

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ORMAN EKOSİSTEMİNİN MODELLENMESİ VE MODEL ÜZERİNDE  
SEZGİSEL YÖNTEMLER KULLANARAK SİLVİKÜLTÜREL MÜDAHALE  
ALTERNATİFLERİNİN BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Bil. Müh. Özkan BİNGÖL**

**AĞUSTOS 2009  
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ORMAN EKOSİSTEMİNİN MODELLENMESİ VE MODEL ÜZERİNDE  
SEZGİSEL YÖNTEMLER KULLANARAK SİLVİKÜLTÜREL MÜDAHALE  
ALTERNATİFLERİNİN BELİRLENMESİ**

**Bil. Müh. Özkan BİNGÖL**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde  
"Bilgisayar Yüksek Mühendisi"  
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 04.08.2009  
Tezin Savunma Tarihi : 20.08.2009**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Murat EKİNCİ  
Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Cemal KÖSE  
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Emin Zeki BAŞKENT**

**Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Salih TERZİOĞLU**

**Trabzon 2009**

## ÖNSÖZ

Bilgisayar Mühendisliği ve Orman Mühendisliği Anabilim dallarının ortak bir çalışması olarak ortaya çıkan bu tez, birbirinden farklı gibi görülen birçok disiplinin; hizmet, bilim ve araştırmacılık ortak paydasında nasıl buluşabileceğini gösteren güzel bir örnek olacağını umut ediyorum.

Öncelikle normalden çok uzun süren yüksek lisans eğitimim boyunca bana karşı büyük bir sabır gösterip iyi niyetini korumayı başaran, yardımseverliği ve çalışma disipliniyle örnek bir insan olan sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Murat EKİNCİ'ye sonsuz teşekkür ve şükranlarımı sunarım.

Bilgisini ve tecrübesini paylaşarak böyle bir çalışmanın ortaya çıkmasını sağlayan, ben ve çalışma arkadaşlarıma güvenerek büyük sorumluluklar altına girmeye çekinmeyen değerli hocam Prof. Dr. Emin Zeki BAŞKENT'e en içten teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Bu araştırmada benimle beraber yola çıkan, birlikte çalışmaktan büyük zevk aldığım ve çok güzel anılar paylaştığım arkadaşlarım Ali İhsan KADIOĞULLARI, Sedat KELEŞ ve UĞUR ŞEVİK'e, tezimi hazırlamada ve hayatımın en önemli anlarında her türlü desteğini esirgemeyen ve yıllarca aynı evi paylaştığım değerli dostum YASİN KAYA'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Beni yetiştirip bu günlere gelmemde büyük emekleri geçen aile büyüklerime, çalışmalarım süresince bana yardım eden dostlarıma teşekkür ederim.

Son olarak; belirsizliklerle dolu hayatımı anlamlı hale getiren, kendisinde kendimi bulduğum, en büyük destekçime sevgili eşime çok teşekkür ederim.

Özkan BİNGÖL  
Trabzon 2009

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ .....	II
İÇİNDEKİLER .....	III
ÖZET .....	VI
SUMMARY .....	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	VIII
TABLolar DİZİNİ .....	XI
KISALTMALAR DİZİNİ .....	XII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş .....	1
1.2. Orman Amenajmanı .....	1
1.3. Orman Amenajmanı Planlama Süreci .....	2
1.4. Ekosistem Tabanlı Çok Amaçlı Planlama .....	5
1.5. Modelleme Çalışmaları .....	7
1.6. ETÇAP Yaklaşımının Modellenmesi .....	10
1.7. Konumsal Planlama.....	10
1.8. Konumsal Planlamada Kullanılan Modelleme Teknikleri .....	12
1.8.1. Simülasyon Teknikleri.....	12
1.8.1.1. Ağaç ve Meşcere Simülasyonu .....	15
1.8.1.2. Hasılat Tabloları ve Meşcere Büyüme Modelleri .....	16
1.8.2. Matematiksel Optimizasyon Teknikleri .....	17
1.8.3. Doğrusal Programlama .....	21
1.8.3.1. Grafik Metodu.....	22
1.8.3.2. Simpleks Metodu .....	24
1.8.3.3. Başlangıç Simpleks Tablosunun Oluşturulması .....	26
1.8.3.4. Simpleks Algoritması .....	27
1.8.4. Sezgisel Arama Yöntemleri.....	28
1.8.5. Tavlama Benzetimi .....	29
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	34
2.1. Deneme Alanlarının Hazırlanması .....	34



2.2.	ETÇAP Yaklaşımının Modellenmesi.....	35
2.2.1.	Temel Bileşenlerin Tasarlanması.....	35
2.2.2.	Müdahalelerin Belirlenmesi.....	36
2.2.2.1.	Müdahale Stratejileri.....	36
2.2.2.2.	Gençleştirme.....	36
2.2.2.3.	Bakım.....	36
2.2.2.4.	Ağaçlandırma.....	37
2.2.3.	Müdahale Önceliklerinin Belirlenmesi.....	37
2.2.4.	Geçişlerin Tanımlanması.....	37
2.2.5.	Hasılat Tablosu.....	38
2.2.6.	Büyüme Modelinin Oluşturulması.....	38
2.3.	Simülasyonun Modellenmesi.....	41
2.3.1.	Planlama Yörüngesi.....	43
2.3.2.	Planlama Periyodu.....	43
2.3.3.	Hedeflerin Belirlenmesi.....	43
2.3.3.1.	Hedefler.....	43
2.3.3.2.	Politikalar.....	43
2.4.	Ek Modüllerin Eklenmesi.....	44
2.4.1.	Su Üretimi.....	44
2.4.2.	Toprak Erozyonu.....	44
2.4.3.	Karbon Birikimi.....	45
2.4.4.	Oksijen Birikimi.....	45
2.4.5.	Ekonomik Veriler (NBD).....	46
2.5.	Optimizasyonun Modellenmesi.....	47
2.5.1.	Müdahale Reçeteleri.....	50
2.5.2.	Karar Değişkenlerinin Oluşturulması.....	50
2.5.3.	Doğrusal Programlama Modelinin Kurulması.....	53
2.5.4.	Amaç Fonksiyonunun Belirlenmesi.....	54
2.5.5.	Kısıtlamaların Belirlenmesi.....	55
2.5.6.	Doğrusal Programlama Modelinin Çözümü.....	57
2.5.7.	Parçalanmış Bölmeciklerin Birleştirilmesi.....	57
2.5.8.	Uygunluk Fonksiyonunun Belirlenmesi.....	59
2.5.9.	Ceza Değerinin Hesaplanması.....	60

2.5.9.1. Amaç Fonksiyonunun Ceza Değerinin Hesaplanması .....	63
2.5.9.2. Periyodik Kısıtların Ceza Değerlerinin Hesaplanması.....	64
2.6. Konumsal Planlama.....	64
2.6.1. En Küçük Kesim Bloğu Büyüklüğü.....	65
2.6.2. Hedeflenen Kesim Bloğu Büyüklüğü.....	65
2.6.3. Yakınlık Mesafesi .....	65
2.6.4. Erteleme Süresi .....	66
2.6.5. En Büyük Açma Alanı Büyüklüğü.....	66
2.6.6. Komşuluk Mesafesi.....	66
2.6.7. Kesim Bloğu .....	67
2.6.8. Blok Alanları Ceza Değerlerinin Hesaplanması .....	69
2.6.9. Açma Alanları Ceza Değerlerinin Hesaplanması .....	70
3. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME.....	72
3.1. Simülasyon Modelinin Planlama Biriminde Uygulanması .....	72
3.2. Optimizasyon Modelinin Planlama Biriminde Uygulanması.....	81
3.3. Tavlama Benzetimi İle Optimal Sonuçlara Yaklaşılması.....	90
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	104
5. KAYNAKLAR .....	107
ÖZGEÇMİŞ	

## ÖZET

Bu çalışma kapsamında Ekosistem Tabanlı Çok Amaçlı Planlama (ETÇAP) yaklaşımının uygulanabilmesi için modüler yapılu bir Orman Ekosistem Modeli (OEM) oluşturulmuştur. Modelin tasarlanması aşamasında UML (Birleşik Modelleme Dili) kullanılmıştır. Standart tasarım diyagramları sunan UML sayesinde OEM'e sadece tasarlayanlar değil, yeni modüller eklemek isteyenler veya var olan modülleri değiştirmek isteyenler de müdahale edebilirler. Bu özelliğiyle model genişletilebilir bir yapıya sahiptir.

Modellenen orman yapısı üzerinde silvikültürel müdahale seçenekleri tanımlanmış ve ormana olan etkileri ortaya koyulmuştur. Orman yapısının zamana bağlı değişimlerini incelemek için Göğüs Yüzeyi Oranları Benzetim Metodu (GYOBEM) büyüme modeli kullanılmıştır. OEM, karar vericilerin amenajman planları yaparken kullanacağı verileri sunmasının yanı sıra karar verme aşamasında da yardımcı olmaktadır. Bu amaçla OEM üzerinde çalışacak şekilde Simülasyon ve Optimizasyon modülleri oluşturulmuştur.

Simülasyonda karar verici istediği müdahale alternatiflerini ve planlama hedefini uygulayarak ormanın nasıl gelişeceğini takip edebilmektedir. Başlangıçta sadece meşcere parametreleri kullanılarak gerçekleştirilen bu modüle bir sonraki aşamasında konumsal parametreler eklenerek konumsal planlama yapılmıştır. Optimizasyonda ise ormanın istenilen bir düzeye gelmesi için, hangi müdahale alternatiflerinin uygulanması gerektiğine karar verilebilmektedir. Karar vericinin belirleyeceği planlama seçenekleri kullanılarak, her bir orman alanına uygulanabilecek müdahale alternatifleri üretilmiştir. Müdahale alternatiflerinden karar değişkenleri üretilerek Doğrusal Programlama (DP) yapısına uygun kısıtlama denklemleri oluşturulmuştur. Bu denklemler Simpleks Metodu (SM) ile çözümlenip en uygun müdahale alternatifleri belirlenmiştir.

Seçilen silvikültürel müdahaleler en uygun seçenekler olmasına rağmen, konumsal parametreler dâhil edilmediği için uygulanabilir değildir. Konumsal parametrelerin doğrusal denklemlerde ifade edilmesi çok zordur, çoğu zaman da mümkün değildir. Konumsal kısıtlamaları da sağlayabilmek için Sezgisel Arama Yöntemlerinden Tavlama Benzetimi kullanılarak DP ile elde edilen sonuca en az hata ile yaklaşılmaya çalışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Orman Ekosistem Modeli, Ekosistem Tabanlı Çok Amaçlı Planlama, Simülasyon, Büyüme Modeli, Optimizasyon, Doğrusal Programlama, Simpleks Metodu, Sezgisel Arama Yöntemleri, Tavlama Benzetimi, Ceza Fonksiyonları, Konumsal Planlama

## SUMMARY

### **Modeling of Forest Ecosystem and Determination of Silvicultural Prescription Alternatives Using Heuristics Techniques**

In this study, Modular based a forest ecosystem model (FEM) was developed for applicability of Ecosystem Based Multiple Use Forest Management (EBMUFGM). Unified modeling language (UML) was used in the beginning stage of model design. Thanks to UML that supplies standard design diagrams, FEM can be used by not only the designers but also other users who want to add new modules or users who want to change existing modules. For this characteristic, model has extensible structure.

Silvicultural interfere options were defined on structure of modeled forest area and showed their effects to forest. Basal Area Rate Simulation Method (BARSM) growth model was used in order to analyze of changes of forest structure (forest dynamics) versus time. FEM can be used on decision stage in addition to set out data used for stage of forest management planning by decision maker. For this purpose, Simulation and optimization modulus were developed and set to run over FEM.

In simulation model, decision maker desire can monitorize forest dynamics by applying operation alternatives and planning target. Initially only stand parameters were used in this module. In next stage, spatial planning was done by integrated spatial parameters model. In optimization model, types of operation alternatives can be decided for desired forest level. Operation alternatives that can be applied in each forest area was produced by using planning strategies determined by decision maker. Restriction equation, suitable for linear programming structure was determined from operation alternatives, produced from decision variables. These equations were solved by using Simplex Method (SP) and determined the best operation alternatives

Even though chosen prescription alternatives are the best alternative, it is impracticable for spatial parameters due to not included into model. Spatial parameters is very difficult to define with linear equation, mostly it is impossible. Simulated Annealing method used for to satisfy spatial restriction with minimum penalty value of the result of LP.

**Key Words:** Forest Ecosystem Model, Ecosystem Based Multiple Use Forest Management, Simulation, Growth Model, Optimization, Linear Programming, Simplex Method, Heuristic Search Techniques, Simulated Annealing, Penalty Functions, Spatial Planning

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Şekil 1. Uydu görüntüleri üzerinde belirlenmiş meşcereler.....	2
Şekil 2. Renklendirilmiş meşcere yapısı.....	3
Şekil 3. Sınırları belirlenmiş bölmeler.....	3
Şekil 4. Renklendirilmiş bölmecikler.....	4
Şekil 5. Orman fonksiyonları.....	4
Şekil 6. Ekosistem tabanlı çok amaçlı planlama (ETÇAP) süreci.....	9
Şekil 7. Yerel minimum ve genel minimumlar.....	20
Şekil 8. Denklemlerin koordinat sistemine aktarılması.....	23
Şekil 9. Grafik yöntemi ile simpleks algoritması.....	24
Şekil 10. Deneme amaçlı oluşturulmuş konumsal veri tabanı.....	34
Şekil 11. Örnek geçiş tablosu.....	38
Şekil 12. Simülasyon aşamaları.....	41
Şekil 13. Simülasyon bileşenleri.....	42
Şekil 14. Optimizasyon modelinin aşamaları.....	48
Şekil 15. Optimizasyon bileşenleri.....	49
Şekil 16. Üretim amaçları.....	55
Şekil 17. Doğrusal ceza fonksiyonu grafiği.....	61
Şekil 18. Farklı k değerleri için $f(x)=ekx$ grafiği.....	61
Şekil 19. Normalize edilmiş $f(x)$ fonksiyonun grafiği.....	62
Şekil 20. Cezalar için kullanılacak $f(x)$ fonksiyonunun grafiği.....	63
Şekil 21. Amaç fonksiyonu değerine ait sapmanın ceza fonksiyonu eğrisi.....	63
Şekil 22. Periyodik kısıtlara ait sapmaların ceza fonksiyonu eğrisi.....	64
Şekil 23. Kesim bloğu oluşturmak için örnek bölmecik dağılımı.....	66
Şekil 24. Kesim blokları.....	67
Şekil 25. Kesim blokları ve açma alanları.....	68
Şekil 26. Hedeflenen kesim bloğu büyüklüğü ceza fonksiyonu eğrisi.....	70
Şekil 27. Hedeflenen açma alanı büyüklüğü ceza fonksiyonu eğrisi.....	71
Şekil 28. 7 numaralı bölmeciğe ait simülasyon sonuçları ekranı.....	74

Şekil 29. 7 numaralı bölmeciğin 100 yıllık süreçteki a) Servet ve b) Toprak koruma değeri.....	74
Şekil 30. 1 nolu senaryonun periyodik olarak toplam değerleri .....	75
Şekil 31. Planlama birimi düzeyinde gerçekleşen değişen değerler.....	75
Şekil 32. Orman ekosisteminin yaş sınıfları dağılımı (100 yıl) .....	76
Şekil 33. Farklı planlama senaryolarının periyodik olarak toplam eta miktarları.....	77
Şekil 34. 1 nolu senaryonun kesim düzeni haritası .....	78
Şekil 35. 2 nolu senaryonun kesim düzeni haritası .....	79
Şekil 36. 3 nolu senaryonun kesim düzeni haritası .....	79
Şekil 37. 4 nolu senaryonun kesim düzeni haritası .....	80
Şekil 38. 5 nolu senaryonun kesim düzeni haritası .....	80
Şekil 39. 6 nolu senaryonun kesim düzeni haritası .....	81
Şekil 40. Rejim tanımlama ekranı .....	83
Şekil 41. Komşuluk parametreleri ekranı .....	83
Şekil 42. Odun üretimi çıktılarının zamana bağlı değişimi .....	84
Şekil 43. Optimizasyon sonucu parçalanmış bölmecikler .....	86
Şekil 44. Optimizasyon sonucu parçalanmış bölmecikler .....	86
Şekil 45. Parçalı bölmeciklerin birleştirilmesi .....	86
Şekil 46. Yeni çözüm sonuçları (bölmecik bazında birleşmiş hali) .....	87
Şekil 47. Gençleştirme alanlarının periyodik olarak dağılımı .....	87
Şekil 48. Senaryo 1'in komşuluk parametreleri ekranı .....	88
Şekil 49. Kesim blokları .....	88
Şekil 50. 4. Periyot için açma alanları (2, 3, 4 nolu kesim periyotlarını kapsamakta) .....	89
Şekil 51. 7. Periyot için açma alanları (5, 6, 7 nolu kesim periyotlarını kapsamakta) .....	89
Şekil 52. 10. Periyot için açma alanları (8, 9, 10 nolu kesim periyotlarını kapsamakta) ...	90
Şekil 53. İdeal soğutma eğrisi .....	91
Şekil 54. Modelle oluşturulan soğutma eğrisi.....	91
Şekil 55. Blok alanı kontrolündeki uygunluk fonksiyonu değişimi .....	92
Şekil 56. Blok alanı kontrolünde oluşan çözümdeki bölmeciklerin kesim periyotları.....	93
Şekil 57. Blok alanı kontrolünde oluşan çözümün 5. Periyottaki açma alanı dağılımı .....	93
Şekil 58. Blok alanı kontrolünde oluşan çözümün 8. Periyottaki açma alanı dağılımı .....	94
Şekil 59. Açma alanı kontrolündeki uygunluk fonksiyonu değişimi .....	95
Şekil 60. Açma alanı kontrolünde oluşan çözümdeki bölmeciklerin kesim periyotları.....	96

