 88) ve eta miktarı büyük oranda azalmıştır.

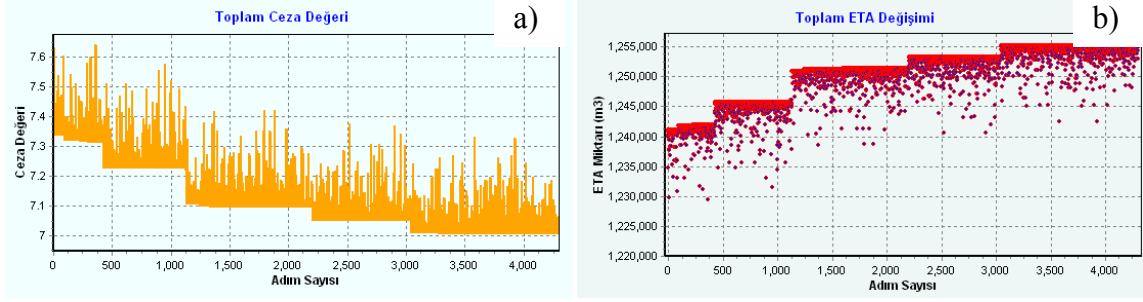


Şekil 87. G3 senaryosu çözümü esnasında toplam ceza (a) ve eta (b) değerinin değişimi

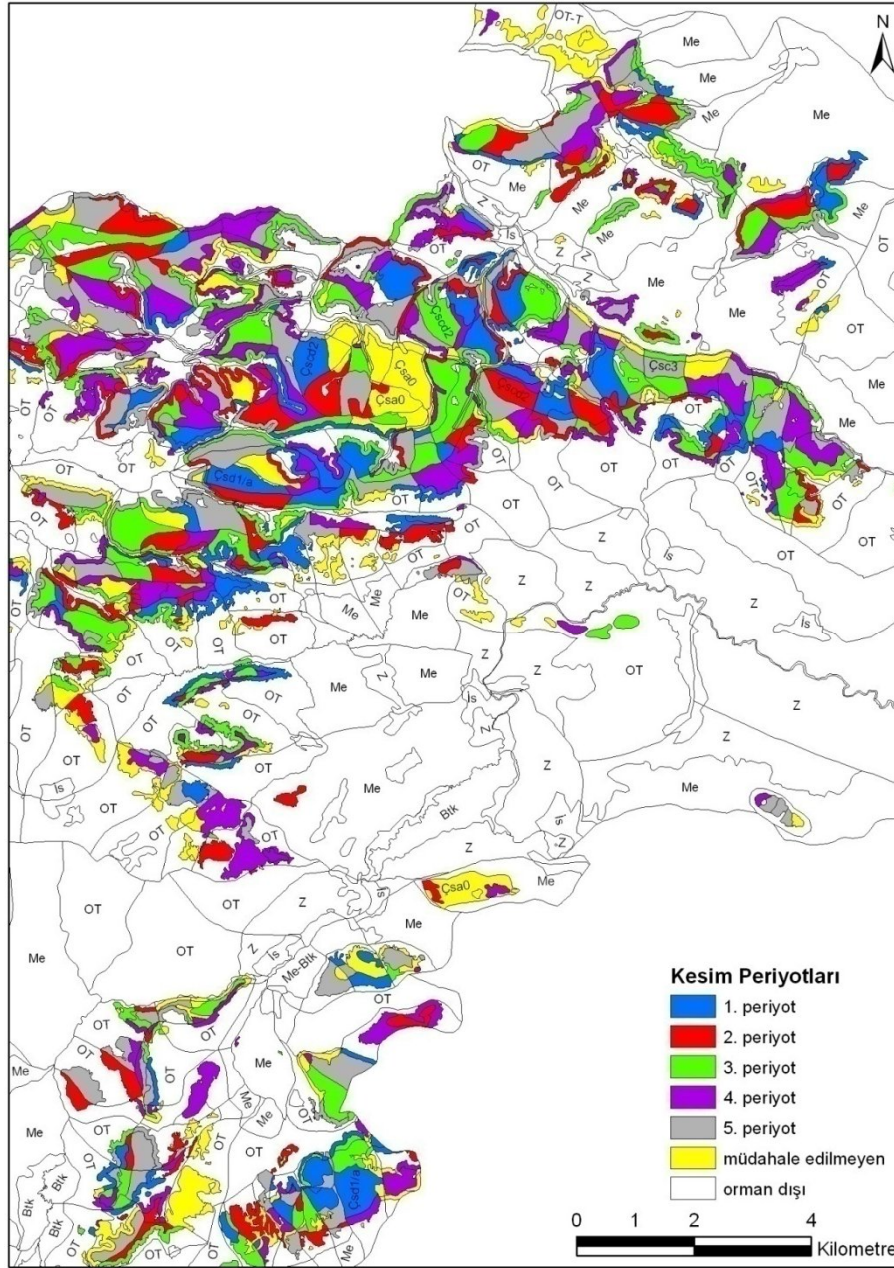
G4 senaryosunda, optimizasyon senaryosu rejimlerini kullanarak oluşturulmuş rastgele bir çözümü, başlangıç çözümü olarak almıştır. Diğer konumsal senaryolardan farklı olarak eta hedefine diğer hedeflerin 5 katı ceza ağırlığı verilerek model çözülmüştür. Çözüm sonucunda toplam eta miktarında azda olsa (%1,5) bir artış olduğu ancak toplam ceza değerinin %9 civarında azaldığı görülmüştür (Şekil 89). Bu senaryo sonucu oluşan yeni çözüm setinde, R1 senaryosuna oranla daha fazla alanın gençleştirmeye alındığı görülmüştür (Şekil 90).



Şekil 88. G3 senaryosu sonucu oluşan kesim düzeni haritası

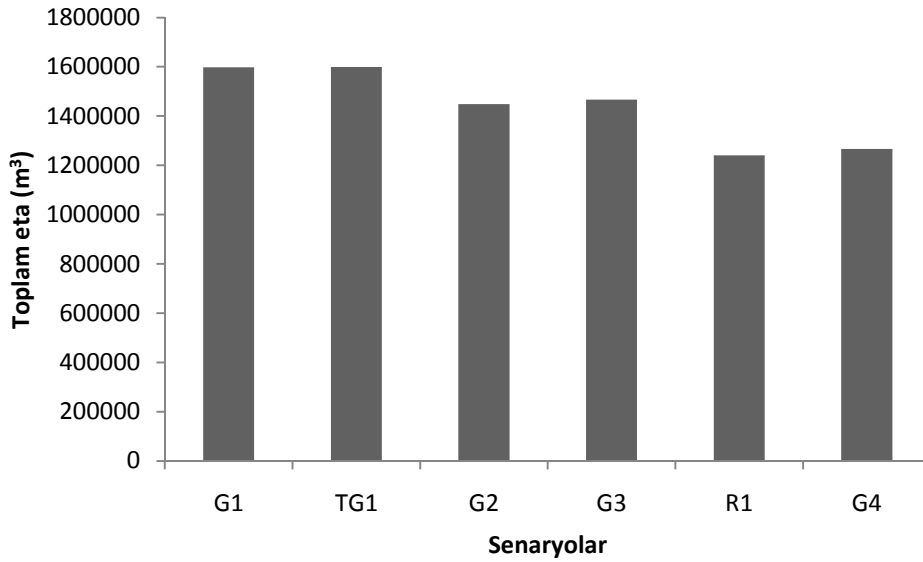


Şekil 89. G4 senaryosu çözümü esnasında toplam ceza (a) ve eta (b) değerinin değişimi