Şekil 61. Açma alanı kontrolü sonucunda 5. Periyottaki açma alanı dağılımı .....	96
Şekil 62. Açma alanı kontrolü sonucunda 8. Periyot açma alanı dağılımı .....	97
Şekil 63. Açma ve blok alanlarının beraber kontrol edildiğinde uygunluk fonksiyonunun değişimi .....	98
Şekil 64. Açma ve blok alanlarının beraber kontrol edildiğinde uygunluk fonksiyonunun değişimi .....	99
Şekil 65. Blok alanlarının ve eta miktarlarının beraber kontrol edildiğinde uygunluk fonksiyonunun değişimi .....	101
Şekil 66. Açma, blok alanları ve eta kısıtlamalarının beraber kontrol edildiğinde uygunluk fonksiyonunun değişimi .....	102

## TABLolar DİZİNİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Tablo 1. Simpleks Tablosu.....	27
Tablo 2. Örnek bir bölmecik için alternatif müdahale rejimleri.....	51
Tablo 3. Ağaçlandırma alternatifleri.....	52
Tablo 4. Örnek bir bölmeciğin ağaçlandırıldıktan sonraki müdahale alternatifleri .....	52
Tablo 5. Farklı senaryolar için konumsal değerler .....	73
Tablo 6. Eta ve müdahale alanı miktarlarının periyotlara bağlı değişimi .....	85
Tablo 7. Blok alanı kısıtlaması kontrol edildiğinde periyotlardaki eta ve alan değişimleri .....	92
Tablo 8. Blok alanı kısıtlaması kontrol edildiğinde başlangıç ve sonuçtaki toplam eta, cezalı bloklar ve cezalı açma alanların durumu.....	92
Tablo 9. Açma alanı kısıtlaması kontrol edildiğinde periyotlardaki eta ve alan değişimleri .....	95
Tablo 10. Açma alanı kısıtlaması kontrol edildiğinde başlangıç ve sonuçtaki toplam eta, cezalı bloklar ve cezalı açma alanların durumu .....	95
Tablo 11. Açma ve blok alanları kısıtlamaları kontrol edildiğinde periyotlardaki eta ve alan değişimleri.....	98
Tablo 12. Açma ve blok alanları kısıtlamalarının kontrol edildiğinde başlangıç ve sonuçtaki toplam eta, cezalı bloklar ve cezalı açma alanların durumu .....	98
Tablo 13. Açma ve blok alanları kısıtlamalarının kontrol edildiğinde başlangıç ve sonuçtaki toplam eta, cezalı bloklar ve cezalı açma alanların durumu (açma alanı uygunluk fonksiyonundaki ağırlığı 2 katına çıkarılmıştır) .....	99
Tablo 14. Açma ve blok alanları kısıtlamaları kontrol edildiğinde periyotlardaki eta ve alan değişimleri (açma alanı uygunluk fonksiyonundaki ağırlığı 2 katına çıkarılmıştır) .....	100
Tablo 15. Blok alanlarının ve Eta kısıtlamalarının kontrol edildiğinde periyotlardaki eta ve alan değişimleri.....	101
Tablo 16. Blok alanlarının ve Eta miktarlarının kontrol edildiğinde başlangıç ve sonuçtaki toplam eta, cezalı bloklar ve cezalı açma alanların durumu .....	101
Tablo 17. Açma, blok alanları ve eta kısıtlamalarının kontrol edildiğinde periyotlardaki eta ve alan değişimleri .....	103
Tablo 18. Açma, blok alanları ve eta kısıtlamalarının kontrol edildiğinde başlangıç ve sonuçtaki toplam eta, cezalı bloklar ve cezalı açma alanların durumu .....	103



## 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
GEF	: Küresel Çevre Fonu
GYOBEM	: Göğüs Yüzeyi Oranları Benzetim Metodu
OEM	: Orman Ekosistem Modeli
SM	: Simpleks Metodu
TB	: Tavlama Benzetimi
UML	: Unified Modeling Language - Birleşik Modelleme Dili

## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

Dünya alanının yaklaşık % 30'unu (39 milyon km<sup>2</sup>) oluşturan ormanlar, mevcut biyoçeşitliliğin ise % 80'ini barındırmaktadır. Bu orman alanlarının 2025 yılına kadar % 25 oranında azalacağı tahmin edilmektedir (URL-1). Hızla artan nüfus, şehirleşme ve tüketim alışkanlıkları doğal kaynakların bilinçsizce kullanımını doğurmuştur. Toprak ve su kaynakları kirletilmiş, 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 körükleyen sebeplerden biri, ormanların sağladığı mal ve hizmet değerlerinin orman ekosistem dengesinin korunarak planlı ve sistemli olarak işletilememesidir (Başkent vd., 2001).

Bunların sonucu olarak, ormanlardan yararlanmanın belli bir düzen altına alınması, toplumun orman ürünleri gereksiniminin sürekli bir şekilde karşılanması ve ormanların kendi bünyeleri ile sunduğu fonksiyonlardan toplumun sürekli faydalanması düşüncesinden *orman amenajmanı* kavramı doğmuştur.

### 1.2. Orman Amenajmanı

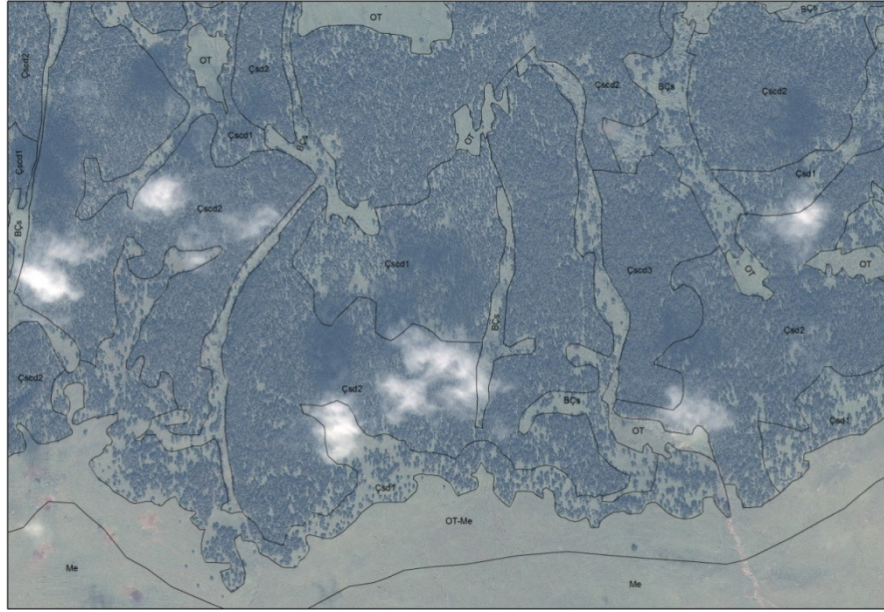
Orman Amenajmanı, ormancılık etkinliklerinde, düzenleyici (planlayıcı), dengeleyici orman-ekosistem kurucusu, başka bir ifade ile biyolojik üretimi düzenleyici, güvenilirliği ve yararlanmada sürekliliği sağlayıcı bir etkinlikler bütünü ortaya koyan ormancılık bilim dalıdır (Kapucu, 2004). Bir başka tanıma göre ise; orman ekosisteminin sağlığını ve bütünlüğünü sağlamak kaydıyla, toplumun ormandan olan her türlü ihtiyaçlarını sürdürülebilir bazda karşılamak için çağdaş bilgi teknolojilerini ve bilimsel karar verme tekniklerini kullanarak en uygun yararlanma şekline karar vermek suretiyle orman dinamiğini zaman ve mekan içerisinde kontrol altına almaktır (Başkent, 1999).

Bir orman amenajman planı ise, gelecekte ulaşılması istenilen hedeflere ne zaman, hangi araçlarla, kimlerin yardımı ile nasıl ve hangi maliyetler ile ulaşılacağını belirten bir kararlar dizisidir. Geçmiş geleceğe bağlayan bir köprü olarak kabul edilen planlamanın

ana görevi, işletme etkinliklerini, gelecek dönemlerde erişilmesi hedeflenen amaçlara uygun biçimde düzenlemektir (Köse, 1986).

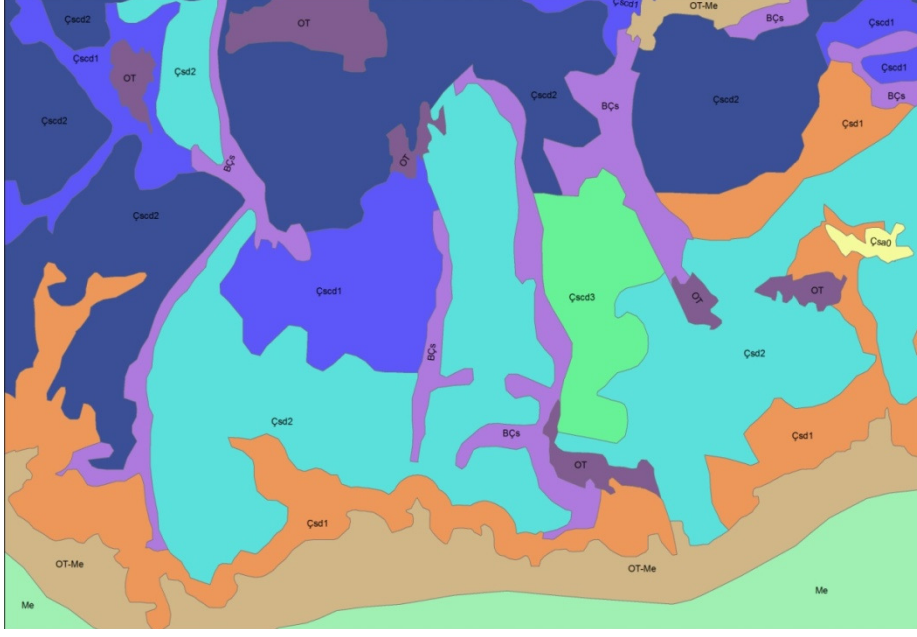
### 1.3. Orman Amenajmanı Planlama Süreci

Planlama süreci uzaktan algılama teknikleri (hava fotoğrafları ve uydu görüntüleri) kullanılarak hazırlanan taslak meşcere haritaları ile başlamaktadır. *Meşcere*; yaş, ağaç türü, ağaç bileşeni, kapallık, sıklık gibi kuruluş özelliklerinin en az biri bakımından çevresinden ayrılan ve en az 0,5 hektar (ha) büyüklüğündeki bir alanı kaplayan orman parçasıdır. Bu haritalar orman amenajman mühendisleri tarafından arazide ölçülen meşcere parametreleri ile birlikte kesinleştirilerek kesin meşcere haritası olarak sunulmaktadır (Şekil 1, Şekil 2).

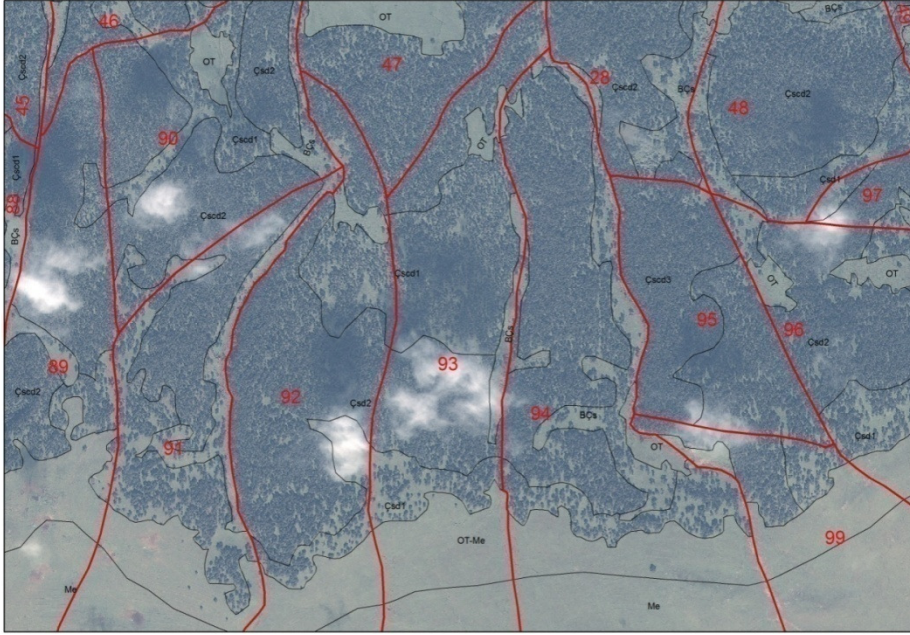


Şekil 1. Uydu görüntüleri üzerinde belirlenmiş meşcereler

Belirlenen meşcere sınırları bazen geniş alanları kapsamaktadır. Arazide uygulamayı yapan orman mühendisinin uygulama yapacağı alanı kolay bulması ve daha küçük alanlarda çalışabilmesi amacıyla *bölmeleme* sistemine gidilmiştir (Şekil 3, Şekil 4). Bu amaçla doğal hatları (dere, sırt, yol vs.) kullanılarak orman tipleri daha küçük parçalara yani *bölmeciklere* ayrılmıştır.



Şekil 2. Renklendirilmiş meşcere yapısı



Şekil 3. Sınırları belirlenmiş bölmeler





Orman amenajman planları, bölmecik bazında hazırlanan konumsal veri tabanı kullanılarak, amenajman başmühendisleri tarafından hazırlanmakta ve Orman Genel Müdürlüğün onayı ile uygulamaya aktarılmaktadır. Klasik anlamda ülkemizde uygulanan planlama sisteminde, bölmecik bazında belirlenen fonksiyon tipleri dikkate alınarak işletme sınıfları oluşturulmaktadır. İşletme sınıfı bazında orman ekosisteminin sürekliliğini devam ettirmek amacıyla gençleştirme ve bakım alanlarına karar verilerek, amenajman planları hazırlanmaktadır. Planlama aşamasında, başmühendis bilgi ve tecrübesini kullanarak hangi bölmeciklerin gençleştirmeye alınacağına ve yaş sınıfları metodu kapsamında toplam kaç hektar alanı gençleştireceğine karar vermektedir. Gençleştirme alanı dışında kalan bölmecikler ise bulunduğu yaş, gelişim çağı, servet, artım, silvikültürel eta, orman fonksiyonu ve ağaç türü biyolojik özellikleri dikkate alınarak bakıma alınmaktadır. Gençleştirme ve bakım müdahaleleri uygulanarak üretime alınacak bölmeciklerden elde edilen odun ürününe *hasılat* veya *eta* denmektedir. 10 veya 20 yıllık süre için karar verilen gençleştirme (son hasılat) ve bakım (ara hasılat) etaları - alanları tablo ve haritaları hazırlanarak amenajman plan yazım formatında uygulayıcıya sunulmaktadır.

Türkiye’de orman amenajman planları hazırlanmasında, kalkınma planlarının ilk hazırlanmaya başladığı 1963 yılından günümüze gelinceye kadar envanter ve teknik ormancılık uygulamalarında bir takım gelişmeler olmasına rağmen, odun üretimi eksenli klasik ormancılık anlayışından öteye tam anlamıyla geçilememiştir. Hazırlanan orman amenajman planlarında ana amaç, en yüksek odun hâsılatı elde etmek ve bunun sürekliliğini sağlamak olurken, envanter amaçları da bu doğrultuda işlemiştir. 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 edilmemiştir (Köse ve Başkent, 2003; Yolaşğmaz vd., 2005).

#### **1.4. Ekosistem Tabanlı Çok Amaçlı Planlama**

Dünyada olduğu gibi Türkiye ormancılığı için de ülkemiz ormancılık politikalarını, amenajman yönetmeliğini, ülkenin sosyokültürel yapısını dikkate alan, bilişim teknolojilerinin etkin şekilde kullanıldığı, amenajman planlarını modern planlama yaklaşımına göre düzenleyen bir karar destek sistemlerine gereksinim duyulmaktadır.

Türkiye’de orman amenajman planlarının hazırlanması sürecinde Karar Destek Sisteminin geliştirilmemiş olmasının oluşturduğu temel problemler şunlardır (Başkent ve Keleş, 2004; Başkent vd., 2005).

- Karmaşık bir sistem olan ve uzun bir üretim süresine sahip olan orman ekosistemlerinin planlanmasına bir sistem anlayışı ile yaklaşılmamaktadır.