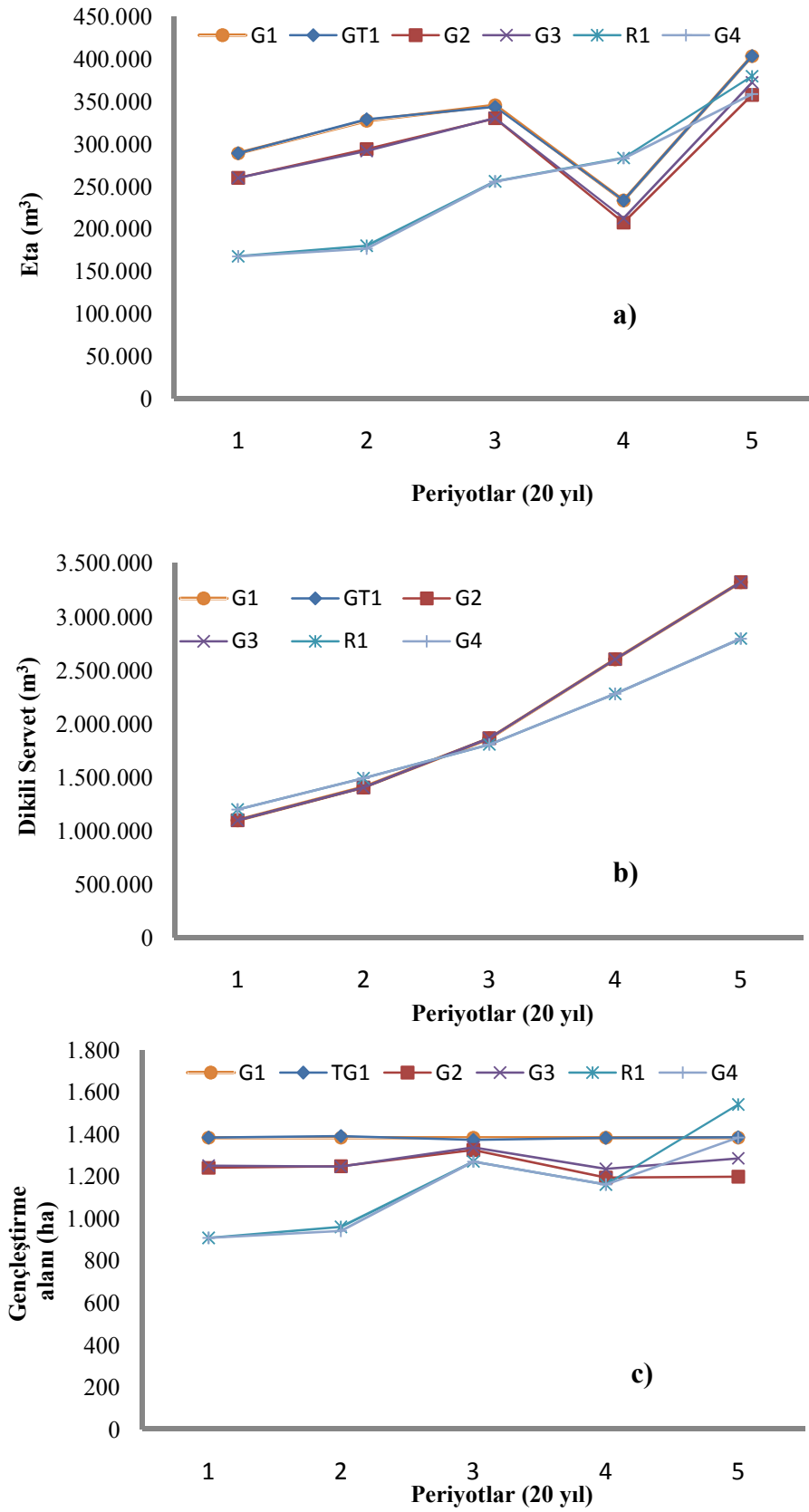


Şekil 90. G4 senaryosu sonucu oluşan kesim düzeni haritası

Uğurlu planlama biriminde uygulanan konumsal planlama senaryoları birlikte değerlendirildiğinde; toplam eta bakımından en iyi sonucunun G1, en kötü sonucun ise R1 senaryosunda elde edildiği görülmüştür (Şekil 91). GT1 senaryo sonucunun başlangıç çözümü olarak alan G2 senaryosu daha az toplam eta üretmesine karşın, konumsal düzenleme itibariyle daha az açma ve blok cezasına sahip olduğu görülmektedir. Diğer bir plan çıktısı olan, periyodik eta seyri dikkate alındığında, R1 ve G4 enaryolarının diğerlerinden farklı olarak artan bir eta seyri çizdiği görülmektedir. (Şekil 92-a). Dikili servetin planlama yörüngesi boyunca değişimi miktarı, R1 ve G4 senaryolarında diğer senaryolara göre daha az olmaktadır (Şekil 92-b). Gençleştirme alanı miktarları dikkate alındığında, GT1 ve G1 seçeneğinde eşit olduğu, diğer senaryolarda ise dalgalı bir seyir izlediği görülmüştür (Şekil 92-c).



Şekil 91. Toplam eta miktarının senaryolara göre değişimi



Şekil 92. Eta (a), dikili servet (b) ve gençleştirme alanlarının planlama yörüngesi boyunca değişimi

3.3. Konumsal Simülasyon ve Kombine Optimizasyon Modellerinin Genel Değerlendirmesi

Bu çalışma kapsamında geliştirilen KKDS, simülasyon ve kombine optimizasyon tabanlı konumsal orman amenajmanı planlama modellerinden (sırasıyla ETÇAPKonSimülasyon ve ETÇAPKombine) oluşmaktadır. Her iki modele temel veri kaynağı olan konumsal parametreler ve parçalılık indeksleri ile hasılat ve büyüme modelleri eklenmek suretiyle KKDS'nin temel yapısı oluşturulmaktadır. Planlama modellerinin geliştirilmesinde Türkiye ormancılığı ve ekosistem tabanlı çok amaçlı planlama yaklaşımı esas alınmıştır. Ancak, modellerin yapıda olmasıyla modellerde yapılacak olası değişimler sayesinde benzer sahip bölgelerde de kullanılması söz konusu olabilecektir.

Geliştirilen konumsal planlama modellerinin en küçük analiz alan birimi bölmecik olarak belirlenmiştir. Model uygulama alanı planlama birimi şeklinde tasarlanmış olmasına rağmen daha geniş alanlar için (işletme müdürlüğü) orman amenajman planlarının yapılmasına da olanak sağlanmaktadır. Burada modellerin hızını sınırlandıran en önemli özellik, planlama biriminin büyüklüğünden ziyade toplam bölmecik sayısı, planlama süresi, periyot sayısı, silvikültürel müdahale rejimlerinin sayısı, yakınlık ve komşuluk mesafesi için belirlenen alternatif sayısı ile parça tanımında yer alan sınıf sayısıdır. Ayrıca konumsal modellerin her ikisinde de konumsal parametrelerin yer alması nedeniyle planlama problemine ilişkin matris büyüme ve çözüm zamanının da uzamasına neden olacaktır. Ancak kullanılan kodlama mekanizması ile günümüz bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler ile bu gibi ihtiyaçların karşılanması mümkündür.

Arayüzü tasarımı yapılan ve geliştirilen ETÇAPKonSimülasyon ve ETÇAPKombine modelleri aynı yaşlı ormanların planlanması esasına dayanmaktadır. Mevcut şekliyle değişik yaşlı seçme ve baltalık ormanların her iki modelle planlanabilmesi için bu orman formlarına ilişkin ilave özelliklerin tasarımının geliştirilip KKDS'ne yansıtılması gerekmektedir.

KKDS içerisinde yer alan her iki planlama modelinde planlama periyotlarının genişliği 5, 10 veya 20 yıllık olarak belirlenmiştir. Planlama yörüngesi süresi için herhangi bir zaman kısıtlaması yoktur, ancak kombine optimizasyon modelinde planlama yörüngesi en fazla idare süresi ile kısıtlanmıştır. Ancak çok uzun planlama yörüngesi kullanımı, beraberinde meşcere parametrelerinin gelecek yıllardaki tahmininde belirsizlikler meydana getirebilecektir. Çünkü kullanılan hasılat tabloları genellikle belirli bir üst sınıra (örneğin

180-200 yaş) kadar meşcere parametrelerini vermektedir. Yine bu durum meşcere parametreleri ile doğrudan bağlantılı olan plan çıktılarının (odun üretimi, göğüs yüzeyi, karbon birikimi gibi) tutarsız veya yanlış hesaplanmalarına neden olabilecektir. Ayrıca, kombine optimizasyon tekniği ile hazırlanan planlarda, her ne kadar uzun vadeli stratejik düzeyde planlar hazırlansa da, konumsal düzenleme için bazen bir idare süresi zamanın bile fazla olabileceği düşünülmelidir. Konumsal düzenlemeler içeren planlar genelde orta vadeli (taktiksel) planlar olduğundan, bu şekilde planlar daha etkili hazırlanmakta ve uygulanabilmektedir.

KKDS'nin en büyük avantajlarından birisi, karar vericilere ormanın dinamik yapısını kavramasına yardımcı olması ve tüm konumsal özellikleri içeren çok sayıda plan alternatifleri üretme imkanı sunmasıdır. Konumsal planlama modelleri ile birlikte, kullanıcılar farklı planlama problemlerine bağlı olarak arzu ettikleri sayıda alternatif planlama senaryoları üretebilmekte, biyofiziksel, ekonomik ve konumsal analizler yapabilmektedirler. Her bir senaryo sonucu oluşan plan çıktılarının (harita, tablo, grafik gibi) incelenmesi ve birbirleri ile kıyaslanması suretiyle orman dinamiği ve konumsal planlama kavranabilmekte ve dolayısıyla daha etkin ve uygulanabilir planlar hazırlanabilmektedir.

Konumsal planlama modelleri odun üretimi, su üretimi, toprak koruma, karbon birikimi ve oksijen üretimi fonksiyonları ile konumsal parametre (kesim bloğu ve açma alanı) ve parçalılık indekslerini içermektedirler. Bu modeller bünyesinde geliştirilen alternatif orman amenajmanı planlama senaryoları ile bu tür orman değerlerine ait çıktıların gelecek yıllardaki miktarlarını tahmin etmek ve birbirleri ile kıyaslamak mümkündür. ETÇAPKonSimülasyon modelinde, sadece odun üretimi amacına yönelik ekonomik veriler yer alırken, ETÇAPKombine modelinde yukarıda sayılan tüm orman fonksiyonları için analizler yapmak mümkündür. Ayrıca, her iki modelde konumsal parametre ve parçalılık indeksleri planlama yörüngesi boyunca izlenmekte ve gerektiğinde harita üzerine aktarılmak suretiyle incelenmektedir.

Orman amenajman planlarının çok amaçlı düzenlenmesine yönelik geliştirilen KKDS aynı zamanda konumsal özellikleri planlamaya yansıtılma özelliğine sahip olmalıdır. Hazırlanan konumsal planlama modeli, bölmecik bazında tüm orman fonksiyonu değerlerini ve meşcere parametrelerini planlama yörüngesi boyunca kullanıcıya izleme imkanı vermektedir. Bu değerler ile birlikte kesim alanları ve diğer konumsal parametreler konumsal veri tabanı sayesinde harita formatında sunulmaktadır. Örneğin, kesim blokları

yada açma alanı verileri istenildiği periyotta yada planlama yörüngesi boyunca bölmecik ID verisi kullanılarak harita ortamına aktarılmaktadır. Ayrıca, meşcere parametreleri (yaş, göğüs yüzeyi, servet, artım gibi) ve parçalılık indeksleri de (parça veya sınıf bazında) bölmecik ID verisi kullanılmak suretiyle harita ortamında analiz edilmekte ve diğer planlama senaryoları ile karşılaştırılabilmektedir.

KKDS'nin kullanılabilmesi için orta düzeyde özelliklere sahip herhangi bir kişisel bilgisayar yeterli olabilmektedir. Bu çalışmada kullanılan aktüel orman verileri CBS yardımıyla oluşturulmuş ve bu kapsamda ArcGIS 9.3 ve ArcView 3.2 yazılımı kullanılmıştır. KKDS'nin kullanılması için gerekli olan tablo formundaki öznitelik veriler ve diğer bilgiler Sivrikaya (2008) tarafından geliştirilen klasik planlama modelinden elde edilmiştir. Bu plan Access ortamında hazırlanmıştır. Bu tez kapsamında geliştirilen konumsal planlama modellerinin kullanılabilmesi sadece bu yazılıma bağlı değildir. İhtiyaç duyulan veriler herhangi bir veri tabanı veya CBS yazılımı ile üretilip konumsal planlama modellerine yansıtılabilir. Burada dikkat edilecek husus, verilerin uygun formatta hazırlanması zorunluluğudur. Ayrıca, konumsal planlama için gerekli olan bölmecikler arası yakınlık mesafesi ile kesim blokları arasındaki komşuluk bilgilerinin elde edilmesi için komşuluk tablosu tasarımı yapılmış ve herhangi bir CBS yazılımı ile üretilmiş olması gerekmektedir. Bununla birlikte ETÇAPKombine modeli, optimizasyon sonuçlarını ya da rastgele bir planlama sonucunu başlangıç çözüm seti olarak kullanmaktadır. Bu nedenle, belirlenen hedef ve kısıtlar için en iyi çözüm setin ortaya koyan optimizasyon sonuçlarını elde etmek amacıyla bir matris çözücü programına (burada LINDO) ihtiyaç duyulmaktadır. Bu programda modelin çözülmesi amacıyla bir matris oluşturma arayüzü geliştirilmiştir. Bu arayüz ile istenilen amaç ve kısıtlara uygun matris kurulmakta ve LINDO yazılımı ile çözülmektedir. Bu çalışmada matrisler LINDO program yapısına uygun oluşturulduğundan ETÇAPKombine modelinin çalışması için bu programa ihtiyaç duyulmaktadır. Fakat, kullanıcı herhangi bir matris çözücü programını da kullanabilmekte ve çözüm sonuçlarını üretebilmektedir. Elde edilen sonuçlar ETÇAPKombine modeli tarafından başlangıç çözümü olarak kabul edilebilmektedir.

Konumsal planlama modelleri kullanarak ekosistem tabanlı çok amaçlı bir orman amenajman planlamasının gerçekleştirilebilmesi için bölmecik tablosu, hasılat tablosu, silvikültürel müdahale rejimleri gibi tablo formunda öznitelik veriler ile konumsal parametre bilgileri, komşuluk tabloları, parça tanımları ve parçalılık indeksleri gibi bir dizi konumsal veri ve bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır. Amenajman planları için gerekli

verilerin programa yanlış veya eksik girilmesi durumunda sonuçlar da bu paralelde hatalı olacaktır. Bu bağlamda, veri girişi yapılırken bir takım verilerin program tarafından, ayrıca doğruluk kontrolleri yapılmaktadır. Programa veri girişi yapılırken veya dışarıdan veri alınırken verilerin istenilen formatlarda olması için veri standardı ve veri tablosu desenleri geliştirilmiş olup dışarıdan veri alabilmek amacıyla kod yönetimi arayüzü tasarlanmıştır.

Bütün bu özellikler dikkate alınarak geliştirilen KKDS, ülkemizde teknik ormancılık uygulamaları, bilimsel çalışmalar ve eğitimde kullanılmak için tasarlandığı için yazım arayüz dili olarak Türkçe kullanılmıştır. KKDS ve bu çalışma kapsamında geliştirilen konumsal planlama modellerinin arayüzleri oldukça anlaşılabilir, kullanımı kolay ve kullanıcı dostudur. Özellikle simülasyon ve kombine optimizasyon tabanlı konumsal planlama teknikleri üzerine yapılacak birkaç haftalık eğitimle birlikte, temel ormancılık eğitimini almış kişiler tarafından etkin şekilde kullanılabilirler. Ancak, hazırlanan modelleri kullanacak kişilerin orman amenajmanı planlama süreci, CBS, Konumsal planlama ve yöneylem araştırması teknikleri hakkında bilgi sahibi olması KKDS öğrenilme sürecini kısaltacak ve daha çok verim almasını sağlayacaktır. Aynı zamanda, KKDS'nin kullanıcılar tarafından daha kısa zamanda ve daha az emek harcayarak öğrenmelerine yardımcı olmak amacıyla terimler sözlüğü ve örnek çalışma dosyaları hazırlanmıştır. Bu kapsamda hazırlanan örnek çalışma veri tabanları ve örnek çözümleri model ile birlikte kullanıcılara sunulmaktadır.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ülkemizde ve dünyadaki gelişmelere paralel olarak sürekli değişen ve bir birleriyle çelişen toplumun orman ekosisteminden arzuladığı ürün ve hizmet beklentilerini en iyi şekilde karşılamamanın yolu, orman ekosisteminin mevcut yapısına en az düzeyde zarar verecek ve uzun vadede sürdürülebilirliğini sağlayacak uygulanabilir bir konumsal planlamanın varlığından geçmektedir. Orman ekosisteminin uzun vadede bütünlüğünün ve sağlığının korunacağı, kısa vadede ise konumsal özelliklerinin planlamaya yansıtılabileceği sürdürülebilir bir planlama için etkin bir planlama tasarımına ve bunu da gerçekleştirecek bir planlama yaklaşımına ve modellerine ihtiyaç vardır. Ülkemizde, geleneksel olarak hazırlanan ve halen yürürlükte olan orman amenajman planlarında faydalanma teknikleri olarak kullanılan tek periyotla sınırlı ve basite indirgenmiş formüller yaklaşım, her ne kadar orman fonksiyonlarını bir ölçüde planlamaya dahil edilebilse de, çağdaş ormancılık kapsamında değerlendirildiği zaman etkisini kaybetmiştir. Buna karşın, özellikle son yirmi yıllık dönem içerisinde ormancılık faaliyetlerinin planlanmasında artık Dünya’da simülasyon ve optimizasyon gibi bilimsel karar verme yahut modelleme teknikleri ile son 15 yıllık dönemde ise kombine optimizasyon teknikleri kullanılmaya başlanmıştır. Bu gelişmenin belki de en önemli nedeni, doğal kaynakların planlanmasında odun ve odun dışı ürünler üretiminin yanı sıra; yaban hayatı, su kalitesi, toprak koruma, rekreasyon ve biyolojik çeşitlilik gibi ekolojik, ekonomik ve sosyo-kültürel amaçların sıkça dile getirilmesi ve bunların konumsal olarak değişiminin ön plana çıkmasıdır.