- Türkiye’de orman amenajman planları halen klasik yöntemlerle yahut basit bilgisayar programları ile düzenlenmektedir. Klasik yöntemlerle yapılan planlarda, uzun vadeli kestirimler yapılarak en iyi faaliyet dizini (planlama stratejisi) oluşturulamamaktadır. Farklı seçenekler karşısında orman dinamiği kavranamamakta, dolayısıyla hem orman ekosistemlerinden rasyonel faydalanma düzeneği kurulamamakta hem de planlar güvenilirliğini kaybetmektedir.

- Orman amenajman planları zamanında bitirilememekte veya işgücü ya da sermaye gibi kısıtlayıcı koşullardan dolayı yenilenememektedir.

- Planlar fiziki plan niteliğini taşıyıp, ekonomik yorum ve analizler içermediğinden dolayı bir işletme planı niteliği taşımamaktadırlar.

- Planlar genellikle odun hammaddesi üretimine yönelik hazırlanmakta ve çok amaçlılık ilkesi dikkate alınmamaktadır. Orman ekosistemlerinin fonksiyonlara (odun üretimi, su üretimi, toprak koruma, biyoçeşitlilik ve rekreasyon gibi) göre en iyi tahsisi yapılamamakta dolayısıyla planların rasyonelliği tartışılır konuma gelmektedir.

- Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve yöneylem araştırması tekniklerinden yeterince yararlanılmamakta ve dolayısıyla modelleme teknikleri planlamada kullanılmamaktadır. Bunun bir sonucu olarak orman ekosistemlerinde koruma ve kullanma dengesi sağlanamamaktadır.

- 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.

- Uluslararası taahhütler ile ulusal ormancılık ana planları ve beş yıllık kalkınma planlarında belirlenen hedeflere ulaşılamamaktadır

Orman kaynaklarının sürdürülebilir planlanması ve işletmeciliği ve özellikle biyolojik çeşitliliğin orman amenajman planlarına yansıtılması konusunda ulusal ve uluslar arası destekli projelerle pilot çalışmalar yapılmış ve son olarak bu planların tüm ülke kapsamında yaygınlaştırılması ve Türkiye ormancılığında uygulamaya aktarılması çalışmaları devam etmektedir. Son beş yıllık dönemde ise çok amaçlı planlama yaklaşımı

değişim ve gelişim göstererek, ekosistem ve biyoçeşitlilik altlıklarını da alarak, Ekosistem Tabanlı Çok Amaçlı Planlama (ETÇAP) adını almış, ormancılık camiasının büyük bir kesimi tarafında da kabul görmüştür.

ETÇAP, orman ekosistemlerini sayısal bazda tanımlayarak, belirlenen işletme amaçlarının ve koruma hedeflerine göre sürdürülebilir bir şekilde kontrolünü sağlayacak olan stratejilerin tasarımı ve uygulanmasını katılımcı yaklaşımla sağlayan bir planlama yaklaşımıdır (Başkent vd., 2005). ETÇAP’da temel anlayış, orman ekosistemlerini kendi içerisinde ve etkileşim halinde bulunduğu diğer ekosistemlerle beraber tanımlamak, toplumun istekleri kapsamında işletme amaçları ve koruma hedeflerini belirlemek ve bu doğrultuda ekosistemleri konumsal olarak sürdürülebilir planlamaktır.

Özellikle son dönemde ülkemizde Türkiye koşullarına uygunluğu üzerinde çalışmaları yoğunlaşan ve prensipte ormancılık sektörü tarafından da benimsenen ETÇAP anlayışının işlem aşamaları sırasıyla şu şekildedir (Başkent vd, 2004; Yolasıǧmaz, 2004; Başkent vd., 2005; Yolasıǧmaz vd., 2005; Yolasıǧmaz vd., 2007):

- Planlama hedefleri ile işletme amaçları ve koruma hedeflerinin ortaya konulması,
- Orman ekosistem envanterinin ortaya konulması,
- Orman ekosistemlerinin sınıflandırılması,
- Amaç ve orman yapı ve kuruluşu arasındaki bağın kurulması,
- Orman amenajmanı planlama ilkeleri, uluslar arası gereklilik ve yasal zemine uygun olarak ortaya konulması,
- Her bir koruma-kullanım şekli için uygun silvikültürel müdahale şeklinin belirlenmesi,
- Uygun planlama tekniğinin seçilerek çok amaçlı faydalanmaya yönelik alternatif plan seçeneklerinin üretilmesi ve bunlar arasından en uygun olanının seçilmesi,
- En uygun seçeneğin oluşturduğu plan çıktılarını metin, tablo, grafik ve harita bazında sunulması,

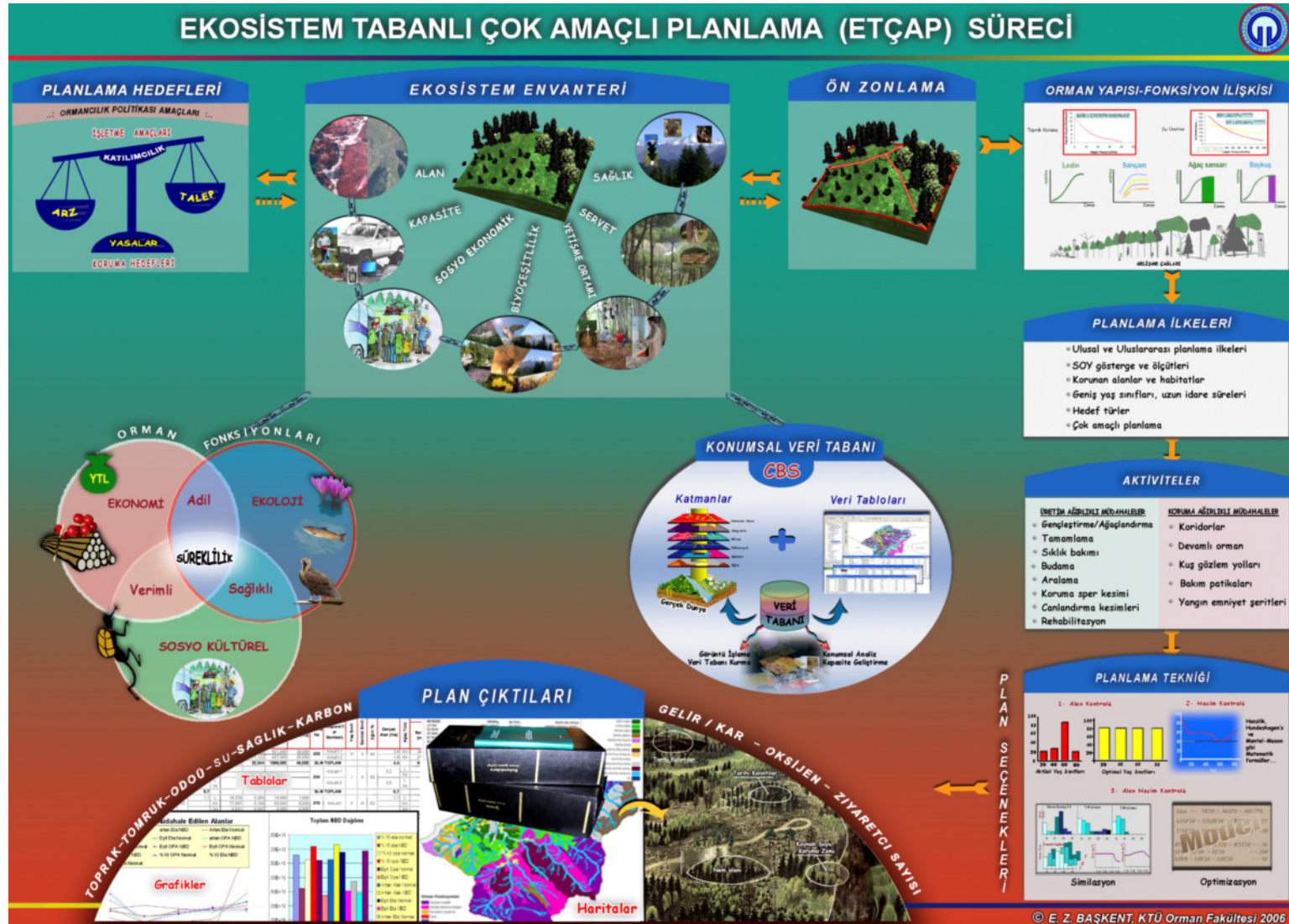
### **1.5. Modelleme Çalışmaları**

Türkiye’de gelişmiş ülkelerde orman amenajmanı planlaması alanında yaşanan gelişmelerden hareket ederek gerek akademik çalışmalarla ve gerekse ormancılık teşkilatındaki çalışmalarla/projelerle bilişim teknolojileri ve yöneylem araştırması teknikleri etkin şekilde kullanılmaya çalışılmıştır. 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. Köse (1986) tarafından iki adet planlama modeli amaç programlama yöntemine göre geliştirilmiştir. Mısır (2001), nesne tabanlı bir programlama tekniği ile birlikte karar verme tekniklerinden amaç programlama tekniğini kullanarak çok amaçlı bir orman amenajmanı planlama modeli geliştirmiştir. Gümüşhane ili Karanlıkdere planlama biriminde Keleş (2003) orman ekosistemlerinin su üretim fonksiyonunu, Karahalil (2003) toprak koruma fonksiyonlarını doğrusal programlama tekniği kullanarak amenajman planlarına yansıtılmışlardır. Yolasığmaz (2005), Artvin planlama birimi ormanlarını ETÇAP anlayışı kapsamında doğrusal programlama tekniği kullanarak uzun dönem amenajman planlama senaryoları geliştirmiştir.

Akademik anlamdaki model yazılım denemelerine paralel olarak küresel bir boyut kazanan sürdürülebilir orman işletmeciliği kavramını yakalayabilmek için, orman teşkilatı da çeşitli ulusal ve uluslararası düzeyde projeler gerçekleştirmiştir. Bunlardan ilki 1972 yılında Akdeniz Orman Kullanım Projesi kapsamında geliştirilen makineli üretime dayalı sistemdir. Bir diğer proje, 1998 yılında Orman Genel Müdürlüğü ile Finlandiya'nın Enso Forest Development Oy. Ltd.'nin ortak çalışması olan Orman Kaynakları Bilgi Sistemi (FRIS) projesidir. FRIS projesi kapsamında geliştirilen simülasyon, kısa dönem yada uzun dönem aktivitelerine göre bölmecikler ile orman kaynaklarının gelişiminin tahmin etmektedir. Kısaca FRIS beklenen bir orman amenajmanı planlama modeli değildir. FRIS projesi kapsamında geliştirilen yazılımın çok farklı paket programları kullanması bağımlılığı ön plana çıkarmakta, esnekliği ve güncellemeyi olumsuz etkilemektedir. Ayrıca, bu yazılım için oluşturulan veri tabanı sadece münferit planlama yaklaşımını içermekte diğer planlama yaklaşımlarına cevap verememekte ve ETÇAP'ın gerçekleştirilebilmesi için gerekli bilgiler veri tabanında yer almamaktadır. Ayrıca, CBS destekli bir yazılımının gerçekleştirilememesi, kurulan veri tabanının tanıtımı, kullanımı ve özellikle CBS konusunda kullanıcılara gerekli eğitimin verilmemesi söz konusu çalışmanın yaygınlaştırılma olasılığını azaltmıştır (Sönmez, 2004). Ancak, programın CBS'yi kullanması ve meşcere simülasyonunu gerçekleştirmesi geliştirilen yazılımın en önemli artılarıdır.



Şekil 6. Ekosistem tabanlı çok amaçlı planlama (ETÇAP) süreci

## 1.6. ETÇAP Yaklaşımının Modellenmesi

Türkiye ormancılık politikası ve sosyokültürel koşulları dikkate alınarak genişletilebilir nesne tabanlı bir çerçeve (framework) hazırlanmasına ihtiyaç vardır. Sistem modüler bir yapıda olmalı ve ETÇAP yaklaşımının gereklerini yerine getirmelidir. Modüler yapı; ormancılığın yaban hayatı, yangın gibi farklı disiplinlerinde gerçekleştirilen planlamaların bir araya toplanmasında büyük katkı sağlayacaktır.

Modüler bir yapı ortaya çıkarabilmek için sistemin analizinin iyi yapılması gereklidir. Sistemin tasarlanmasında nesne tabanlı yazılımların avantajlarını en iyi şekilde temsil eden, dilden bağımsız, anlaşılması ve değiştirilmesi kolay olan UML tasarım kalıpları kullanılmıştır ve envanter verileri bu UML nesnelere içerisinde temsil edilmiştir. Sisteme yeni özelliklerin eklenmesi veya var olan özelliklerinin değiştirilmesi sürekli geliştirilen bir yapı ortaya koyacaktır.

## 1.7. Konumsal Planlama

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). Çünkü konumsal detaylar planlamada dikkate alınmaksızın; biyolojik çeşitliliğin sürdürülmesi, derelerdeki sedimentin kontrol altına alınması, bir alandaki habitat bozulmasının azaltılması, bazı hayvanlar için gerekli olan otlak alanlarının devamının sağlanması, 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 aktiviteleri çoğunlukla komşu üretim birimlerini de etkilemektedir. Örneğin, bir üretim birimi veya meşcerede yapılan tıraşlama kesimi, komşu meşcere 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).

Bununla birlikte, değişik tipte zararlar veya konumsal olarak kontrol edilemeyen işletme faaliyetleri odun hammaddesi kalitesinde azalma, habitat bozulması veya

parçalanması, su kirliliği ve sediment miktarlarının artması ile sonuçlanabilir. Bu nedenlerden dolayı, komşu üretim birimlerinde konumsal kısıtlar, orman planlamasında dikkate alınmaktadır.

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 kesim 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 konumsal detaylar çeşitlenen işletme amaçlarının gerekli unsurlarıdır (Başkent vd., 2005).

Dolayısıyla, doğal yaşlı orman alanlarının parçalanmasının azaltılması, anahtar habitatlar etrafında kesilmeden bırakılan alanların sürekliliği, önemli habitatlar arasında koridor veya geçişlerin yaratılması, farklı işletme faaliyetlerinin ekonomik analizinin gerçekleştirilmesi, orman ekosistemlerinin konumsal yapısındaki gelişim ve değişimlerin izlenmesi gibi ekolojik, ekonomik ve çevresel amaçların karşılanması için farklı üretim stratejilerinin konumsal olarak değerlendirilmesi yönünde çalışmalar artmıştır (Öhman 2001).

Konumsal planlama çoklu ve genellikle birbiriyle çelişen amaçlar ile birlikte konumsal gereksinimleri işleyen esnek bir modelleme yaklaşımıdır. Konumsal gereksinimler ise çoğunlukla, işletme veya üretim birimlerinin (meşcereler, üretim blokları, yaban hayatı habitatları ve yaş sınıfları gibi) alan, şekil, komşuluk ve dağılımı, maksimum ve minimum üretim bloğu kısıtları, komşuluk ilişkileri, bağlantı, yakınlık ve çekirdek alanı içermektedir (Başkent 2001).

Konumsal bir model, konumsal olmayan bir modelden en az iki şekilde fark göstermektedir. Birincisi; konumsal bir modelde her bir meşcere veya ekosistem birimi (orman parçası) ayrı bir bileşen gibi işlem görmek zorundadır, ancak konumsal olmayan bir modelde meşcereler çoğunlukla kümeler halinde gruplandırılır ve kullanılan tekniğin bir sonucu olarak parçalara ayrılmaktadır. İkincisi; konumsal bir modelde üretimin coğrafi

konumunu kontrol etmede meşcerelerin nispi pozisyonları dahil edilebilmektedir. Ayrıca, konumsal bir orman amenajman modeli ekosistem düzeyinde yapısal ölçümler kullanarak konumsal yapı ve orman performansının ölçümünü sağlayabilmektedir (Başkent ve Jordan 1991).

Konumsal olmayan bir orman planlamasında ise başarının belirlenmesinde/ ölçülmesinde konumsal bilgiye ihtiyaç duyulmaz ve genellikle planlama alanında belirli miktarda kaynağın elde edilmesine dayanır. Örneğin, planlama alanında belirli miktarda habitat alanının (örneğin doğal yaşlı orman) elde edilmesini sağlayacak şekilde amaçlar belirlenir (Bettinger vd. 2002).

Orman parçalarının alanı, şekli, dağılımı ve çekirdek alan, konumsal planlamada önemli olan özelliklerdendir. Komşuluk veya erteleme süresi kısıtları, belirli bir periyotta komşu alanlar veya üretim birimlerinin aynı anda üretime alınmasını önlemektedir ve birbirlerinden belli bir mesafede olan veya ortak bir sınırı paylaşan üretim birimleri (meşcere, üretim bloğu gibi) olarak tanımlanır. Komşuluk/erteleme süresi veya maksimum müdahale alanı büyüklüğü kısıtlarının yokluğunda, klasik olarak yapılan eşit eta akışı planlama modellerinde kısa periyotlarda çok büyük alanlarda üretim yapılabilmektedir (Daust ve Nelson 1993).

## **1.8. Konumsal Planlamada Kullanılan Modelleme Teknikleri**

Konumsal planlama problemlerini çözmek için, günümüze kadar bir dizi matematiksel optimizasyon, simülasyon ve sezgisel teknikler orman amenajmanında yoğun olarak kullanılmıştır ve halende kullanılmaktadır. Her bir modelleme tekniğinin kendine has avantajları olmakla beraber, bir takım ciddi dezavantajları da mevcuttur.

### **1.8.1. Simülasyon Teknikleri**

Simülasyon, teoriksel ya da fiziksel bir sisteme ait neden sonuç ilişkilerinin bir bilgisayar modeline yansıtılmasıyla, değişik koşullar altında gerçek sisteme ait davranışların bilgisayar modelinde izlenmesini sağlayan bir modelleme tekniğidir (URL-2).

Simülasyon, incelenmek istenen herhangi bir sistemin, operasyonel niteliklere sahip bir benzerinin oluşturulması ve benzetme yoluyla modelin incelenerek sisteme ilişkin sonuçlara varılabilesidir (Frederick,1990).

Simülasyon yönteminin kökeni 1940 yılı sonlarında Stanislaw Ulam ve John Von Neumann'ın çalışmalarına dayanır. Nötronların hareketlerini inceleyen bu iki bilim adamı, karşılaştıkları matematiksel olarak çok karmaşık ve deneysel olarak çözümü çok pahalı olan nükleer savunma problemlerini çözmek için Monte Carlo Analizi adı altında bir yöntem geliştirmişlerdir. Bugünkü anlamda simülasyon yönteminin ilk kullanımı olan bu yöntem, olasılıklı olmayan bir matematiksel problemi, olasılık dağılımları matematiksel problemi andıran stokastik faaliyet üzerinde denemeler yaparak çözmeyi kapsamaktaydı (Sarıaslan 1996).

Simülasyon, tanımlayıcı bir modelleme sürecidir. Bu süreçte bağımlı ve bağımsız değişkenler, girdiler ve probleme konu olan elemanlar arasındaki ilişkiler belirlenmeye, sistemin özelliklerine ilişkin bilgiler toplanmaya çalışılır. Sistemin özelliklerinin belirlenmesinin ardından “ne-eğer” yaklaşımı kullanılarak, alternatif kararların model üzerinde denenir. Dolayısıyla simülasyon yönteminin çıktısı her zaman tanımlayıcı yapıdadır; optimal yada optimale yakın bir sonuca ulaşmak için bu sonuçlar kullanılabilir ve analitik çözümler için de bir girdi olabilir. Optimale yakın teriminin kullanılmasının nedeni; simülasyon modelinde tanımlanan şartlar altındaki optimal sonucun, sistemin bütün yönlerini kapsayacak şekilde optimalliği garanti etmemesidir. Sistemin modelinin oluşturulması aşamasında değerlendirmeye alınan alternatifler içerisinde en iyi sonucu veren alternatif belirlenebilir ancak aslında göz ardı edilen alternatiflerden birinin daha iyi bir sonuç verecek olması mümkündür (Kavcar, 2004).

Simülasyon (URL-2),

- Belirli kararların sonuçlarını ve gidişatlarını tahmin etmekte,
- Gözlemlenen sonuçların sebeplerini belirlemede,
- Yatırım yapmadan önce problem alanlarını belirlemede,
- Değişikliklerin etkilerini ortaya çıkarmada,
- Bütün sistem değişkenlerinin bulunmasını sağlamada,
- Fikirleri değerlendirmede ve verimsizlikleri belirlemede,
- Yeni fikir geliştirmeyi ve yeni düşünceyi teşvik etmede,
- Planların bütünlüğünü ve fizibilitesini test etmede,

kullanılır.

Bir sistemin simülasyon tekniği ile modellenmesinde öncelikle; model içi gerekli olan girdi, çıktı ve simülasyon sürecinin işleminde etkili olan değişkenler modele dahil edilir. Bunun için geçmişe ilişkin mevcut veriler ya da rastgele oluşturulmuş veriler farklı

kombinasyonlarda (örneğin; değişen üretim politikaları) modele konulardaki elde edilen çözüm sonuçları belli periyotlar içinde gözlemlenebilir. Dolayısıyla, modeli koşturulmasında sistem ile ilgili girdi, çıktı ve simülasyon sürecinde kullanılan değişkenler değiştirilerek model birçok kez çalıştırılır ve sonuçlar değerlendirilir (Başkent, 2004).

Simülasyon, deterministik ve stokastik olarak ikiye ayrılır. Deterministik simülasyon, bir sistemin gelecekteki durumunun mevcut bilgilerden tam olarak tahmin edilebileceğini varsayar. Diğer bir ifadeyle, bir sistem gerçek durumunu değil de, sadece ortalama durumunu tahmin etmeye çalışır. Stokastik bir simülasyon modeli bütün tahminlerin belirsizliğini açık bir şekilde kabul eder. Örneğin bir ağacın veya meşcerenin yıllık artımı, hava hallerindeki tahmin edilemeyen değişiklikler nedeniyle değişebilir. Belirsizlik aynı zamanda kesikli rastgele olaylar şeklini alabilir. Böyle olayların (örneğin fırtına, ve yangınlar) belirli bir zaman aralığında meydana gelmesi kesiklidir ve meydana gelme zamanları tam tahmin edilemediğinden rastgeledir (Buongiorno ve Giller, 2003).

Simülasyonun Avantajları (Başkent, 2004);

- Karar vericilere çok büyük esneklik sağlar.
- Modellerin geliştirilmesi, kullanımı ve yorumlanması kolaydır.
- Hayata geçirilmesi düşünülen stratejik kararların sonuçları ve uzun bir zaman yörüngesinde işleyen seyri gözlemlenebilir.
- Stratejik kararların çözümü sonucunda elde edilen sonuçların neden-sonuç ilişkilerinin ortaya konulmasında yardımcı olur.
- Orman ekosistemleri gibi dinamik yapısının anlaşılması çok uzun zaman gerektiren sistemlerin incelenmesine olanak sağlarlar.
- Optimizasyon tekniğinin kullanılmadığı sistemlerde başarıyla kullanılabilir.
- Gözlemlenmesi çok büyük zaman, emek ve para gerektiren sistem sonuçlarının daha az zaman, emek ve para ile elde edilmesinde kullanılırlar.
- Sistemin bir bütün olarak (çok sayıda ve özellikle değişkeni içerebilme özelliği) incelenmesine fırsat sağlar.
- Karar vericilerin farklı alternatifler üretmesine ve bu alternatifler arasında en iyi olanı veya olanlarını seçmesine yardımcı olurlar.

Simülasyonun Dezavantajları (Başkent, 2004);

- Optimal (en iyi) çözümü garantileyemezler.

- Doğrusal programlama ve tamsayı programlama teknikleri gibi matematiksel anlamda sınırları çiziliş yaygın bir çözüm algoritması yoktur.
- Alternatif stratejiler geliştirilmesini sağlamalarına rağmen, tek başların çözüm üretmezler.
- Simülasyon modellerine ilişkin programların geliştirilmesi zordur.
- Zaman süreçli problemlerde, bir planlama döneminde verilecek kararlar diğer dönemlerdeki muhtemel etkisi kestirilmeden alınmaktadır.
- Yine, zaman içerisindeki periyotlar arası mübadeleyi ele almakta yetersizdirler.
- Birden fazla amacı aynı anda eniyilemede etkisizdirler.

### 1.8.1.1. Ağaç ve Meşcere Simülasyonu

Ormanlar sürekli olarak değişen biyolojik sistemlerdir. Küresel çevrede örneğin iklim, arazi kullanımı, orman yangınları ve odun üretimi) meydana gelecek değişikliklerin, orman ekosistemlerinin üzerinde oluşturacağı değişiklikleri tahmin etmek için simülasyon modelleri geliştirmektedir. Planlama yapılırken karar verme aşamasında gerekli olan bilgileri elde etmek için bu değişiklikleri tahmin etmek gereklidir (Başkent, 2004). Uzun dönem arazi verilerinin varlığında orman dinamik yapısını (büyüme, süksesyon, kuruma, gençleşme ve ilgili meşcere değişimleri) tanımlayan orman simülasyon modelleri, orman işletmeciliğinde envanteri güncelleştirmek, gelecek orman hasılatını tahmin etmek ve değişen çevre koşulları altında tür karışımı, ekosistem yapısı ve fonksiyonun tahmin etmek için kullanılmaktadır (Peng, 2000).

Orman genel yapısının modellemede en önemli faktör, ormanı oluşturan meşcere ya da ağaçların büyüme ve artımının modellenmesidir. Simülasyon tekniği ile oluşturulacak bir büyüme modelinde değişken olarak meşcere özellikleri ya da ağaç özellikleri alınmaktadır. Başlıca meşcere özellikleri; meşcere üst boyu, yaşı, orta çapı, şekil emsali, birim alandaki ağaç sayısı, göğüs yüzeyi, ağaç hacmi, net ıskonto para oranı değeri ve bu özelliklerin artım miktarları, artım yüzdeleri, kuruma oranları ile aralarındaki sayısal ilişkiler olarak sayılabilir. Ağaç özellikleri ise; göğüs çapı, ağaç boyu, yaşı, şekil emsali, göğüs yüzeyi, gövde ve dal hacimleri, tepe çapı, tepe büyüklüğü, dallanma açısı, ağaç aralıkları gibi özellikler ve bunların artım değerleri, özellikler arasındaki çeşitli sayısal ilişkiler kullanılmaktadır. (Başkent, 2004; Kalıpsız 1998).



### 1.8.1.2. Hasılat Tabloları ve Meşcere Büyüme Modelleri

Amenajman planlarının lokomotifi olan meşcere büyüme modelleri (hasılat matrisleri) orman dinamiğinin kavranmasının esasını oluşturmaktadır. Çünkü karar verme sürecinde alternatifler oluşturulurken, uygulanacak müdahaleler karşısında ormanın zamana göre projeksiyonun yapılması, servet ve artımın zamana göre hesaplanması ve dolayısıyla optimal plana karar verilmesi ancak meşcere büyümesinin modellenmesiyle mümkündür. Amenajman planlarının biyolojik olarak geçerliliği de bu modellerin varlığı ve gerçekçiliği ile orantılıdır (Başkent, 2004).

Meşcerelerin kuruluşunu, artımını ve büyümesini veya diğer bir ifade ile verimini ve gelişimini yaşa ve bonitete bağlı olarak izlemeyi mümkün kılmak ve ormanların işletilmesinde izlenecek yolları ve uygulanacak yöntemleri açıklamak için saf müdahale görmemiş doğal meşcereler için ampirik hasılat tabloları geliştirilmiştir. Silvikültürel müdahale görmüş meşcere karakteristiklerine ait verilerin doğrudan bulunamamasına rağmen Kızılcım ve yöresel olarak ta olsa Ladin türleri için değişik sıklık derecelerine göre hasılat tabloları geliştirilmiştir (Usta 1991; Yeşil 1992; Mısır 2001).

Büyüme modelleri genel olarak meşcere ve tek ağaç modelleri olarak sınıflandırılır. Meşcere büyüme modelleri geliştirmenin bir yolu da tek ağaçların toplamı olarak düşünmektir. Tek ağaç büyüme modelleri, meşcere büyümesini tahmin için geliştirilmişlerdir. Birkaç kapsamlı ve öncü niteliğinde tek ağaç büyüme modeli Forest (Ek ve Monserud, 1974), Kızılcım (Sun, 1977), Prognosis (Wykoff vd., 1982), Doğu Ladini (Akalp,1983), Prognaus (Sterba ve Monserud, 1997) biçiminde sıralanabilir. Tek ağaç büyüme modelleri gelecekteki meşcere dinamiğine projeksiyon yapmayı sağlar. (Carus ve Çiçek, 2007).

Tek ağaçtaki artım çap, göğüs yüzeyi, boy ve hacim artımı olarak sınıflandırılabilir. Belirli yetişme ortamlarında tek ağaçların çap artımı ve büyümesi yaş, büyüklük, mikro çevre, genetik özellikler ve yarışma durumu (yarışma endeksi) vb. sayısız rastgele faktörler tarafından etkilenir. Ağacın büyüklüğü ve uzaysal pozisyonu onun komşuları ile ilişkisini, onun büyüme potansiyelini ve toprak altı ve üstü kaynaklarını kullanmadaki başarısını yansıtılabilir. Yarışma endeksleri bağımsız değişken olarak ağaç büyüme simülasyon modellerinde, ağacın büyüme, ölüm ve komşu ağaçlar ile yarışmadaki başarısını değişimi tanımlamak için kullanılır (Saraçoğlu, 1989).

Simüle edilecek ormanın öncelikle mevcut kuruluşu tanımlanır, işletme amacı belirlenir, potansiyel teknik müdahale yahut işletme tekniklerinin planlama ünitesine (örneğin meşcere) uygulanma kuralları tespit edilir ve her bir teknik müdahalenin uygulanacağı miktar hedef değeri olarak belirlenir. Bu işlemler yapıldıktan sonra, mevcut orman kuruluşu periyodik olarak ardışık çözümle belirlenen planlama yörüngesi sonuna kadar kestirilir. Simülasyonda özgün belirleyici unsurlar, hedeflerin ve kuralların önceden belirlenerek her bir periyottaki çözümün diğer periyotlardan bağımsız olmasıdır. Diğer bir ifadeyle, bir planlama döneminde verilecek kararlar diğer periyotlardaki muhtemel etkisi kestirilmeden alınmaktadır. Simülasyonun önemli bir eksikliğini oluşturan bu özelliğe karşın, orman dinamiği zaman boyutunda daha iyi kavranmakta ve verilecek kararlar ise anlaşılır ve sebep-sonuç ilişkilerine dayandırılarak daha isabetli olarak verilmektedir.

Ancak, bu yaklaşım tarzı karmaşık problemlerin çözümünde yetersiz kalmaktadır. Simülasyon yöntemi zaman içerisindeki periyotlar-arası mübadeleyi ele almakta yetersiz olduğu için optimal bir çözüm üretmez. Ayrıca birden fazla amaca simülasyon modellerinde yer verilemediğinden etkin değildirler. Oysaki orman amenajmanında birden fazla amaç yer almaktadır; bunların birçoğu birbiriyle çelişmekte, konumsal özellik içermektedirler ve genellikle optimal ya da optimale yakın çözümler gerektirmektedirler.

Simülasyon tekniği, konumsal problemlerin çözümünde etkin bir şekilde kullanılabilir. Bu amaçla birkaç model geliştirilmiştir. Bu modellere, GISFORMAN (Jordan ve Başkent 1992), HARVEST (Gustafson ve Crow 1994), LAMPS (Bettinger ve Lennette 2004) örnek olarak verilebilir.

### **1.8.2. Matematiksel Optimizasyon Teknikleri**

Optimizasyon; bir problemde belirli kısıtlamaları yerine getirmek koşuluyla en uygun çözümü bulma yöntemidir. Belirlenen kısıtlamalar probleme ait birden çok çözüme ulaşılmasını sağlayabilir, ancak optimizasyon bu çözüm kümesindeki en uygun çözümü elde etmelidir.

Bir problemin birden fazla çözümü varsa, en iyi çözümü bulmak gerekir. Aslında “en iyi” kavramı izafi bir kavramdır. Optimal çözüm, problemi formülize eden kişiye bağlıdır. Bazı problemlerin tam cevabı bulunurken, diğerlerini optimal noktalar ve ekstramumlar olarak bilinen değişik minimum ve maksimum noktalarına sahiptir (Haupt ve Haupt, 1998).

Matematikte optimizasyon terimi; bir gerçel fonksiyonu minimize ya da maksimize etmek amacı ile gerçek ya da tamsayı değerlerini tanımlı bir aralıkta seçip fonksiyona yerleştirerek sistematik olarak bir problemi incelemek ya da çözmek işlemlerini ifade eder (URL-3). Örneğin bu problem şöyle olabilir:

$f$  fonksiyonu:  $A$ 'dan  $R$  ye tanımlı ( $R$ :Reel Sayılar),

$A$ 'da öyle bir  $x_0$  var mı ki; tüm  $x$  değerleri için  $f(x_0) \leq f(x)$  ifadesini sağlasın ("minimizasyon") veya  $f(x_0) \geq f(x)$  ifadesini sağlasın ("maksimizasyon").

Böylesi bir formülasyona optimizasyon problemi ya da matematiksel programlama problemi denir. Pek çok gerçek ve teorik problemler bu genel çerçevede modellenebilir. Bu tür problemlerde " $A$  kümesi" genellikle, bir takım daraltıcı kısıtlar, eşitlikler ve eşitsizlikler ile yerine verilecek (denenecek) değerleri sağlayan öklidyen uzayın ( $R^n$ ) bir alt kümesidir.  $f$  fonksiyonundaki  $A$ 'nın tanım aralığına "arama uzayı",  $A$ 'nın alacağı değerlerin kümesine ise *çözüm adayları* ya da *olası çözümler* denir.

$f$  fonksiyonuna kar ya da maliyet fonksiyonu denir. İstenilen objeyi minimize ya da maksimize eden (amaca göre) olası  $A$  çözümüne ise "optimal çözüm" denir.

Optimizasyon işleminde ilk adım olarak karar parametreleri veya karar değişkenleri ya da tasarım parametreleri olarak da adlandırılan parametreler setinin tanımlanması gerekir. Sonra bu parametrelere bağlı olarak en küçük yapılacak (minimize edilecek) bir maliyet fonksiyonu veya en büyük yapılacak (maksimize edilecek) bir kar fonksiyonu ve problem ile ilgili sınırlama fonksiyonları tanımlanmalıdır. Maliyet fonksiyonu, daha iyi çözümü temsil eden parametre değerlerinin kullanılması durumunda daha düşük bir nümerik değer üretirken; kar fonksiyonu ise daha yüksek bir nümerik değer üretmektedir. Sınırlamalar, parametrelerin alamayacağı değerleri tanımlamakta ve karar parametrelerine bağlı olarak ifade edilmektedir. Bazı sınırlamalar eşitsizlikler, bazıları ise eşitlikler biçiminde olabilir (Nabiyev, 2005).