Bu araştırma kapsamında ETÇAP planlama felsefesine dayalı bir konumsal karar destek sistemi geliştirilmiştir. Bu KKDS öncelikle, CBS yardımı ile üretilen/türetilen büyük hacimli konumsal verileri (grafik-harita ve öznitelik) işleyebilme ve değerlendirme özelliğine sahiptir. Planlama için gerekli diğer veriler (hasılat tabloları, stratejiler, planlama parametreleri, ürün çeşitleri tabloları vs) yine belirlenen formatta modele veri girdisi olarak dahil edilmiştir. Modüler yapıda tasarlanmış ve nesne tabanlı yazılım dili (Delphi) kullanılarak geliştirilen KKDS her türlü güncelleme ve eklemelere açıktır. Simülasyon ve kombine optimizasyon tekniklerinden yararlanılarak hazırlanan KKDS, simülasyon tabanlı konumsal planlama (ETÇAPKonSimülasyon) ve kombine optimizasyon tabanlı konumsal planlama (ETÇAPKombine) modüllerinden oluşmaktadır. Her iki modülde orman ekosistemlerinin uzun vadede orman dinamiği meşcere (bölmeçik) bazında hesaplanmakta,

konumsal özellikler parça/sınıf/arazi bazında izlenmekte ve plan çıktıları harita, tablo ve grafik olarak sunulmaktadır. KDS'nin en önemli bileşeni olan, meşcere parametrelerinin uzun vadeli kestirimini yapan hasılat ve büyüme alt modeli (GYOBEM), meşcerelere uygulanan silvikültürel müdahaleler kapsamında, meşcerelerin büyüme yapısı ve şekli, aktüel meşcere verilerinin optimal meşcere verileri ile ikili karşılaştırılması ve göğüs yüzeyi ters oranı değerinin kullanılması esasına dayanarak geliştirilmiştir. Gençleştirmeye alınmış bölmeciklerin büyümesi ise, ilgili ağaç türü için yetiştirme ortamı özelliklerine göre (bonitet) daha önce geliştirilen ampirik hasılat tablosuna göre gerçekleşmektedir. Hazırlanan KKDS, odun üretiminin yanı sıra, diğer orman fonksiyonlarının sunduğu hizmet ve değerleri ile birlikte orman ekosistemindeki konumsal özelliklerin değişimini ve belirlenen parça tanımlarına göre parçalılık indeks değerlerini de içermektedir. Kolay kullanımını sağlamak amacıyla bir arayüz programı ile desteklenen KKDS, planlama yörüngesi boyunca sonuçları ve çıktıları sunup-sunmadığının kontrolünü yapmak amacıyla hipotetik ve gerçek bir planlama biriminde uygulaması gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışması kapsamında tasarımı ve yazılımı gerçekleştirilen KKDS, orman ekosistemlerinden CBS ile elde edilen sayısallaştırılmış konumsal verileri ve konumsal parametrelerini baz alarak, simülasyon ve kombine optimizasyon teknikleri yardımıyla karar vericilere stratejik ve taktiksel düzeyde seçenekler sunmakta ve uygulanabilir konumsal plan yapma imkanı vermektedir. Böylece stratejik planlama ile taktiksel planlama arasında uyum sağlanarak hiyerarşik planlama sürecine geçiş kolaylaşmış, operasyonel planlama için periyodik olarak konumsal altlıklar hazırlanmıştır.

Hazırlanan KKDS; eğitim, araştırma ve uygulamalarda kullanılabilir, sonuç olarak bilime ve uygulamaya aşağıda sıralanan birçok katkıları sunabilecektir.

- Planlamaya geniş ölçüde bir sistem anlayışı ile yaklaşmakta ve hiyerarşik planlama sistemi benimsenmektedir. Uzun vadeli stratejik planlama ile kaynak değerlerin sürdürülebilirliği sağlanmakta, orta vadeli taktiksel planlama özelliği ile de donanımsal düzenlemelerin kontrol edilebildiği daha uygulanabilir planlar hazırlanabilmektedir.
- CBS ve UA gibi çağdaş bilgi sistemlerinden yüksek düzeyde yararlanılabilmektedir ve CBS destekli alan envanteri ve konumsal düzenleme yeterli düzeyde temsil edilmektedir,
- Çok sayıda planlama seçeneklerini geniş bir yelpazede daha etkili bir şekilde değerlendirme imkanı sunmakta, harita ve grafik formatındaki görsel plan

çıktıları ile de hazırlanan planların ilgili paydaşlara sunumu (aktarımı) kolaylaşacaktır.

- Orman dinamiğinin konumsal ve zamansal değişimi daha iyi kavranabilecek ve böylelikle karar vericilerin daha isabetli kararlar alması ve uygulanabilir planlar hazırlaması sağlanacaktır.
- Ekonomik analiz ve yorumlar planlamaya dahil edileceğinden, planlar daha gerçekçi hazırlanabilecek ve işletme plan niteliği kazanabilecektir.
- Geliştirilen KKDS ile birlikte plan yapıcıları planlama, silvikültür, ekoloji ve ekonomi gibi konularda kazanmış oldukları bilgilerini aynı anda kullanabilmeleri, konumsal özellikleri planlamaya yansıtabilmeleri ve bunlar arasındaki mübadeleleri veya dinamik ilişkileri (etkileşimleri) değerlendirme fırsatı yakalayabileceklerdir.
- Hazırlanan KKDS ile birlikte gençleştirme alanlarının birbirlerine göre olan konumsal dağılımı ve gençleştirme alanları dışındaki ormanlık ve diğer alanların konumsal dağılımı dikkate alınmaktadır.
- Hazırlanan planlarda her bir meşcere (bölmecek) sadece bir kesim periyodunda gençleştirme müdahalesine tabi tutulabilecek, kesim bloklarının ve açma alanlarının büyüklüğü yanında, şekli ve coğrafi dağılımı ile birlikte tanımlanabilen her orman parçasının (bölmecek, doğal yaşlı orman, yaş sınıfı, yaban hayatı yaşam alanı-habitat vb) konumsal özellikleri ve parçalılık indeks değerleri (ortalama parça büyüklüğü, parça sayısı, parça yoğunluğu gibi) planlamada temsil edilecektir. Bu konumsal özellikler, planlama sisteminin daha iyi kavranmasını ve bölmecek bazında uygulanabilir planların üretilmesini sağlayacaktır.
- Konumsal planlama yapımında, kombine optimizasyon tekniklerinin kullanılması ile birlikte, modelde esnek bir yapı oluşturulduğu ve dolayısıyla kullanıcıya ihtiyaçlar doğrultusunda modeli değiştirebilme fırsatı verildiği için, ekosistem tabanlı konumsal orman problemlerinin çözümünde geniş fırsatlar sunulmaktadır. Örneğin, kesim bloklarının büyüklüğü, açma alanı büyüklüğü, erteleme süresi, parça büyüklükleri ve konumsal dağılımlarının kontrolü kolaylıkla sağlanabilmektedir. Ayrıca, ekosistem tabanlı çok amaçlı planlama felsefesine uygun doğal yaşlı ormanlar, yaban hayvanları kışlık alanları, kritik ekosistemler gibi hassas alanların konumsal düzenlemeleri planlama modeline

yansıtılabilmekte ve böylece bölmecik bazında özel müdahaleler yapma imkanı sağlanmaktadır.