$N$  değişkenli  $x=(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n)$  vektörü tanımlansın. Burada  $x_i$ ,  $i$ . parametrenin değerinin değerini göstermektedir. Maliyet fonksiyonu;

$$f(x)=f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1)$$

aşağıdaki gibi tanımlanan  $p$  tane eşitlik sınırlamalarına

$$h_j(x)=h_j(x_1, x_2, \dots, x_n)=0 \quad 1 \leq j \leq p \quad (2)$$

ve yine aşağıdaki gibi tanımlanan  $m$  tane eşitsizlik sınırlamalarına

$$g_i(x) = g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad 1 \leq i \leq m \quad (3)$$

sahip olabilir. Bazı problemlerde birden fazla maliyet fonksiyonu bulunabilir. Yani, problem birden fazla en küçük yapılacak fonksiyon içerebilir. Bu tür problemler, çok amaçlı optimizasyon problemi olarak adlandırılır.

Problem için sınırlamaları sağlayan mümkün çözümlerin oluşturduğu bölge, araştırma yapılacak en çözüm bölgesi olarak adlandırılır. Optimum (en iyi) çözüm, en küçük yapılacak problem durumunda uygun bölgede en düşük maliyet değerine sahip çözümken, en büyük yapılacak problem durumunda ise en büyük amaç fonksiyon değerine sahip çözümdür.  $f(x)$  maliyet fonksiyonu,  $x^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$  çözümü,

$$f(x^*) \leq f(x) \quad (4)$$

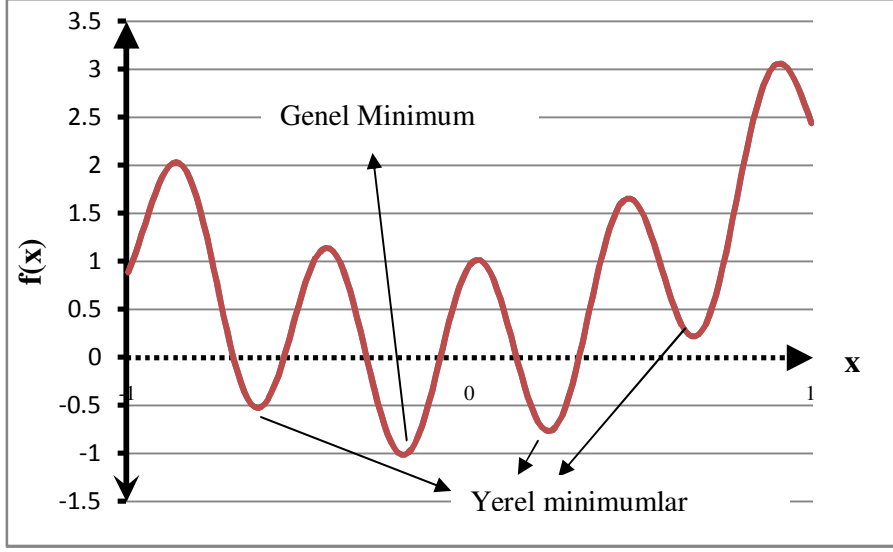
şartına uygun bölge  $S$  içindeki tüm çözümler  $x$  için sağlıyor ise  $f(x)$  fonksiyonu  $x^*$  de küresel minimuma sahiptir denir.

Eğer  $x^*$  da bulunan ve tüm  $x$ 'ler için  $\delta > 0$  iken

$$\|x - x^*\| \leq \delta \quad (5)$$

ifadesi Denklem 4 ile sağlanıyor ise  $f(x)$  fonksiyonu  $x^*$  da yerel minimuma sahiptir denir (Şekil 7).

Modellemede daha önceden sayısallaştırılan orman kuruluşu, hasılat matrisleri ve potansiyel işletme tekniklerine göre uzun vadeli kestirim yapılır. Ancak, burada planlama yörüngesi boyunca her bir planlama ünitesine uygulanabilecek tüm potansiyel alternatif müdahale listesi hazırlanır. Modelleme tekniği ise, hazırlanan bu alternatif potansiyel listeden belirlenen amacı yahut amaçları eniyileyen tek bir seçeneği çözüm olarak belirler. Optimizasyonda dikkat edilecek önemli husus, planlayıcının potansiyel listeyi hatasız ve kapsamlı hazırlayabilmesidir. Çünkü optimal çözüm matematiksel formülasyonla doğrudan orantılıdır.



Şekil 7. Yerel minimum ve genel minimumlar

Optimizasyon tekniğinin planlayıcıya sağladığı diğer önemli bir avantaj 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.

Matematiksel optimizasyon teknikleri, orman amenajman problemlerinin çözümünde yoğun olarak kullanılmasına rağmen özellikle ekosistem tabanlı ve konumsal planlamada bir kısım kısıtlayıcı koşullara sahiptir. Karar değişkenleri arasında doğrusal ilişki olmalıdır, ancak orman ekosistem planlamasında bazı karar değişkenleri arasında doğrusal ilişki olmayabilir. Doğrusal programlama formülasyonları konumsal kısıtlar veya arzu edilen konumsal koşulları ele alma yeteneğine sahip değildir. Model çözümü sonucunda kesirli sonuçlar vermektedir. Bu durum ise uygulamada ciddi sorunlar yaratacağından arzu edilmeyen bir sorun teşkil etmektedir. Konumsal özellikleri içeren bir orman ekosistem planlamasında, karar değişkenleri ve planlama kısıtları sayısı artacak ve dolayısıyla matris boyutu aşırı derecede büyüyeceğinden optimal çözüm zorlaşacaktır. Matematiksel optimizasyonda karar değişkenleri katsayıları daha önceden belirlenen belirgin değerlerdir, yani ortaya çıkan model deterministik yapıdadır. Oysaki orman ekosistemleri doğaya açık bir sistem olduğundan, çevre etkileri nedeniyle olayların meydana gelişi olasılıklara dayanmaktadır, gerçekte stokastik yapıdadır. Orman amenajman problemleri matematiksel programlama teknikleri çerçevesinde formüle edilmelidir. Örneğin, üretim blokları uygun

çözümün sağlanması için problemde, karar değişkenlerinin tanımlanması ve kısıtlarla ilişkiye getirilmesi için ön tanım yapılması gerekir. Böyle bir ön tanım yahut belirleme, daha iyi çözüm arayışında, alternatif konumsal düzenleri ve silvikültürel müdahaleleri kısıtlamaktadır.

Bununla birlikte, ormanların konumsal yapısının DP tekniği ile kontrol edilmesi için bazı fırsatlar bulunmaktadır. Örneğin, ekolojik açıdan önemli olan orman parçaları belirlenerek bu alanlara özgü silvikültürel müdahaleler tahsis etmek mümkündür. Ayrıca, ekosistem içinde bağlantıyı artıran statik koridorlar bir takım kısıtlarla yaratılabilir, örneğin dere veya yollara yakın alanlarda bu tür kısıtlayıcılar uygulanabilmektedir (Nalli vd. 1996; Nasset 1997). Günümüze kadar doğrusal programlama tabanlı pek çok model geliştirilmiştir. Bunlar, TimberRAM (Navon 1971), FORPLAN (Johnson ve Stuart 1986), MELA (Siitonen 1993) ve WOODSTOCK (Walters 1993) örnek olarak verilebilir.

Doğrusal programlama ve amaç programlama (AP) teknikleri orman amenajmanında kullanılan önemli optimizasyon teknikleridir. Optimizasyon teknikleri ile orman amenajman problemlerinin çözümünde genel olarak, belirli bir işletme müdahalesi veya silvikültürel müdahale altında işletilen bir alanın yüzde, hacim veya alanı üzerine yoğunlaşan sürekli değişkenler ile formüle edilmektedir (Murray/Snyder 2000). Optimizasyon tekniklerinin önemli özellikleri; planlamayı bir bütün olarak ele alması, çözüme sistematik yaklaşması ve optimal çözümü garantilemesidir.

### 1.8.3. Doğrusal Programlama

Doğrusal programlama, amaç fonksiyonu ve kısıtlayıcı fonksiyonların doğrusal fonksiyonlarla ifade edildiği, eğer kısıtlayıcıları sağlayan bir çözüm varsa en iyi çözümü bulmayı garanti eden bir optimizasyon tekniğidir. Doğrusal programlama tekniğinin bir takım belirleyici özellikleri vardır (Başkent, 2004);

- *Doğrusallık*: Amaç fonksiyonu ve kısıtlayıcı fonksiyonlar türevlenebilir birinci dereceden fonksiyonlar olması gerekir.
- *Bölünebilirlik*: Her bir karar değişkeninin alabileceği değer tamsayı veya reel sayı cinsinden olabileceğini belirtir.
- *Tek Amaç*: Çözülecek problemin tek amaçlı olması gereklidir. Tek amaç fonksiyonu bulunmalıdır.

- *Kısıtlayıcı Faktörler:* Amaç fonksiyonunun maksimizasyonu veya minimizasyonu bir takım sınırlandırıcı faktörlere bağlıdır.
- *Pozitiflik Koşulu:* Her bir karar değişkeninin çözümde alacağı değer pozitif olmalıdır.

Doğrusal programlamanın bu belirleyici faktörleri göz önünde bulundurularak problemler aşağıdaki denklemle matematiksel olarak ifade edilebilir.

Amaç fonksiyonu;

$$\text{Max (veya min)} Z = c^T X \quad (5)$$

Kısıtlar;

$$A_1 X \leq b_1 \quad (6)$$

$$A_1 X \leq b_1 \quad (7)$$

kısıtlayıcılar eşitlik veya eşitsizlikler şeklinde olabilir.

Pozitiflik koşulu;

$$X \geq 0 \quad (8)$$

$$\begin{bmatrix} 1 & -c^T & 0 \\ 0 & A & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z \\ x \\ x_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ b \end{bmatrix} \quad (9)$$

Doğrusal programlama modeli genel olarak grafik metodu veya simpleks metodu ile çözülebilir. Doğrusal programlama problemleri değişken sayısı üçü geçmedikçe grafik metodu ile çözmek mümkündür.

### 1.8.3.1. Grafik Metodu

İki değişkenli problemlerin grafiksel olarak doğrusal programlama ile çözümünde ilk önce kısıtlamalar sistemine karşılık gele çokgen çizilir ve onun herhangi bir noktasından doğrusal biçimli denklem doğrusu geçirilir. Sonra ise paralel şekilde bu doğru (en büyük ve en küçük aranmasına bağlı olarak gradyan yönünde) kaydırılarak en iyi çözüme erişilir.

Çözüm çokgenin tepe noktalarından biri üzerinde yerleşmektedir. Üç serbest değişken olduğunda eşitsizlik sistemine üç boyutlu uzayda dışbükey bir çokgen karşılık düşecektir ve doğrusal biçimde verilmiş  $f$  fonksiyonu seviye düzlemi denilen düzleme karşılık gelecektir. Bu durumda da problemin çözümünü 2 serbest değişkende olduğu şekilde çözmek mümkündür. Bu çözüm iki tepe noktasını da içerebilmektedir (örneğin iki serbest değişkenli durumda çokgenlinin herhangi bir tarafına paralel olursa). Bu durumda doğrunun her noktası optimum olacaktır (Nabiyev, 2005).

### Örnek 1:

Amaç fonksiyonu :

$$\text{maksimum } Z = 5 * x_1 + 4 * x_2$$

Kısıtlar :

$$6 * x_1 + 4 * x_2 \leq 24$$

$$x_1 + 2 * x_2 \leq 6$$

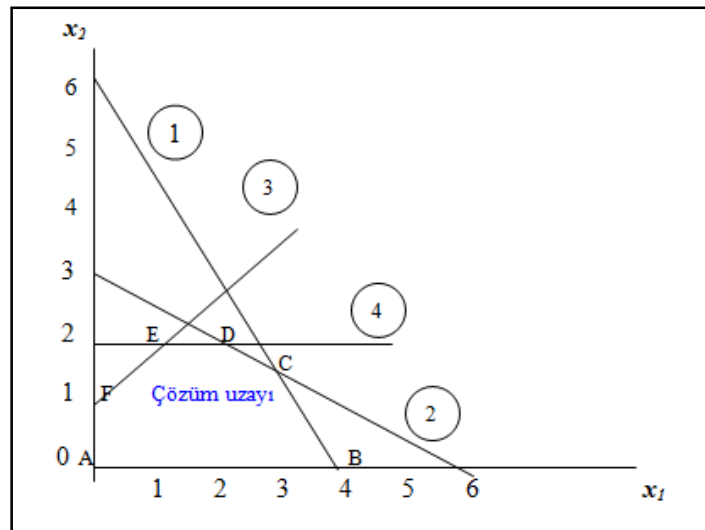
$$- x_1 + x_2 \leq 1$$

$$x_2 \leq 2$$

Pozitiflik koşulu :

$$x_1, x_2 \geq 0$$

Kısıtları bir koordinat sisteminde göstermenin en kolay yolu, eşitsizlikleri eşitlik şeklinde düşünerek bunlara ait doğruların çizilmesidir. Daha sonra eşitsizliğin işaretine göre doğrunun altında ya da üstünde kalan bölge çözüm bölgesi olarak seçilir.



Şekil 8. Denklemlerin koordinat sistemine aktarılması

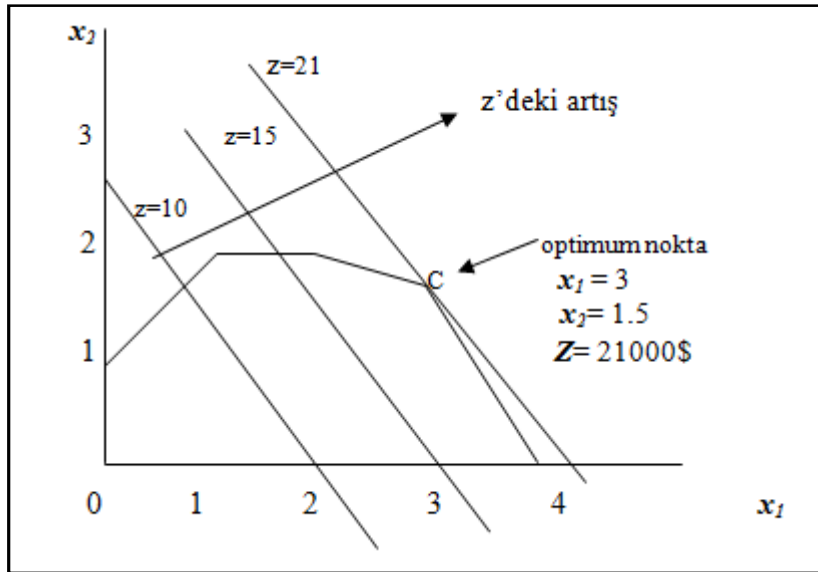


Optimum çözümün belirlenmesi için amaç fonksiyonunun artış yönünün bilinmesi gerekir. Bu da  $Z'$ e keyfi değerler atayarak yapılabilir.  $Z'$  e önce 10 sonra 15 değerleri verilerek;

$$5 * x_1 + 4 * x_2 = 10 \quad \text{ve}$$

$$5 * x_1 + 4 * x_2 = 15 \quad \text{doğruları çizilir.}$$

Amaç fonksiyonunun daha artırılması durumunda ABCDEF uygun çözüm uzayının dışına çıkılacaktır. Şekil 9'da çözüm uzayının dışına C noktasından çıkıldığı görülmektedir. Dolayısıyla uygun çözümü içeren nokta C noktasıdır. C noktası 1 ve 2 numaralı kısıtların kesişim noktası olduğu için buradan  $x_1 = 3$  ve  $x_2 = 1.5$  bulunur. Optimum çözümün çözüm uzayının komşu köşe noktalarından birinde bulunması rastlantı değildir. Amaç fonksiyonunun eğimi değiştirilse bile, yeni çözüm yine köşe noktalarından birinde olacaktır.



Şekil 9. Grafik yöntemi ile simpleks algoritması

### 1.8.3.2. Simpleks Metodu

Dört veya daha fazla serbest değişkenlerde ise grafik çözüm hiçbir işe yaramayacaktır ve bunun için Amerikan bilim adamları Dantzig, Kupmans ve Takker'ın

ortaya attığı daha sonra 1949 senesinde Dantzig tarafından bilgisayarda uygulanabilecek bir biçimde dönüştürülen Simpleks yöntemi kullanılır.

Bir doğrusal programlama modelinin Simpleks yöntemi ile çözümünde temel olarak başlıca şu aşamalar izlenir (Başkent, 2004):

- Doğrusal programlama modelinin standart forma dönüştürülmesi,
- Başlangıç simpleks tablosunun oluşturulması,
- Optimal çözümün ardışık (iterasyon) çözüm yöntemiyle elde edilmesi.

Bir modelin standart forma dönüştürülmesi için aşağıdaki işlemlerin yapılmış olması gerekir (Taha, 2007):

• Eşitsizliklerin eşitlikler haline getirilmesi:  $\leq$  (veya  $\geq$ ) şeklindeki bir eşitsizlik, sol tarafına bir dolgu (veya artık) değişkeni ilavesiyle eşitlik haline getirilebilir.

$\leq$  kısıtıyla karşılaşıldığında, örneğin,  $x_1 + 2x_2 \leq 3$  eşitsizliği,  $x_1 + 2x_2 + s_1 = 3$  eşitliğine eşdeğerdir. Burada  $s_1 \geq 0$  olup, dolgu değişkeni adını alır.

$\geq$  kısıtıyla karşılaşıldığında, örneğin,  $x_1 + 2x_2 \geq 3$  eşitsizliği,  $x_1 + 2x_2 - s_1 = 3$  eşitliğine eşdeğerdir. Burada da  $s_1 \geq 0$  olup, dolgu değişkeni adını alır.

Bir eşitliğin sağ tarafı mutlaka negatif olmama koşuluna uymalıdır. Hata bunu sağlamak için gerekirse -1 ile çarpılır.

• Sınırlandırılmamış değişkenlerin negatif olmayan değişkenler haline getirilmesi: Sınırlandırılmamış bir  $x_j$  değişkeni, negatif olamayan iki değişken cinsinden aşağıda gösterildiği gibi ifade edilebilir:

$$x_j = x_j^+ - x_j^- , x_j^+, x_j^- \geq 0 \quad (10)$$

Örneğin  $x_j = -5$  için  $x_j^+ = 0$  ve  $x_j^- = 5$  yazabiliriz. Bir değişkenin yerine başka değişkenler kullanılması işlemi tüm kısıtları ve amaç fonksiyonunu da etkileyecektir. Problem  $x_j^+$  ve  $x_j^-$  cinsinden değişkenlerle çözüldükten sonra, orijinal değişkenin değeri tersi bir işlemle belirlenmelidir.

• Maksimizasyonun minimizasyona dönüştürülmesi: Bir  $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  fonksiyonunun maksimizasyonu,  $-f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  fonksiyonunun minimizasyonu ile eşdeğerdir. Her iki problem de aynı  $x_1, x_2, \dots, x_n$  optimum değerlerine sahiptir.

### 1.8.3.3. Başlangıç Simpleks Tablosunun Oluşturulması

Başlangıç simpleks tablosunu oluşturulmasında dikkat edilecek önemli husus, temel değişkenlerin belirlenmesidir. Burada temel değişkenler, başlangıç simpleks tablosunda yahut herhangi bir iterasyon sonucu oluşan bir ara Simpleks tablosunda çözüme giren tüm karar değişkenleri ifade edilir. Başlangıç simpleks tablosu aynı zamanda uygun bir çözümü gösterir (Başkent, 2004). Başlangıç simpleks tablosunda;

- $\leq$  eşitsizliği durumunda  $S$  artık değişkeni,
- $=$  durumunda  $A$  yapay değişkeni
- $\geq$  eşitsizliği durumunda ise  $A$  yapay değişkeni temel değişken olarak alınır.

Kısıtların (  $\leq$  ) yönünde olması durumunda artık değişkenler eklenerek problem standart hale getirilebilir. Ancak ( $=$ ) ve ( $\geq$ ) yönündeki kısıtlar için artık değişken eklemek yerine çıkarmak gerekir ki bu da başlangıç uygun çözümünü bozar. Bunu önlemek için bu tür kısıtlarda yapay değişkenler kullanılmaktadır. Yapay değişkenler başlangıç tablosunda taban değişkenleri oluştururlar, daha sonra bu değişkenler tabandan çıkarılmaya çalışılır. Artık değişkenlerin amaç fonksiyonundaki katsayıları sıfır olmasına karşın, yapay değişkenlerin amaç fonksiyonundaki katsayıları çok büyük pozitif değerli bir sayıyı gösteren  $M$  sayısıdır.  $M$  aynı zamanda bir ceza katsayısıdır. Bu ceza nedeniyle yapay değişkenler iterasyonlar sonunda sıfır değerini almaya çalışacaktır.

Örnek:

Amaç fonksiyonu:

$$\text{Minimum } Z = 3 * x_1 + 8 * x_2$$

Kısıtlar :

$$x_1 + x_2 = 200$$

$$x_1 \leq 80$$

$$x_2 \geq 60$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

Modeli standart hale getirmek için dolgu değişkenleri ekleyelim.

$$Z = 3 * x_1 + 8 * x_2 + 0 * S_1 + 0 * S_2 + M * A_1 + M * A_2$$

$$x_1 + x_2 + A_1 = 200$$

$$x_1 + S_1 = 80$$

$$x_2 - S_2 + A_2 = 60$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

Tablo 1. Simpleks Tablosu

Taban değişkeni	Z	3 x1	8 x2	M A1	0 S1	0 S2	M A2
A1	200	1	1	1	0	0	0
S1	80	1	0	0	1	0	0
A2	60	0	1	0	0	-1	1
$z_j$	260M	M	2M	M	0	-M	M
$C_j - Z_j$		3-M	8-2M	0	0	M	0

#### 1.8.3.4. Simpleks Algoritması

Simpleks algoritması daima uygun bir çözümle başlar ve sonra amaç fonksiyonunun daha da iyileştirildiği başka uygun bir temel çözüm aramaya başlar. Daha iyi başka bir uygun temel çözüm ise, mevcut temel dışı değişkenlerden birinin sıfır olan değerinde bir artış olmasıyla mümkündür. Mevcut sıfır değerli değişkenin değerinin pozitif olabilmesi, mevcut temel değişkenlerden birinin temel çözümden çıkması (sıfır değerli temel dışı değişken haline gelmesi) ile mümkündür. Çünkü yeni çözümün mutlaka m temel değişkeni içermesi ancak böyle mümkün olabilmektedir. Simpleks yöntemde seçilmiş olan sıfır değerli değişkene giren değişkeni çözüm dışı kalması istenen temel değişkene de çıkan değişken adı verilir (URL-4).

Simpleks Maximizasyon Metodundaki 11 Aşamanın Özeti;

- Adım - 1) Problemin kısıtlamalarını eşitsizlikler şeklinde kur.
- Adım - 2) Yapay değişkenler eklemek suretiyle eşitsizlikleri denklemlere dönüştür.
- Adım - 3) Denklemleri simpleks tablosunda yerleştire.
- Adım - 4) Başlangıç çözümü için  $C_j$  ve  $Z_j$  değerlerini hesapla.
- Adım - 5) En büyük  $C_j - Z_j$  değerine sahip sütunu optimum sütun seç.
- Adım - 6) Miktar sütunundaki değerlerin karşılıkları olan optimum sütun verilerine bölünmesi ile elde edilen oranların içinde en küçük pozitif olanı seçerek yer değiştirecek satırı belirle
- Adım - 7) Yeni satırın değerlerini hesapla
- Adım - 8) Kalan satırların değerlerini hesapla.

Adım - 9) Yeni çözüm için  $C_j$  ve  $Z_j$  değerlerini hesapla.

Adım - 10) Pozitif bir  $C_j - Z_j$  değeri bulursan 5'inci aşamaya dön.

Adım - 11) Hiçbir pozitif  $C_j - Z_j$  değeri kalmadıysa optimum çözüme ulaşıldı demektir.

#### 1.8.4. Sezgisel Arama Yöntemleri

Konumsal planlama problemleri bütünlük yapıda karmaşık problemler olup, bu tür problemleri içeren modellerde çözüm arayışı samanlıkta iğne aramaya benzetilmektedir. Sezgisel arama yöntemi, problemin durum uzayı çok büyük olduğunda, çözümün aranmasını kesin biçimde sınırlayan herhangi bir kural, strateji, hile, sadeleştirme gibi faktörlerin kullanımınıdır. Sezgisel algoritmalar, probleme bağımlı algoritmalarlardır. Yani bir problemde başarılı olurken diğer bir problem için aynı şekilde başarılı olmayabilirler.

Problem çözerken iki temel amaç vardır: hız ve doğruluk. Sezgisel algoritmalarda genellikle bu amaçlardan birisi göz ardı edilir. Yani 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-5).

Yerel arama yöntemleri olarak ta bilinen klasik sezgisel arama yöntemlerinde 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-6).

Bir kombine optimizasyon yahut üst sezgisel teknik, problemi tanımlayan karar değişkenlerinin potansiyel tüm çözüm kombinasyonlarını denemeden sadece bazılarını ardışık çözümle değiştirmek suretiyle optimal çözüme ulaşmayı hedefler. Diğer bir ifadeyle, tekniğin çözüm esası, ardışık çözüm aramanın problemin belli kısımlarına yoğunlaştırılmasına dayanır. Bu şekilde her bir iterasyonda elde edilen alt çözümler, bütünsel yaklaşımla ele alınarak ustaca bir araya getirilir (Murray ve Snyder 2000; Başkent ve Jordan 2002; Kurttila 2001). Burada, matematik optimizasyon tekniklerinde olduğu gibi bir matris oluşturma olmadığı gibi kullanılan katsayılar da deterministik olmayabilir. Temelde bir meta-buluşsal yöntem birden fazla alt algoritmalar içeren karma bir arama tekniğidir, öyle ki; çok geniş problem alanı içerisinde yer alan lokal çözüm bölgelerini ince

bir ustalıklarla birleştirir. Bu yöntemler, matematiksel olarak formüle edilmesi güç olan bir problemi, isteğe bağlı kurallara göre formüle etme yeteneğine sahiptirler (Glover ve Laguna 1997). Genel yapısı amaç programlamaya benzeyen bu yöntemlerde; bir kombine amaç denklemi, her bir amaca ilişkin hedefe ulaşım kuralları ve gevşetilmiş bir takım kısıtlardan oluşmaktadır. Kombine amaç denklemi genellikle minimizasyon şeklinde olup her bir amacın daha önceden belirlenen hedefinden sapma durumuna göre verilen ceza miktarlarının toplamını ifade etmektedir (Başkent ve Jordan 2002).

Konumsal orman ekosistem amenajmanı problemlerinin çözümünde kullanılan bu tekniklerden Monte Carlo tamsayılı programlama için Nelson ve Brodie (1990), Daust ve Nelson (1993), Barrett vd. (1998); tavlama benzetimi algoritması için Lockwood ve Moore (1993), Murray ve Church (1995), Tarp ve Helles (1997), Öhman ve Eriksson (1998) ve Başkent ve Jordan (2002); tabu arama algoritması için Murray ve Church (1995), Bettinger vd. (1997, 1998), Richards ve Gunn (2000) ve Caro vd. (2003); genetik algoritma için Mullen ve Butler (1997) ve Moore vd. (2000) örnek olarak verilebilecek temel çalışmalardandır. Bununla birlikte, konumsal planlamada interchange algoritması (Murray ve Church 1995), dinamik programlama (Borges vd. 1999) gibi farklı kombine optimizasyon teknikleri de kullanılmaktadır.

### **1.8.5. Tavlama Benzetimi**

Tavlama Benzetimi (TB) algoritmasının temelini oluşturan fikirler, ilk olarak Metropolis (Metropolis vd., 1953) tarafından önerilmiştir. TB algoritması, malzemelerin sıcak banyolarda soğutulmasından -tavlama olarak bilinir- 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 vd., 2008).

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 (URL-7). Bir başlangıç noktasından başlanıp, nokta rastgele değiştirilebilir. 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.

Adım - 1)  $x_i$  başlangıç noktası ( $i = 0$ ) seçilir,  $f(x_i)$  hesaplanır.

Adım - 2) Nokta  $x_{i+1} = x_i + \Delta x_i$  şeklinde rastgele bir hareketle ötelenir,  $f(x_{i+1})$  hesaplanır.

Adım - 3)  $f(x_{i+1}) < f(x_i)$  ise yeni hareket noktası  $x_{i+1}$  olur, değilse yeni hareket noktası  $x_i$  olarak kalır.

Adım - 4) 2,3 işlemleri yeni hareket noktası için yinelenir.

Adım - 5) Hareketin durduğu  $i$  zaman adımında fonksiyonun minimumu bulunmuş olacaktır.

Tepe Tırmanış (Hill Climbing) algoritması olarak ta 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 çözümünün 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 termodinamik ile ilgili bir çalışmasından esinlenilerek bulunmuştur. Termodinamik kanunları,  $t$  sıcaklığında, enerjinin  $\Delta E$  büyüklüğünün artış olasılığının aşağıdaki gibi olduğunu gösterir:

$$p(\Delta E) = \exp(-\Delta E / kt) \quad (11)$$

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

Adım - 2) 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 - 3) 2. Adım yeni hareket noktası için yinelenir.

Adım - 4) Hareketin durduğu önceden belirlenmiş olan  $s$  zaman adımında (yeterince büyük seçilmişse) fonksiyonun bir minimumu bulunmuş olacaktır.

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 algoritmada kritik olan şey  $T$  parametresinin seçimidir.  $T$  seçiminde iki uç durum,

- $T$  çok büyük seçilirse  $f(x_{i+1}) > f(x_i)$  durumunda algoritmadaki 2-a-iii 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 algoritmadaki 2-a-iii adımı hiç bir zaman gerçekleşmeyecek bu durumda hareketin sonlandığı yer fonksiyonun



bulunan ilk minimumu olacaktır. Bu durumda bu tur bir algoritmanın ilk bölümdeki algoritmadan 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.

$T$ 'nin küçük seçilmesi, hareketin yerel bir minimumdan kurtulamamasını, büyük seçilmesi ise hareket global minimumdan geçse dahi global minimumu veren noktayı hassas bir biçimde bulamamasını getiriyordu. Tavlama benzetimi ile bu sorunlar giderilir. Program, uzayda belli bir  $x$  başlangıç vektöründen ikinci kısımda anlatıldığı gibi yüksek bir  $T$  parametresi için hareket başlatır. Hareket sırasında ziyaret edilen noktalardan en küçük  $f(x)$  değerini veren nokta bir sonraki hareketin başlangıç noktası olur. Bir sonraki harekette  $T$  değeri belli bir miktar azaltılır.  $T$ 'nin belli bir değerine varıldığında program sonlanır.

TB ile fonksiyon minimumu bulmada kullanılabilecek olası bir algoritma şu şekildedir;

Adım - 1)  $T$  için başlangıç 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 hareket kabul edilir, değilse reddedilir.

Adım - 4) 3 ve 4. Adımları yeni hareket noktası için yinelenir.

Adım - 5) Fonksiyonun en küçük değerini veren  $x$  bulunur ( $x'$ )

Adım - 6)  $T$  azaltılır

Adım - 7) Yeni  $T$  için 2-6 arası işlemler, hareketin başlangıç noktası 6 da bulunan  $x'$  olacak şekilde uygulanır.

Adım - 8)  $T$ , programın başında belirlenen değere indiğinde program durur.

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 harekettten 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

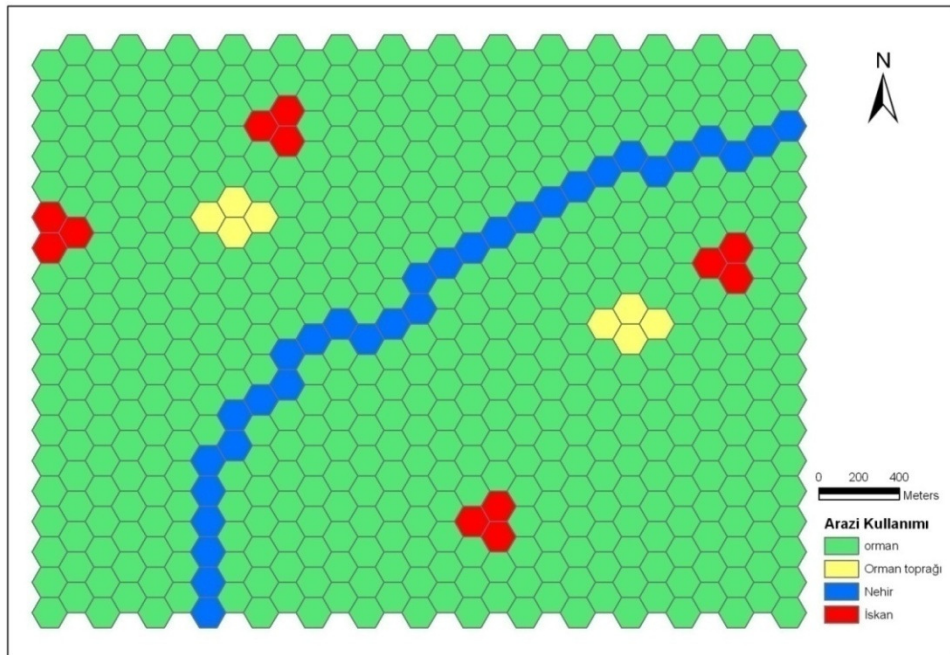
Tüm bu değişkenler hakkında birkaç deneme sonunda sağlıklı bir secim yapılabilir.

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).

## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

### 2.1. Deneme Alanlarının Hazırlanması

Bu çalışma kapsamında geliştirilen klasik simülasyon ve optimizasyon ile konumsal simülasyon ve optimizasyon modellerini test etmek amacıyla ArcGIS programı yardımıyla hipotetik bir orman veri tabanı kurulmuştur. Bu veri tabanında 551 Adet 2 hektar (ha) büyüklüğünde altıgen poligonlardan oluşan bölmecikler hazırlanmıştır. Altıgen poligonların seçilmesinin sebebi, komşulukların net bir şekilde görülmesi ve her bir bölmecik yanındaki bölmeciklere tek nokta ile (teğet) komşu olmamasının istenmesidir. 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. Ayrıca bu veri tabanı bölmeciklerin birleştirilmesi ile büyük-küçük ve büyük parçalı iki ayrı veri tabanı daha türetilmiştir (Şekil 10). Veri tabanlarındaki meşcere parametreleri (boy, üstboy, hacim, artım, göğüs yüzeyi vb.) yaşa bağlı olarak sarıçam ağaç türüne ait hasılat tablosundaki değerlerin %90'ına karşılık gelecek şekilde belirlenmiştir. Bu sayede farklı aktüel yapı ve konumsal özelliklerin geliştirilen modelin çözümünü nasıl etkileyeceği belirlenebilecektir.



Şekil 10. Deneme amaçlı oluşturulmuş konumsal veri tabanı

Tüm poligonların alanı 2 ha olarak sabit alınmış, bu sayede konumsal planlama için belirlenen kontrol parametrelerinden blok alanı ve açma alanı değerleri kolaylık kontrol edilebilmiştir.

Konumsal parametreler göz önünde bulundurularak hazırlanan bu veritabanı, orman yapısının modellenmesi için temel teşkil edecektir. Orman yapısı ETÇAP yaklaşımı göz önünde bulundurularak modellenmiştir.

## **2.2. ETÇAP Yaklaşımının Modellenmesi**

ETÇAP'ın temel bileşenleri; planlama hedeflerinin belirlenmesi, orman ekosistem envanteri ve konumsal veri tabanının kurulması, ön zonlama, orman fonksiyonlarının sayısallaştırılması, planlama amaç ve hedeflerinin ortaya konulması, silvikültürel müdahale seçeneklerinin kararlaştırılması, en uygun planlama tekniğinin seçilmesi ve amenajman plan çıktılarının elde edilmesi şeklindedir.

Yapılan bu çalışmada özellikle envanteri çıkarılmış ve konumsal veri tabanını kurulmuş orman ekosistemi için orman kaynaklarının sayısallaştırılmasından amenajman plan çıktılarının elde edilmesi aşamasına kadar olan kısmı modellenmiştir.

### **2.2.1. Temel Bileşenlerin Tasarlanması**

Orman yapısını oluşturmak için kullanılan temel bileşen bölmeciktir. Bölmeçiğin zamana bağlı olarak değişen ve değişmeyen değerleri bulunur. Zamana bağlı olarak değişmeyen değerler Bolmecik\_Sabit isimli bir sınıfla tanımlanmakta ve bir defaya mahsus olmak üzere belleğe yerleştirilmektedir.

Zamanla değişen değerler Bölmecik\_Aktif isimli sınıfla temsil edilir. Bolmecik\_Aktif sınıfı aynı zamanda Bolmecik\_Sabit sınıfını da içerir. Bu şekilde bölmeçiğin aktif değerleri değişirken sabit değerlere de ulaşım sağlanabilmektedir.

En az bir ortak özelliği bulunan bölmecikleri bir arada tutmak için oluşturulan sınıf yapısıdır. Başlangıçta ormandaki bütün bölmecikler tek bir bolmecik\_grubu yapısı içerisinde ele alınmıştır. Daha sonra ormanla ilgili özet bilgiler elde etmek için veya müdahale edilecek bölmecikleri ayırt etmek için bu yapı kullanılmıştır ve alt gruplar oluşturulmuştur. Modelde işletme sınıfları, yaş sınıfları, ağaç türleri, meşcere kodları,

fonksiyon özelliklerine göre alt gruplar oluşturulabilmektedir. Bu yapı sayesinde alt grupların sayısı daha da artırılabilir.

### **2.2.2. Müdahalelerin Belirlenmesi**

#### **2.2.2.1. Müdahale Stratejileri**

Stratejik amenajman planı yapmak amacıyla belirlenen planlama yörüngesi boyunca (örneğin 100 yıl) her bir bölmeçiğe uygulanabilecek alternatif müdahaleler mevcut durum, uygulanabilirlik, belirlenen silvikültürel amaçlar ve orman işletme amaçları doğrultusunda belirlenir. Silvikültürel müdahalelerin amacı, işletme amacını eniyileyecek şekilde bölmeçiğin gelişimini düzenlemek ve en iyi müdahale setini (rejimi) bulmaktır (Keleş,2009). Gerçekte tıraşlama kesimi, siperde kesim, seçme kesimi, dikim, sıklık bakımı, aralama kesimleri gibi farklı silvikültürel müdahale çeşidi vardır. Çalışma kapsamında yalnızca silvikültürel müdahale olarak; gençleştirme, bakım ve ağaçlandırma olmak üzere 3 farklı seçenek ele alınmıştır. Birçok müdahale çeşidi bu 3 seçeneğin türevleri olarak üretilmiştir. Bunların dışında istenirse sisteme daha fazla müdahale seçeneğinin eklenebilmesi için genel bir Müdahale sınıfı tanımlanmış ve diğer 3 müdahale çeşidi de bu sınıftan türetilerek hazırlanmıştır.

#### **2.2.2.2. Gençleştirme**

Kullanıcı tarafından belirlenen minimum kesim yaşını doldurmuş bölmecikler, bir periyot genişliği kadar (10-20 yıl) süre içerisinde kesilmesi ve yerine daha genç ağaçların getirilmesi müdahalesidir. Gelen gençlik yani ilk yaş sınıfında olduğu kabul edilen bölmecik hasılat tablosu büyüme eğrisi dikkate alınarak modellenmektedir. Gençleştirme onucu oluşan üretim miktarına *son hasılat etası* denir.

#### **2.2.2.3. Bakım**

Bu müdahale seçeneğinde bölmecikteki ağaçların hepsi kesime tabi tutulmaz. Bölmeçiğin belirlenen yaşlarında kullanıcı tarafından belirlenen oran nispetinde (% değer olarak) servet miktarı alınacak şekilde yapılan bir müdahale türüdür. Bakım müdahale

yapılmış bir bölmeçiğin yaşı değişmez. Bakım kesimleri sonucu elde edilen gelire *ara hasılat etası* adı verilir.

#### **2.2.2.4. Ağaçlandırma**

Orman alanı özelliği taşıyan, orman içi açıklıklar yada orman toprağı alanlarının belirlenen kriterlere göre belli periyotlarda istenilen türler ile ağaçlandırılmasıdır.

#### **2.2.3. Müdahale Önceliklerinin Belirlenmesi**

Müdahale önceliğı, hangi bölmeciklerin daha önce gençleştirme, bakım yada ağaçlandırma müdahalesine tabi tutulacağını göstermektedir. Genel olarak;

- En yaşlı bölmeciklerin kesilmesi,
- En fazla artım kaybı olan bölmeciklerin kesilmesi
- En fazla hektarda serveti olan bölmeciklerin kesilmesi
- En yüksek bonitete sahip alanları ağaçlandırması
- Yola en yakın alanların ağaçlandırması

gibi öncelikler vermek suretiyle bölmecikleri belli bir sıraya koyarak müdahale edilmektedir.

#### **2.2.4. Geçişlerin Tanımlanması**

Geçişlerin tanımlanmasında amaç, herhangi bir bölmeçiğe yapılan müdahale sonucu, oluşacak yeni meşcere yapısının hangi ağaç türü kompozisyonundan yada hangi yetiştirme ortamı verim gücüne sahip olacağını belirlemesidir. Şekil 11'de görüldüğü üzere idare süresini doldurmuş bir Çsd2 meşçeresi, gençleştirme müdahalesi sonucu Çsa3 meşcere yapısına dönüşeceği gösterilmiştir. Aynı zamanda geçişler belirlenirken, analiz alanlarının boniteti ve o meşcere tipine geçmesinin yüzde olasılık oranı da belirtilmektedir.

Müdahaleden Önceki Durumu		Müdahaleden Sonraki Durumu			
Meşcere Tipi	Bonitet	Müdahale Türü	Meşcere Tipi	Bonitet	Geçiş Oranı
Çsd2	3	<input type="radio"/> Bakım <input checked="" type="radio"/> Gençleştirme	Çsa3	3	100

Şekil 11. Örnek geçiş tablosu

### 2.2.5. Hasılat Tablosu

Normal sıklık ve kapalılığa sahip müdahale görmemiş ormanlardan elde edilen örnek alan verilerinden hazırlanan hasılat tabloları, en uygun orman kuruluşunu göstermekte olup, klasik anlamda bir meşcerenin hangi bonitette, ne kadar hacim, artım, orta boy gibi değerlere sahip olacağını göstermektedir. Gerçek anlamda bir büyüme modeli olmamasına rağmen mevcut koşullar altında müdahale görmüş yani herhangi bir şekilde bakım yada insan müdahalesi görmüş meşcerelerinde büyüme seyrini tahmin etmek için kullanılmaktadır.

### 2.2.6. Büyüme Modelinin Oluşturulması

Büyüme modeli aktüel bölmecik parametrelerinin, müdahale yapılmadan yada herhangi bir müdahale (bakım, ağaçlandırma, gençleştirme) yapıldığında bir sonraki periyottaki değerlerini tahmin etmek amacıyla kullanılmaktadır. Hasılat tablosu veriler (optimal) ile aktüel envanter verileri ağaç türü, bonitet ve yaş değerleri ile ilişkiye getirilmektedir. Bu ilişki ile birlikte belli bir yaştaki bölmecik için, o yaştaki optimal göğüs yüzeyi miktarının, aktüel göğüs yüzeyi değerine oranlaması ile "k" katsayısı hesaplanmaktadır. Bu katsayı, optimal bölmecik parametrelerinde meydana gelen büyümenin, aktüel bölmecik parametrelerinde de aynı seyri göstermesi için kullanılmaktadır. Bölmeçiğe yapılan müdahaleler ile, bölmecik içerisindeki bireylere daha fazla besin ve büyüme enerjisi sağlanması nedeniyle optimal bölmecik yapısına oranla biraz daha ivmeli büyüme seyri göstermesi için kullanılmaktadır.

Meşcere parametrelerinin hesaplanmasında kullanılan bazı denklemler aşağıda verilmiştir.

$$k = \frac{Ogy_t}{Agy_t} \quad (12)$$

$$Agy_{t+n} = Agy_t + \left[ \left( \frac{Agy_t}{Ogy_t} \right) * (Ogy_{t+n} - Ogy_t) \right] \quad (13)$$

$$Ap_{t+n} = Ap_t + \left[ \left( \frac{Ap_t}{Op_t} \right) * (Op_{t+n} - Op_t) \right] \quad (14)$$

$$Aob_{t+n} = Aob_t + \left[ \left( \frac{Aob_t}{Oob_t} \right) * (Oob_{t+n} - Oob_t) \right] \quad (15)$$

$$Ad_{t+n} = Ad_t + k * \left[ \left( \frac{Ad_t}{Od_t} \right) * (Od_{t+n} - Od_t) \right] \quad (16)$$

$$AS_{t+n} = AS_t + (k * Ap_{t,t+n} * n) - AH_t \quad (17)$$

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 ifade etmektedir.

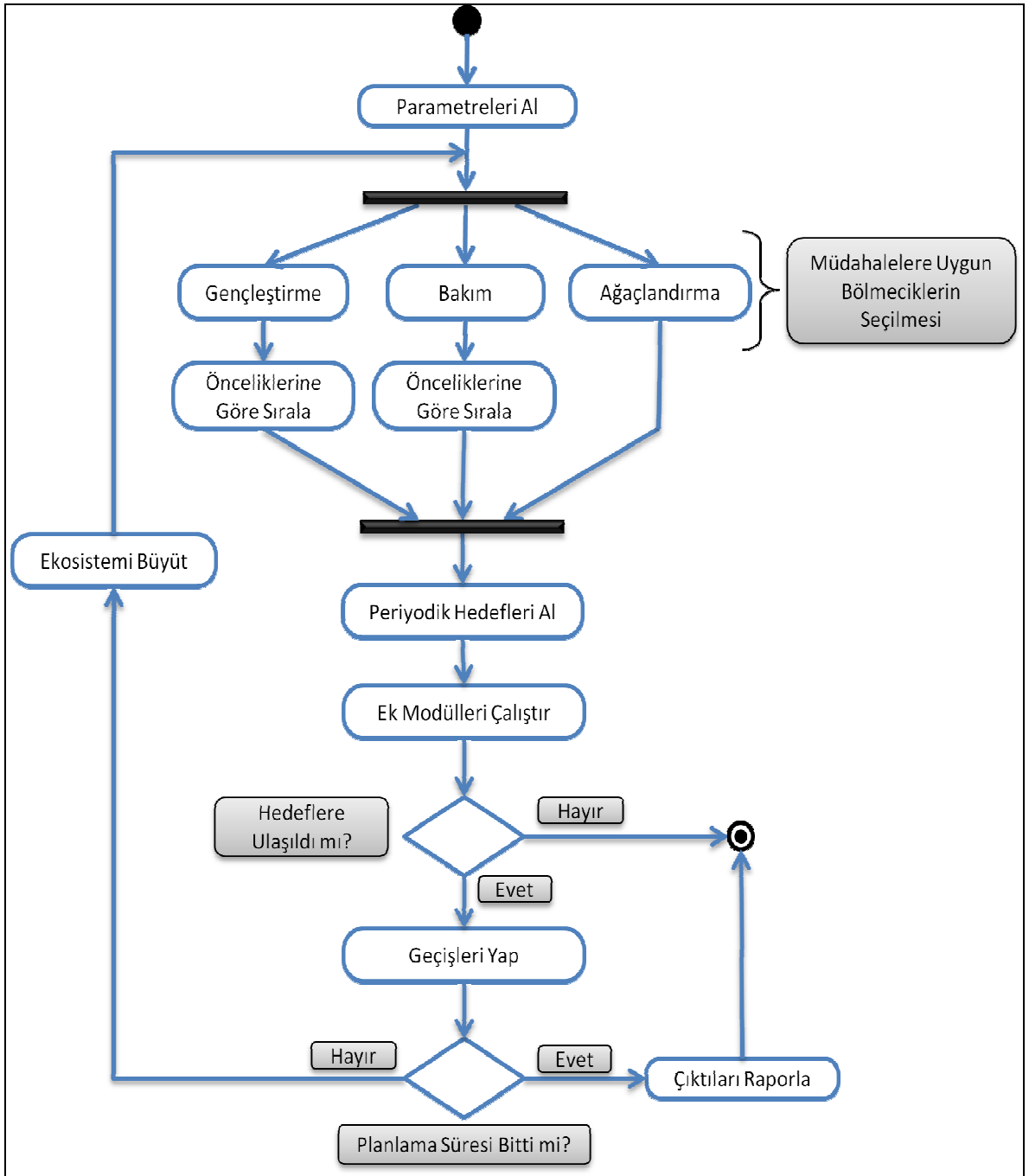
12 numaralı denklem, optimal ile aktüel göğüs yüzeyi arasındaki her bir periyottaki oranı vermekte, ve müdahale görmüş meşcerelerde büyümeye ivme kazandırmak için kullanılmaktadır. Denklem 13, ileriki periyotlardaki aktüel göğüs yüzeyini tahmin etmek için kullanılmaktadır. Denklem 14 aracılığıyla, meşcerelerin zamana bağlı aktüel hacim artımları tahmin edilmiştir. Denklem 17 ile, büyüme modelinde aktüel hacim tahmininde yararlanılmıştır. 15 ve 16 numaralı denklemler yardımıyla ise, 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 bir büyüme