- Hazırlanan planlar, ekosistem tabanlı planlamanın gereği olan farklı orman fonksiyon ve yapısının sürdürülebilirliğini dikkate alacak detayda konumsal özellikleri içermektedir. Örneğin, yangına hassas bir orman ekosisteminde, parçalı bir orman yapısı oluşturmayı ve parça büyüklüğünü kontrol etmeyi (belli değerler arasında tutmayı) ya da yaban hayatı için koridor oluşturmayı veya önemli bir ekosistemde 100 ha orman alanında en az 10 ha orman içi açıklık yada doğal yaşlı orman oluşturmayı sağlayacak bir konumsal düzenleme yapılabilecektir.
- Hazırlanan KKDS, ülkemiz ormancılık sektöründe, araştırma ve özellikle eğitimin planlamaya yönelik kalitesini yükseltmek ve bütünlük sağlamak amacıyla, ormancılık araştırma-eğitiminde kullanılabilir.

Yukarıda sıralanan katkıları göz önüne alındığında, uygulanabilir bir orman amenajman planını kısa zaman ve az emek ile hazırlanabilmesi için KKDS'leri geliştirilerek uygulamada kullanılması gerektiği anlaşılmaktadır. Ancak, bu KKDS'lerin ülkemizde etkin bir şekilde kullanılabilmesi ve geliştirilmesi için bazı gereksinimlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ihtiyaçlar öneri şeklinde düzenlenmiştir;

- Orman ekosistemlerinin konumsal olarak planlanması amacıyla olası tüm konumsal parametreler ve parçalılık indeksleri farklı bilim dalları tarafından (orman amenajmanı, orman ekolojisi, silvikültür, orman ekonomisi gibi) disiplinler arası çalışmalar ile ortaya konulmalıdır.
- Orman ekosistemlerinin sunmuş olduğu su üretimi, toprak koruma, karbon depolama, oksijen üretimi, rekreasyon, biyolojik çeşitlilik gibi tüm fayda ve değerler sayısal parametrelerle birlikte ortaya konulmalı ve bu fonksiyonları etkileyen konumsal özellikler ve parametreler belirlenmelidir.
- Uzun vadeli stratejik planların yapılabilmesi için, müdahale görmüş meşcerelerin uygulanan müdahaleden sonra nasıl bir büyüme seyri göstereceği kestirebilmesi gerekmektedir. Uygulamada kullanılan hasılat matrisleri, sadece belirlendikleri zamanda normal sıklıktaki meşcerelerin yapısını göstermektedir. Bu hasılat tabloları, farklı yapı ve kuruluştaki müdahale görmüş meşcerelerin dinamik yapısını tam olarak yansıtamadığından, eksik kararların alınmasına da neden olabilmektedir. Bu nedenle, müdahale görmüş meşcerelerin büyüme seyrini

belirlemek amacıyla devamlı deneme alanlarına dayandırılmış, farklı yetiştirme ortamları için, ağaç türü veya ağaç türü kombinasyonlarına göre, doğal ya da plantasyonla oluşturulmuş her meşcere tipi için hasılat ve büyüme modelleri geliştirilmelidir.

- Hem CBS hem de simülasyon ve kombine optimizasyon tekniklerinin farklı problemlerin çözümünde kullanımı nedeniyle elde edilen sonuçların analiz ve yorumuna ilişkin gerekli eğitim planlayıcı ve kullanıcılara sağlanmalıdır. Konu ile ilgili eğitim, kurum içi planlama uzmanları ile birlikte CBS ve kombine optimizasyon teknikleri konusunda uzman araştırmacılar veya üniversiteler tarafından sağlanmalıdır. KKDS'lerinin kullanıcı kitlesi tarafından daha iyi anlaşılabilmesi ve yaygınlaştırılması için gerekli eğitimler ve seminerler verilmelidir.
- Bilişim teknolojilerindeki gelişmelere paralel olarak son on yıllık süreçte, özellikle ormancılığı geliştirmiş ülkelerde (Finlandiya, Kanada, İsveç gibi) konumsal planlama yapılmasına yardımcı olacak KKDS'leri geliştirilmiştir. Hazırlanan bu çalışmalara benzer şekilde ülkemizde de, ülkemiz ormancılık koşullarına uygun şekilde geliştirilmiş bir KKDS'nin konumsal orman amenajman planları yapımında kullanılması gerektiği görülmektedir. Bu KKDS'lerinin farklı orman ekosistemlerinde test edilerek uygulamaya aktarılması ve yaygınlaştırılması seçeneği artık göz ardı edilmemelidir.
- ETÇAP felsefesine uygun olarak, farklı orman fonksiyonlarının konumsal planlamada temsil edilebilmesi için gerekli konumsal özelliklerin belirlenerek planlama modeline yansıtılması gerekmektedir. Örneğin, su üretimi için meşcerelerin önemli akarsu, göl veya nehir yataklarına olan yakınlıkları tespit edilmelidir. Bu şekilde, her bir bölme için su üretime olan katkısı, konumsal özellikleri de dikkate alınarak tespit edilebilecektir. Başka bir önemli orman fonksiyonu olan, yürüyüş yollarına belirli mesafedeki estetik değeri yüksek meşcerelerin (ibrelili-yapraklı karışık meşcereler) belirlenerek, planlamaya yansıtılmalıdır.
- Konumsal planlamada, farklı planlama tekniklerinin (genetik algoritma, tabu arama, hücresel otomasyon gibi) planlamadaki etkinliğini görmek ve plan başarısını karşılaştırmak için bu tekniklerin konumsal planlama modeline

yansıtılması gerekmektedir. Bu aşamada, KKDS'nin modüler yapıda olması yeni tekniklerin kolaylıkla eklenebilmesine altlık sağlayacaktır.

- Orman ekosistemlerinin her türlü müdahalelere açık bir sistem olması nedeniyle, yangın, böcek zararı gibi hazırlanan planları büyük oranda etkileyen olayların çıkma sıklığının ve etki alanının belirlenmesi ile, bunların stokastik olarak hazırlanan planlara entegre edilmesi gerekmektedir.
- Doğal yolla veya insan etkisi ile meydana gelen müdahalelerin tekrarlama sıklığı ve etki alanı büyüklükleri belirlenmesi ile bu değerlerin gençleştirme alanı büyüklüğü ve idare süresi belirlemede dikkate alınması gerekmektedir.
- Karışık meşcereler için büyüme modeli geliştirilmesinde nasıl bir pratik yol izleneceği yapılacak çalışmalar ile ortaya konulmalıdır.
- Seçme ve baltalık ormanlarının planlanmasında nasıl bir yol/yöntem ya da yaklaşım tarzının belirlenmesi gerektiği yapılacak çalışmalar ile belirlenmelidir.

5. KAYNAKLAR

- Andison, D. W. and P. L. Marshall, 1999. Simulating The Impact of Landscape-Level Biodiversity Guidelines: A Case Study. *The Forestry Chronicle*. 75, 4, 655-665.
- Anonim, 2007. Erzurum Orman Bölge Müdürlüğü, Göle Orman İşletme Müdürlüğü, Uğurlu Orman İşletme Şefliği, Ekosistem Tabanlı Çok Amaçlı Orman Amenajman Planı.
- Arifoğlu, A. ve Doğru, A., 2001. Yazılım Mühendisliği, Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- Bertomeu, M. ve Romero, C., 2001. Managing Forest Biodiversity: A Zero – One Goal Programming Approach, *Agricultural Systems*, 68, 197 – 213.
- Başkent, E.Z., 1995. Doğaya Uygun Orman Amenajmanı, I.Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, Ekim, Trabzon, Bildiriler Kitabı, 4, 276-283.
- Başkent, E.Z., 1995. Türkiye Ormancılığı için Nasıl Bir Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) Kurulmalıdır? Ön Çalışma ve Kavramsal Yaklaşım, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 21,5, 493-505.
- Başkent, E.Z., 1996. 21. Yüzyıl Ormancılığına Yeni Bir Yaklaşım: Sayısal Ormancılık, KTÜ Orman Fakültesi Güz Yarıyılı Seminerleri, Seminer Serisi, 1, 77-84.
- Baskent, E. Z., 1999. Controlling Spatial Structure of Forested Landscapes: A Case Study Towards Landscape Management. *Landscape Ecology*. 14, 83-97.
- Başkent, E. Z., 1999. Türk-Alman Projesiyle gündeme gelen “Amenajmanda Yeni Modelin” Çağdaş Orman Amenajmanı Yaklaşımı Doğrultusunda Değerlendirilmesi, 2. Bölüm, *Orman Mühendisleri Dergisi*, 36, 2, 21-32.
- Başkent, E. Z., 1999. Ekosistem Amenajmanı ve Biyolojik Çeşitlilik, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 23, 2, 355–363.
- Baskent, E. Z., 2001. Combinatorial Optimization in Forest Ecosystem Management Modeling, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 25, 187-194.
- Başkent, E.Z., 2004. Yöneylem Araştırması Modelleme ve Doğal Kaynak Uygulamaları, KTÜ Orman Mühendisliği Bölümü, Trabzon.
- Başkent, E.Z. ve Jordan, G.A. 1991. Spatial Wood Supply Simulation Modelling. *The Forestry Chronicle*, 67, 6, 610-621 p.
- Baskent, E.Z. ve Jordan, G.A., 1995. Characterizing Spatial Structure of Forest Landscapes. *Canadian Journal of Forest Research*, 25, 1830-1849.

- Başkent, E.Z. ve Jordan, G.A., 2002. Forest Landscape (Ecosystems) Management with Simulated Annealing, Forest Ecology and Management, 165, 1-3, 29-45.
- Baskent, E. Z, Jordan, G.A. ve Nurullah, A.M.M., 2000. Designing Forest Landscape (Ecosystems) Management. The Forestry Chronicle, 76, 5, 739-742.
- Başkent, E.Z. ve Keleş, S., 2004. Ormancılıkta Model ve Modelleme Kavramlarının Kullanımı ve Genel Değerlendirmesi (1. Bölüm), Orman Mühendisliği Dergisi, 2004, Y 41, 1-2-3, 19-24.
- Başkent, E.Z. ve Keles, S., 2005. Spatial Forest Planning: A Review, Ecological Modelling, 188, 145-173.
- Başkent, E. Z., Keleş, S., Sivrikaya, F. ve Karahalil, U., 2005. Sürdürülebilir Orman İşletmeciliği ve Planlaması İçin Karar Destek Sistemlerinin Geliştirilmesi, I. Çevre ve Ormancılık Şurası, Mart, Antalya.
- Başkent, E. Z., Köse, S., Yolasığmaz, H.A., Çakır, G. ve Keleş, S., 2002. Orman Amenajmanında Yeni Açılımlar Çerçevesinde Planlama Sürecinin Tasarımı Ve Yeniden Yapılanma. Orman Amenajmanında Kavramsal Açılımlar Ve Yeni Hedefler Sempozyumu, Nisan, Bahçeköy, İstanbul, Bildiriler Kitabı, 23-38.
- Başkent, E. Z., Yolasığmaz, H.A. ve Mısır, M., 2001. Orman Ekosistem Amenajmanı, 1. Ulusal Ormancılık Kongresi, Türkiye Ormancılar Derneği Yayını, No, 1, 60-74.
- Başkent, E. Z., Yolasığmaz, H. A., Mısır, M. ve Çakır, G., 2002. Kombine Optimizasyon Teknikleri ve Ekosistem Amenajmanı, Orman Amenajmanında Kavramsal Açılımlar ve Yeni Hedefler Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, İÜ Orman Fakültesi Yayınları, İstanbul, 77-88.
- Batten, Jr., W. H., Bettinger, P. ve Zhu, J., 2005. The Effects of Spatial Harvest Scheduling Constraints On The Value of A Medium-Sized Forest Holding in The Southeastern United States. Southern Journal of Applied Forestry, 29, 4, 185-193.
- 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, 111-123.
- Bettinger, P., Johnson, K. N., ve Sessions, J., 1998. Evaluating The Association Among Alternative Measures of Cumulative Watershed Effects On A Forested Watershed in Eastern Oregon, Western Journal of Applied Forestry, 13, 1, 15-22.
- 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, 215-236.
- Bettinger, P., M. Lennette, Johnson, K. N. ve Spies, T. A. 2005. A Hierarchical Spatial Framework for Forest Landscape Planning, Ecological Modelling, 182, 1, 25-48.
- Bettinger, P. ve Johnson, K. N. 2003. Spatial Scheduling of Forest Management Activities Using a Dynamic Deterministic Harvest Block Aggregation Process, Journal of Forest Planning, 9, 1, 25-34.
- Bettinger, P., Lennette, M., Johnson, K. N. ve Spies, T. A. 2005. A Hierarchical Spatial Framework for Forest Landscape Planning, Ecological Modelling, 182, 1, 25-48.
- Bingöl, Ö., 2009. Orman Ekosisteminin Modellenmesi ve Model Üzerinde Sezgisel Yöntemler Kullanarak Silvikültürel Müdahale Alternatiflerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Borges, J. G., Oliveira, A. C., ve Costa, M. A., 1997. A Quantitative Approach to Cork Oak Forest Management, Forest Ecology and Management, 97, 3, 223-229.
- Borges, J. G., Hoganson, H. M. ve Rose, D. W., 1999. Combining a Decomposition Strategy with Dynamic Programming to Solve Spatially Constrained Forest Management Scheduling Problems, Forest Science, 45, 2, 201-212.
- Borges, J. G. ve Hoganson, H. M., 2000. Structuring a Landscape by Forestland Classification and Harvest Scheduling Spatial Constraints, Forest Ecology and Management, 139, 269-275.
- 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, 1764-1774.
- Boston, K. ve Bettinger, P., 1998. An Analysis of MCIP, Simulated Annealing and Taboo Search Heuristics for Solving Spatial Harvest Scheduling Problems, Forest Science, 45, 292-301.
- Boston, K. ve Bettinger, P., 2001a. Development of Spatially Feasible Forest Plans: a Comparison of Two Modeling Approaches. Silva Fennica. 35, 4, 425-435.
- Boston, K. ve Bettinger, P., 2001b. 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., 2002. Combining Tabu Search and Genetic Algorithm Heuristic Techniques to Solve Spatial Harvest Scheduling Problems, Forest Science, 48, 1, 35-46.
- 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.

- 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.
- Caro, F., Constantino, M., Martins, I. ve Weintraub, A., 2003. A 2-opt Tabu Search Procedures for The Multiperiod Forest Harvesting Problem with Adjacency, Green-Up, Old Growth, and Even Flow Constraints, Forest Science, 49, 5, 738-751.
- Chen, V. B. W. ve Gardow, K. V., 2002. Timber Harvest Planning With Spatial Objectives, Using The Method of Simulated Annealing. Forstwissenschaftliches Centralblatt 121, 25-34.
- Chong, S. K. ve Beck, J. A. JR., 1991. The Effect of Land Classification and Stratification on Derivation of Timber Supply and Allowable Cut in Harvest Scheduling. Canadian Journal of Forest Research, 21, 1334-1342.
- Church, R. L., Murray, A. T. ve Weintraub, A., 1998. Locational Issues in Forest Management. Location Science, 6, 137-153.
- Cieszewski, C. J., Zasada, M., Borders, B. E., Lowe, R. C., Zawadzki, J., Clutter, M. L. ve Daniels, R. F., 2004. Spatially Explicit Sustainability Analysis of Long-Term Fiber Supply in Georgia, USA, Forest Ecology and Management. 187, 2-3, 345-359.
- Coşkun A., 2007. Yapay Zeka Optimizasyon Teknikleri: Literatür Değerlendirmesi, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları.
- Crowe, K. A. ve Nelson, J. D., 2005. An Evaluation of The Simulated Annealing Algorithm for Solving The Area-Restricted Harvest-Scheduling Model Against Optimal Benchmarks, Canadian Journal of Forest Research, 35, 10, 2500-2509.
- Dahlin, B. ve Sallnas, O. 1993. Harvest Scheduling Under Adjacency Constraints - a Case-Study from The Swedish Sub-Alpine Region, Scandinavian Journal of Forest Research, 8, 2, 281-290.
- Daust, D. K. ve Nelson, J. D., 1993. Spatial Reduction Factors for Strata-Based Harvest Schedules, Forest Science, 39, 1, 152-165.
- Diaz-Balteiro, L. ve Romero, C., 2003. Forest Management Optimisation Models When Carbon Captured is Considered: A Goal Programming Approach, Forest Ecology and Management, 174, 447 – 457.
- Eraslan, İ., 1982. Orman Amenajmanı. 4. baskı. İ.Ü. Orman Fakültesi, Yayın No: 318.
- Gassmann, H. I., 1989. Optimal Harvest of A Forest in The Presence of Uncertainty, Canadian Journal of Forest Research, 19, 1267-1274.

- Greer, K. ve Meneghin, B., SPECTRUM, An Analytical Tool for Building Natural Resource Management Models, Ecosystem Management Analysis Center, USDA Forest Service, Research Paper, <http://ncrs.fs.fed.us/pubs/gtr/other/gtr-nc205/abstracts.htm/profiles/p53.pdf>, 20 Ocak 2009.
- Gunn, Eldon G., 1991. Some Aspects of Hierarchical Productin Planning in Forest Management. In Proceedings of The 1991 Symposium on Systems Analysis in Forest Resources, Mart, South Carolina USDA FS General Technical Report SE-74, 54-62.
- 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.
- 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. In: Mladenoff, D.J., Baker, W.L. (Eds.), Spatial Modeling of Forest Landscapes: Approaches and Applications. Cambridge University Press, UK, s.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., 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, U. A.,1990. Orman Amenajman Planlarının Bilgisayar Yardımıyla Hazırlanması, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Gülsün, B., Tuzkaya, G. ve Bildik E., 2008., Tersine Lojistikte Ağ Tasarımı: Bir Tavlama Benzetimi Yaklaşımı, Y.T.Ü. Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 26.
- Heinonen, T., Kurttila, M. ve Pukkala, T., 2007. Possibilities to Aggregate Raster Cells Through Spatial Optimization in Forest Planning, Silva Fennica, 41, 1, 89-103.

- Heinonen, T. ve Pukkala, T., 2007. The Use of Cellular Automaton Approach in Forest Planning, Canadian Journal of Forest Research, 37, 11, 2188-2200.
- Hof, J., Kent, B. ve Baltic, T. 1992. An İterative Multilevel Approach to Natural Resource Optimization: A Test Case, Natural Resource Modelling, 6, 1, 1-23.
- Hof, J. ve Joyce, L., 1992. Spatial Optimization for Wildlife and Timber in Managed Forest Ecosystems, Forest Science, 38, 3, 489-508.
- Hof, J. ve Joyce, L., 1993. A mixed-İnteger Linear Programming Approach for Spatially Optimizing Wildlife and Timber in Managed Forest Ecosystems, Forest Science, 39, 4, 816-834.
- Hof, J., Kent, B. ve Pickens, J., 1992. Chance Constraints and Chance Maximization With Random Yield Coefficients in Renewable Resource Optimization, Forest Science, 38, 2, 305-323.
- Hoganson, H. M. ve McDill, M. E., 1993. More on Forest Regulation: An LP Perspective, Forest Scienc, 39, 2, 321-347.
- Hoganson, H. M. ve Rose, D. W., 1984. A Simulation Approach for Optimal Timber Management Scheduling, Forest Science, 30, 220-238.
- Howard, A. F. ve Nelson, J. G., 1993. Area-based Harvest Scheduling and Allocation of Forest Land Using Methods for Multiple-Criteria Decision Making, Canadian Journal of Forest Research, 23, 151-158.
- Jamnıck, M. S. ve Walters, K. R., 1993. Spatial and Temporal Allocation of Stratum-Based Harvest Schedules, Canadian Journal of Forest Research, 23, 402-413.
- Jamnıck, M. S. 1990. A Comparison of FORMAN and Linear Programming Approaches to Timber Harvest Scheduling, Canadian Journal of Forest Research, 20, 1351-1360.
- Jordan, G. A. ve Baskent, E. Z., 1992. A Case Study in Spatial Wood Supply Analysis, The Forestry Chronicle, 68, 503-516.
- Jordan, G. A. ve Erdle, T.A, 1989. Forest Management and GIS: What Have We Learned in New Brunswick? The Canadian Institute of Surv. and Map, Journal, 43, 3, 287-295 p.
- Kangas, J., Leskinen, P., ve Pukkala, T., 2000. Integrating Timber Price Scenario Modeling with Tactical Management Planning of Private Forestry at Forest Holding Level, Silva Fennica, 34, 4, 399-409.
- Karahalıl, U., 2003. Toprak Koruma ve Odun Üretimi Fonksiyonlarının Doğrusal Programlama ile Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

- Keleş, S., Kadioğulları, A.İ. ve Başkent, E.Z., 2005. Tamsayılı programlama Tekniği ile Ormanların Çok Amaçlı Planlanması, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 21, 1-2, 223-234.
- Keleş, S., ve Başkent, E.Z., 2006. Orman Ekosistemlerindeki Karbon Değişiminin Orman Amenajman Planlarına Yansıtılması: Kavramsal Çerçeve ve Bir Örnek Uygulama (1. Bölüm), Orman ve Av Dergisi, 83, 2, 36-41.
- Keleş, S., 2003. Ormanların Su ve Odun Üretimi Fonksiyonlarının Doğrusal Programlama Tekniği ile Optimizasyonu (Karanlıkdere Planlama Birimi Örneği), KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Keleş, S., 2008. Orman Amenajman Planlarının Hazırlanmasına Yönelik Karar Destek Sisteminin Tasarımı ve Prototip Modelinin Geliştirilmesi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Kirkpatrick, S., 1984. Optimization by Simulated Annealing. Quantitative Studies, Journal of Statistical Physics, 34, 975-986.
- Konukçu, M., 2001. Ormanlar ve Ormancılığımız, Devlet Planlama Teşkilatı Yayını, No:2630, Ankara.
- Köse, S. ve Başkent, E.Z. 1993. Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Ormancılığımızdaki Önemi. Orman Bakanlığı , 1. Ormancılık Şurası 1-5 Kasım 1993, OGM, Ankara, s:195-204.
- Köse, S. ve Başkent, E.Z., 2003. Orman Amenajmanı Planlama Sürecinin Teknik, Mevzuat ve Organizasyon Açısından Değerlendirilmesi ve Yeniden Yapılandırılması, Orman Mühendisliği Dergisi, 40, 9-10, 9-20.
- Köse, S., 1986. Orman İşletmelerinin Planlanmasında Yöneylem Araştırması Yöntemlerinden Yararlanma Olanakları, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Köseoğlu, K., 2004. Programcılık Mantığı. Pusula Yayıncılık, İstanbul.
- Krcmar, E., Stennes, B., Van Kooten, G. C. ve Vertinsky, I., 2001. Carbon Sequestration and Land Management Under Uncertainty, European Journal of Operational Research, 135, 3, 616-629.
- 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.
- Lee, Y.C., ve Zhang, G.Y., 1989. Developments of Geographic Information Systems Technology. Jour. of Surveying Eng., 115, 3, 304-323.
- Li, H., Franklin, J. F., Swanson, F. J. ve Spies, T. A., 1993. Developing Alternative Forest Cutting Patterns: A Simulaton Approach, Landscape Ecology, 8, 1, 63-75.

- Lockwood, C. ve Moore, T., 1993. Harvest Scheduling with Spatial Constraints: A Simulated Annealing Approach, Canadian Journal of Forest Research, 23, 468-478.
- Longley, P.A., Goodchild, M.F., Maguire, D.J ve Rhind D.W., 2001. Geographic Information Systems and Science, Bath Press, London.
- Malchow-Moller, N., Strange, N. ve Thorsen, B. J., 2004. Real-Options Aspects of Adjacency Constraints, Forest Policy and Economics, 6, 261-270.
- Martell, D. L., Gunn, E. A. ve Weintraub, A., 1998. Forest Management Challenges for Operational Researchers, European Journal of Operational Research, 104, 1, 1-17.
- Mathey, A.H., Krcmar, E., Tait, D., Vertinsky, I. ve Innes, J., 2007. Forest Planning Using Co-evolutionary Cellular Automata. Forest Ecology and Management, 239, 45–56.
- McGarigal, K. ve Marks, B.J. 1994. Fragstats. Spatial Pattern Analysis Program For Quantifying Landscape Structure. Version 2.0. Corvallis: Forest Science Department, Oregon State University.
- Metropolis, N., Rosenbluth, A., Rosenbluth, M., Teller, A. ve Teller, E., 1953. Equation of State Calculations by Fast Computing Machines, Journal of Chemical Physics, 21, 1087-1092.
- Mısır, M., 2001. Çok Amaçlı Orman Amenajmanı Planlarının CBS ve Amaç Programlama Yöntemiyle Düzenlenmesi, Doktora Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- MMFA., ECHO Planning System, Planner's Under Guide. McGregor Model Forest Association, British Columbia, Canada, <http://www.mcgregor.bc.ca>, 25 Ocak 2009.
- Murray, A. T. ve Church, R. L., 1995a. Heuristic Solution Approaches to Operational Forest Planning Problems, OR Spektrum, 17, 193-203.
- Murray, A. T. ve Church, R. L., 1996. Analyzing Cliques for Imposing Adjacency Restrictions in Forest Models, Forest Science, 42, 2, 166-175.
- Murray, A. T. 1999. Spatial Restrictions in Harvest Scheduling, Forest Science, 45, 1, 45-52.
- Nasset, E., 1995. Derivation of a Predictive Model for Production of Tree Species Composition Maps at Small Scales Using Discriminate Function Analysis, Scandinavian Journal of Forest Research, 10, 90–96.

- Nasset, E., 1997. GIS in Long-Term Forest Management and Planning with Special Reference to Preservation of Biological Diversity: A Review, Forest Ecology and Management, 93, 121–136.
- NCASI., HABPLAN User Manual. NCASI Statistics and Model Development Group, <http://ncasi.uml.edu>, 25 Şubat 2009.
- Nelson, J. ve Brodie, J. D., 1990. Comparison of A Random Search Algorithm and Mixed İnteger Programming for Solving Area-Based Forest Plans, Canadian Journal of Forest Research, 20, 934-942.
- Nelson, J.D., 2000. ATLAS Operations Manual, Faculty of Forestry, University of British Columbia, Vancouver, Canada, <http://www.forestry.ubc.ca/atlas-simfor/extension/docs.html#ATLAS>, 15 Şubat 2009.
- 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>).
- O'Hara, A., Faaland, B. H. ve Bare, B. B., 1989. Spatially Constrained Timber Harvest Scheduling, Canadian Journal of Forest Research, 19, 715-724.
- 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, 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., 2001. Forest Planning with Consideration to Spatial Relationships. Doctoral Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Umea.
- Palander, T., 1995. Local Factors and Time-Variable Parameters in Tactical Planning Models: A Tool for Adaptive Timber Procurement Planning. Scandinavian Journal of Forest Research. 10, 370-382.
- Perdue, M. ve Nelson, J.D., ATLAS/FPS Tutorial Manual, Faculty of Forestry, University of British Columbia, Vancouver, Canada, <http://www.forestry.ubc.ca/atlas-simfor/extension/docs.html#ATLAS>, 14 Şubat 2009.
- Pukkala, T. ve Heinonen, T., 2006. Optimizing Heuristic Search in Forest Planning, Nonlinear Analysis: Real World Applications, 7, 1284-1297.
- Pukkala, T., 2004. Dealing with Ecological Objectives in The MONSU Planning System. Silva Lusitana, No Especial, 1-15.
- Reeves C.R., 1993. Modern Heuristic Techniques for Combinatorial Problems, John Wiley&Sons, Inc. New York, Toronto.

- Richards, E. W. ve Gunn, E. A., 2003. Tabu Search Design for Difficult Forest Management Optimization Problems, Canadian Journal of Forest Research, 33, 6, 1126.
- Sessions, J. ve Bettinger, P., Hierarchical Planning: Pathway to The Future?, http://www.cfr.washington.edu/Outreach/Postprefor/Sessions_final.pdf, 18 Mart 2009.
- Sivrikaya, F., 2008. Türkiye’de Orman Amenajman Planlama Model Yazılımının Geliştirilmesi, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Snyder, S. ve ReVelle, C., 1996. The Grid Packing Problem: Selecting A Harvesting Pattern in An Area with Forbidden Regions, Forest Science, 42, 1, 27-34.
- Snyder, S. ve ReVelle, C., 1996. Temporal and Spatial Harvesting of Irregular Systems of Parcels, Canadian Journal of Forest Research, 26, 1079-1088.
- Soykan, B., 1979. Aynıyaşlı Ormanların Aktüel Kuruluşlarının Optimal Kuruluşa Yaklaştırılmasında Yöneylem Araştırması Metotlarından Yararlanma Olanaklarının Araştırılması, KTÜ Orman Fakültesi Yayın No: 106, Orman Fakültesi Yayın No: 5, Trabzon.
- Tarp, P. ve Helles, F., 1997. Spatial Optimization by Simulated Annealing and Linear Programming, Scandinavian Journal of Forest Research, 12, 4, 390-402.
- Temple, S.A., 1985. Predicting Impacts of Habitat Fragmentation on Forest Birds: A Comparison of Two Models. In: M.L.M.a.C.J.R.J. Verner, Editor, *Wildlife 2000: Modelling Habitat Relationships of Terrestrial Vertebrates*, The University of Wisconsin Press, Madison, WI, 301–304.
- Ulusoy, G., 2002. Proje Planlamada Kaynak Kısıtlı Çizelgeleme, Sabancı Üniv. Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Dergisi, 8,23-29.
- URL-1, <http://www.bilgisayarkavramlari.com/2008/12/22/sezgi-ustu-algoritmalar-ustsezgisel-algoritmalar-meta-heuristic-algorithms>, 16.01.2009.
- URL-2 <http://www.sayisalyontemler.com/?q=içerik/metasezgisel-yöntemler>, 18.09.2008.
- Van Raffe, J.K., 2000. Tactic: A Decision Support System for Forest Management Planning, Computers and Electronics in Agriculture, 27, 413–415.
- Venema, H. D., Calamai, P. H. ve Fieguth, P., 2005. Forest Structure Optimization Using Evolutionary Programming and Landscape Ecology Metrics, European Journal of Operational Research, 164, 2, 423-439.

- 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.
- Wang, P., Wood Supply Forecasting Techniques, Research Paper.
- Weintraub, A., Jones, G., Magendzo, A., Meacham, M. ve Kirby, M., 1994b. A Heuristic System to Solve Mixed-integer Forest Planning Models. *Operations Research*, 42, 6, 1010-1024.
- Weintraub, A. P., Epstein, R., Murphy G. ve Manley, B., 2000b. The Impact of Environmental Constraints on Short Term Harvesting: Use of Planning Tools and Mathematical Models, *Annals of Operations Research*, 95, 41-66.
- Weintraub, A. ve Cholaky, A., 1991. A Hierarchical Approach to Forest Planning, *Forest Science*, 37, 2, 439-460.
- Wightman, R. A. ve Baskent, E. Z., 1994. Forest Neighborhoods for Timber Harvest Scheduling, *The Forestry Chronicle*, 70, 6, 768-772.
- Yolasıǧmaz, H.A., Sivrikaya, F., Keleş, S. ve Günlü, A., 2005. Ekosistem Tabanlı Çok Amaçlı Planlama. 1. Çevre ve Ormancılık Şurası, Antalya.
- Zeng, H. C., Pukkala, T. ve Peltola, H., 2007a. The Use of Heuristic Optimization in Risk Management of Wind Damage in Forest Planning, *Forest Ecology and Management*, 241, 1-3, 189-199.
- Zeng, H. C., Pukkala, T., Peltola, H. ve Kellomaki, S., 2007b. Application of Ant Colony Optimization for The Risk Management of Wind Damage in Forest Planning, *Silva Fennica*, 41, 2, 315-332.

ÖZGEÇMİŞ

1980 yılında Mersin ili Anamur ilçesinde doğdu. İlkokul, Ortaokul ve Lise tahsilini Anamur'da tamamladı. 1997 yılında K.T.Ü. Orman Fakültesi Orman Mühendisliği Bölümünü birinci sırada kazandı, 2001 yılında derece ile mezun oldu. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim dalında Yüksek lisans eğitimine başladı. 2001-2002 yılları arasında Karadeniz Teknik Üniversitesi İngilizce hazırlık programına katıldı. 2002 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'ne Araştırma Görevlisi olarak atandı. 2005 yılının Şubat ayında "Orman Kaynaklarındaki Zamansal Değişimin Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Yardımıyla Ortaya Konulması (İnegöl ve Gümüşhane Devlet Orman İşletmeleri Örneği)" adlı yüksek lisans tezini tamamlayarak, Yüksek Mühendis unvanı almış ve akabinde doktora eğitimine başlamıştır. 2007-2008 öğretim dönemi bahar yarıyılında ERASMUS SOCRATES programı bursu ile "Work-Placement" programı kapsamında Portekiz, Lizbon Teknik Üniversitesi'nde üç aylık dönem için doktora tez konusuna paralel projelerde çalışmıştır. Çok sayıda ulusal ve uluslar arası makale ve bildiriye sahip olan Ali İhsan KADIOĞULLARI, 2007-2008 öğretim yılı KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Başarı Teşvik Ödülü, çok sayıda TÜBİTAK ve KTÜ'den Bilimsel Yayınları Teşvik Ödülü almıştır. Halen Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesinde görevini sürdüren Ali İhsan KADIOĞULLARI iyi derecede İngilizce bilmektedir.