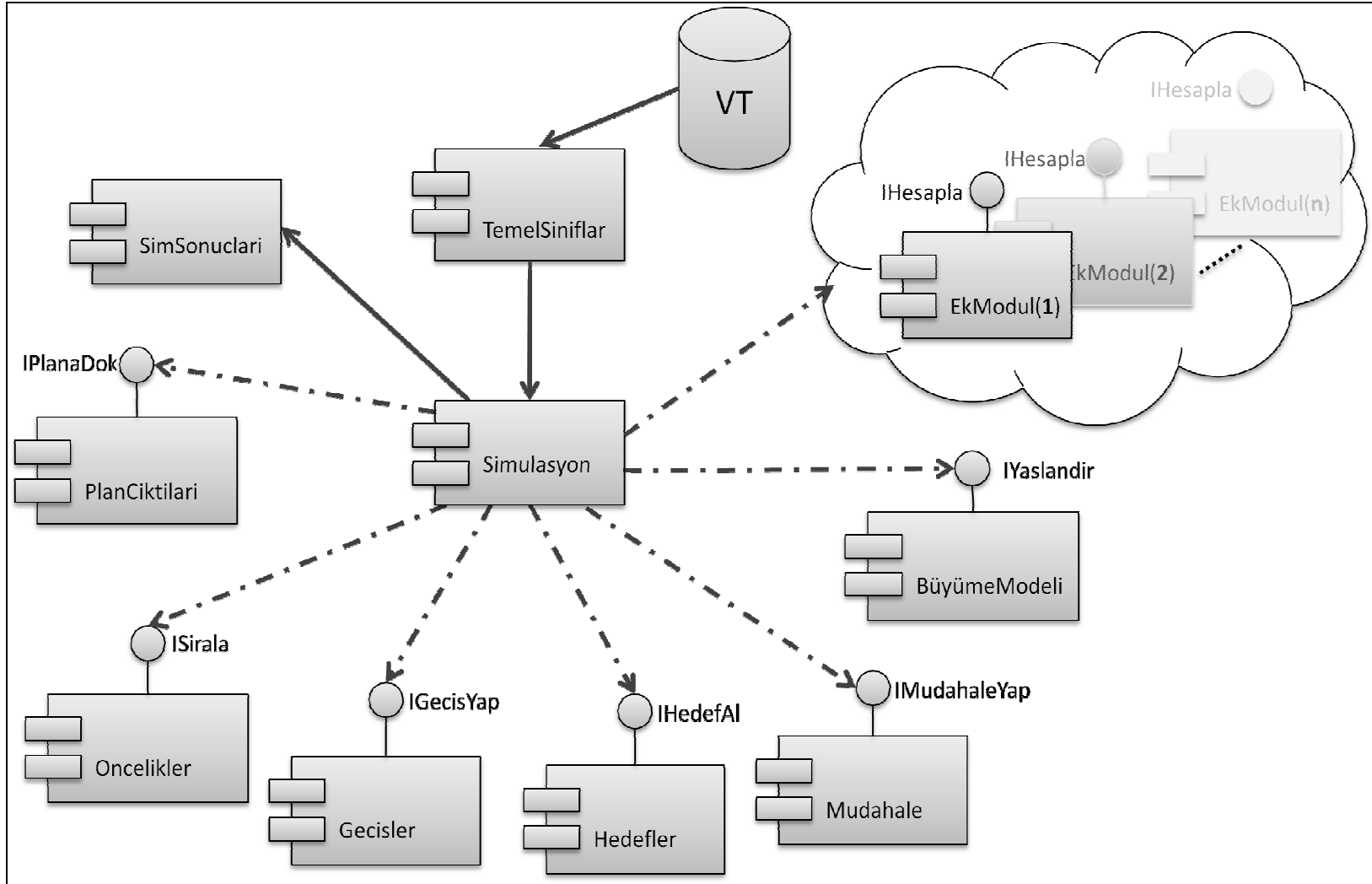
(hacim ve orta çap) seyri göstermesi için belirlenmiştir. Orta boy gibi diğer parametrelerin tahmininde ise, doğrudan hasılat tablosunda var olan ilgili değerlerle benzetilmeye çalışılmıştır. Artım ve orta boyda yapılan benzetim; ağaç sayısı, st boy gibi parametrelerin tahmin edilmesinde de benzer şekilde 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 yakın değerler tahmin edilmesine yardımcı olmaktadır. Model, aktüel-optimal oranını, mevcut durumun gelişim hızı yerine, optimale göre hızını almakta, ve göğüs yüzeyi oranı kullanılması ile de optimalin ötesinde gelişmenin olamayacağını varsayar. Diğer taraftan, optimalde yani hasılat tablosu verilerinde var olan tüm hatalar/eksiklikler buraya da yansımaktadır.

### 2.3. Simülasyonun Modelellenmesi



Şekil 12. Simülasyon aşamaları



Şekil 13. Simülasyon bileşenleri

### **2.3.1. Planlama Yörüngesi**

Amenajman planı yapım aşamasında, stratejik plan yapım için belirlenen süredir. Genellikle idare süresi kadar olmaktadır, hızlı gelişme gösteren türlerde (kızılçam gibi) 50-60 yıl, daha yavaş büyüme seyri gösteren türlerde (kayın, karaçam, sarıçam gibi) 100-120 yıl kadar alınmaktadır.

### **2.3.2. Planlama Periyodu**

Planlama yörüngesi seçiminde belirtildiği üzere, kısa idare süresi (40-60 yıl) ile işletilen ormanlarda, 5-10 yıl, uzun idare süresi ( $\geq 80$ ) 20 yıl olarak alınmaktadır. Taktiksel plan yapımı için gerekli olan süreyi göstermektedir.

### **2.3.3. Hedeflerin Belirlenmesi**

#### **2.3.3.1. Hedefler**

Simülasyon modelinde alan ve eta değerleri için hedefler verilebilmektedir. Bu hedeflere ulaşıldığı sürece model çalışmakta, ulaşamadığı periyotlarda ise hata uyarısı vermektedir. Genel eta yada alan hedefi yanında, her bir periyot için ayrı değerlerde hedefler verilebilmekte, yada ağaçlandırma hedefi tespit edilebilmektedir. Aynı anda hem eta hem de alan hedefinin belirlenmesine izin verilmemektedir. Çünkü bu iki hedefin aynı anda gerçekleşmesi neredeyse imkânsızdır.

#### **2.3.3.2. Politikalar**

Politika, belirlenen hedefi ulaşmak esnasında her bir hedefe ulaşmak için periyotlar arasında birbirlerine göre bu değerlerdeki meydana gelecek değişimi göstermektedir. Dalgalı, eşit yada artan hedef politikaları kullanılmaktadır.

## 2.4. Ek Modüllerin Eklenmesi

Simülasyon, hedefler ve müdahalelere göre çalıştırıldığında periyotlarda oluşacak aktüel durumlar üzerinde bazı hesaplamak yapılmak istenebilir. Modülün bu aşaması esnek tutulmuş olup ara yüzler sayesinde hesaplama yapabilecek veya aktüel duruma müdahale edebilecek ek modüllerin eklenmesi imkanı verilmiştir. Modele örnek olması açısından su üretimi, toprak erozyonu, karbon birikimi, oksijen birikim, ekonomik verilerin hesaplandığı (net bugünkü değer-NBD) modüller eklenmiştir.

### 2.4.1. Su Üretimi

Modelin çalışması esnasında meşcere parametrelerine bağlı olarak her bir bölmeciğin ne kadar su üreteceğinin denklemler aracılığıyla belirlenmesi için kullanılmaktadır. Meşcerenin parametreleri ve topografik özelliklere bağlı olarak hazırlanmış modeller aracılığıyla her bir bölmeciğin üreteceği su miktarı hesaplanıp, periyodik ve toplam olarak sunulmaktadır.

Türkiye’de geliştirilen su üretim formüllerinin kim tarafından, ne zaman ve nerede geliştirildikleri aşağıda verilmiştir.

$$S\ddot{U}=(6.1599-0.0632*GY)*10^3 \text{ (Keleş, 2003 – Gümüşhane Karanlıkdere)} \quad (18)$$

$$S\ddot{U}=(475.181 * e^{-0.0232 * GY})*10^2 \text{ (Yolasığmaz, 2004 – Artvin Merkez)} \quad (19)$$

$$S\ddot{U}=(1.3946-0.0233*GY)*10^3 \text{ (Mısır, 2001 – Trabzon Maçka)} \quad (20)$$

Burada S $\ddot{U}$  su üretimi miktarını (ton/ha/yıl), GY meşcere göğüs yüzeyini (m<sup>2</sup>/ha) ifade etmektedir.

### 2.4.2. Toprak Erozyonu

Su üretim modeline benzer şekilde topografik özellikler ve meşcere parametrelerine bağlı olarak hazırlanmış denklemler ile her bir bölmeciğin toprak kaybını ne kadar önlediğinin hesaplanmasıdır.

Türkiye’de geliştirilen toprak erozyonu formüllerinin kim tarafından, ne zaman ve nerede geliştirildikleri aşağıda verilmiştir.

$$TK = 30.437 * e^{-0.0488 * GY} \text{ (Yolasığmaz, 2004 – Artvin Merkez)} \quad (21)$$

$$\ln(TK) = 2.553079 - 0.0650 * GY \text{ (Karahalil, 2003 – Gümüşhane Karanlıkdere)} \quad (22)$$

$$TK = 2.614432 - 0.043277 * GY \text{ (Mısır, 2001 – Trabzon Maçka)} \quad (23)$$

Burada TK toprak kaybı (erozyonu) miktarını (ton/ha/yıl), GY meşcere göğüs yüzeyini (m<sup>2</sup>/ha) ifade etmektedir.

### 2.4.3. Karbon Birikimi

Meşcere parametrelerinden ağaç türü, servet ve artım değerleri baz alınarak meşcerede depolanan karbon miktarının, yapılan müdahaleler ile meydana gelen salınım miktarının düşülmesi ile elde edilen miktardır. Hesaplana bu değer ile ormanların bünyesinde tuttuğu karbon miktarı ve yapılan müdahaleler sonucu elde edilen ürün çeşitlerine göre karbon salınımının zamana bağlı olarak değişimi izlenebilmektedir.

Karbon birikiminin orman amenajman planlarına yansıtılması, özellikle ihtiyaç duyulan verilerin yetersizliği durumlarında aşağıdaki eşitlikten faydalanılmak suretiyle kolaylıkla gerçekleştirilebilmektedir (Diaz-Balteiro ve Romero, 2003).

$$CB_t = [\gamma(V^t - V^{t-1} + H_t) - CE_t] \quad (24)$$

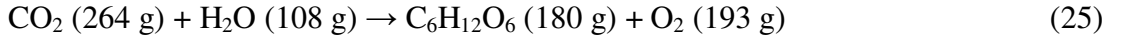
Burada,  $\gamma$ , odun biokütlesindeki karbon oranı;  $CB_t$  t. kesim periyodundaki net karbon birikimi;  $CE_t$  t. kesim periyodundaki karbon emisyonu;  $H_t$  t. kesim periyodunda hasat edilen servet;  $V^t$  t. kesim periyodunun sonundaki dikili serveti göstermektedir.

### 2.4.4. Oksijen Birikimi

Orman ekosistemlerinden kaynaklanan net O<sub>2</sub> üretimi, fotosentez ile üretilen O<sub>2</sub> miktarından solunum ile tüketilen O<sub>2</sub> miktarı arasındaki farktan faydalanmak suretiyle

hesaplanmaktadır. Meşcere parametreleri kullanılarak her bir bölmeçiğın ne kadar oksijen üretimine katkı sağlayacağı hesaplanmaktadır.

Orman tarafından gerçekleştirilen oksijen üretim miktarının sayısal olarak hesaplanmasında fotosentez olayına ait kimyasal reaksiyona ait denklem ve bu denklemde yer alan CO<sub>2</sub>, glikoz, su ve O<sub>2</sub> bileşenlerinin atomik ağırlıklarından faydalanılmaktadır (Keleş, 2008).



Bu denkleme göre, orman ağaçları 162 gr fırın kuruşu ağırlıkta materyal üretirken, 264 gr CO<sub>2</sub> tüketmektedir. Yine bu tepkime sonucunda 193 gr oksijen açığa çıkmaktadır. Daha açık bir ifadeyle, 1 gr kuru materyal üretmek için 1.63 gr CO<sub>2</sub> ihtiyaç olmakta ve sonuçta 1.2 gr oksijen atmosfere salınmaktadır. Sonuçta orman ekosistemleri tarafından gerçekleştirilen net O<sub>2</sub> miktarı, biriktirilen net C miktarı ile aşağıdaki gibi doğrusal bir ilişki ile kolaylıkla tahmin edilebilmektedir (Guo vd., 2001; Asan vd., 2002; Nowak vd., 2007; Keleş vd., 2007).

$$\text{Net O}_2 \text{ üretimi (kg/yıl)} = \text{net C birikimi (kg/yıl)} * (32/12) \quad (26)$$

#### **2.4.5. Ekonomik Veriler (NBD)**

Meşcerelere yapılan müdahaleler sonucu elde edilen ürünler, ürün çeşitleri itibariyle sınıflandırılmakta ve her bir ürün çeşidinin (tomruk, sanayi odunu, maden direği, tel direği vb.) birim fiyatı değerleri kullanılarak gelirler hesaplanmaktadır. Aynı zamanda meşcereden yapılan üretim esnasındaki giderler ve işletmenin diğer idari giderleri de dikkate alınarak toplam giderler hesaplanmaktadır. Belirli bir periyotta oluşan bu gelir ve giderlerin belirli bir iskonto oranı yardımıyla bugüne indirgenmesi ve bunların farkı sonucunda bulunan değerdir.

Ormanın mevcut durumu yapılan envanter çalışmalarıyla ya da eski veriler yardımıyla doğrudan ya da dolaylı olarak yapılabilmektedir. Ormanın zaman içindeki değişimini ekonomik olarak ortaya koymak ya da bugüne indirgemek için Net Bugünkü Değer (NBD) yöntemi ya da eşitliği kullanılmaktadır. NBD, belirli bir dönemde oluşan

gelir ve giderlerin belirli bir ıskonto oranı yardımıyla bugüne getirilmesi ve bunların birbirlerinden çıkarılması sonucunda bulunan değerdir (Ok, 1997; Türker, 2000).

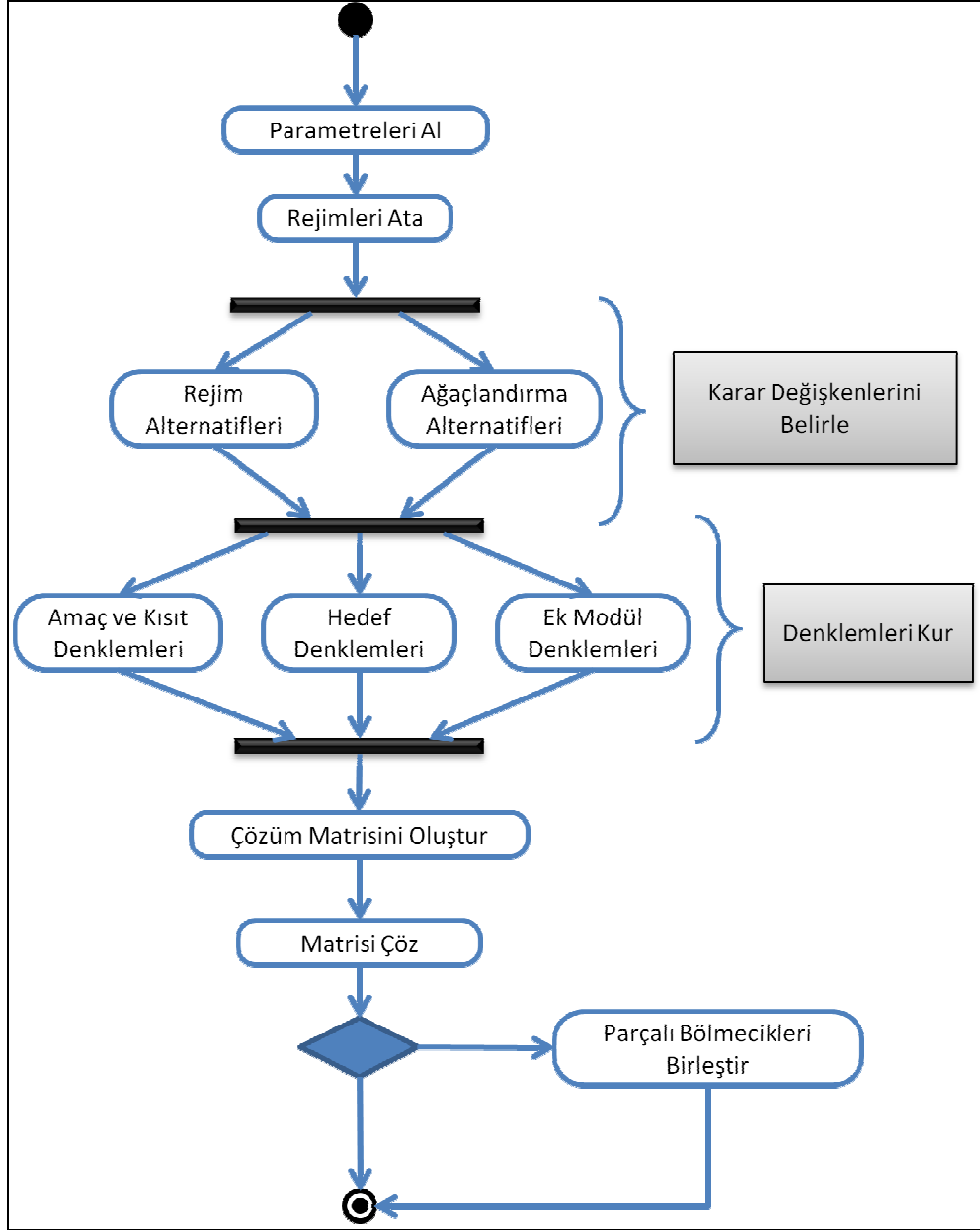
$$NBD = \sum_{n=1}^m \frac{B - C}{(1 + r)^n} \quad (27)$$

Burada, *NBD*: meşçerenin planlama dönemi sonundaki dikili haldeki değerini de içeren net bugünkü değeri, *B*: gelirler, *C*: giderler, *r*: faiz veya ıskonto oranı, *n*: planlama dönemi, *m*: plan dönemi sayısını göstermektedir. Bununla birlikte çok kapsamlı ekonomik analizlerin yapılmasının istenildiği durumlarda yukarıda verilen *NBD* denklemiyle birlikte orman işletme ekonomisinde kullanılan iç karlılık oranı gibi diğer yöntemleri de amenajman planlamasına yansıtmak mümkündür. Ancak orman amenajman planlamasında genellikle *NBD* yöntemi tercih edilmektedir.

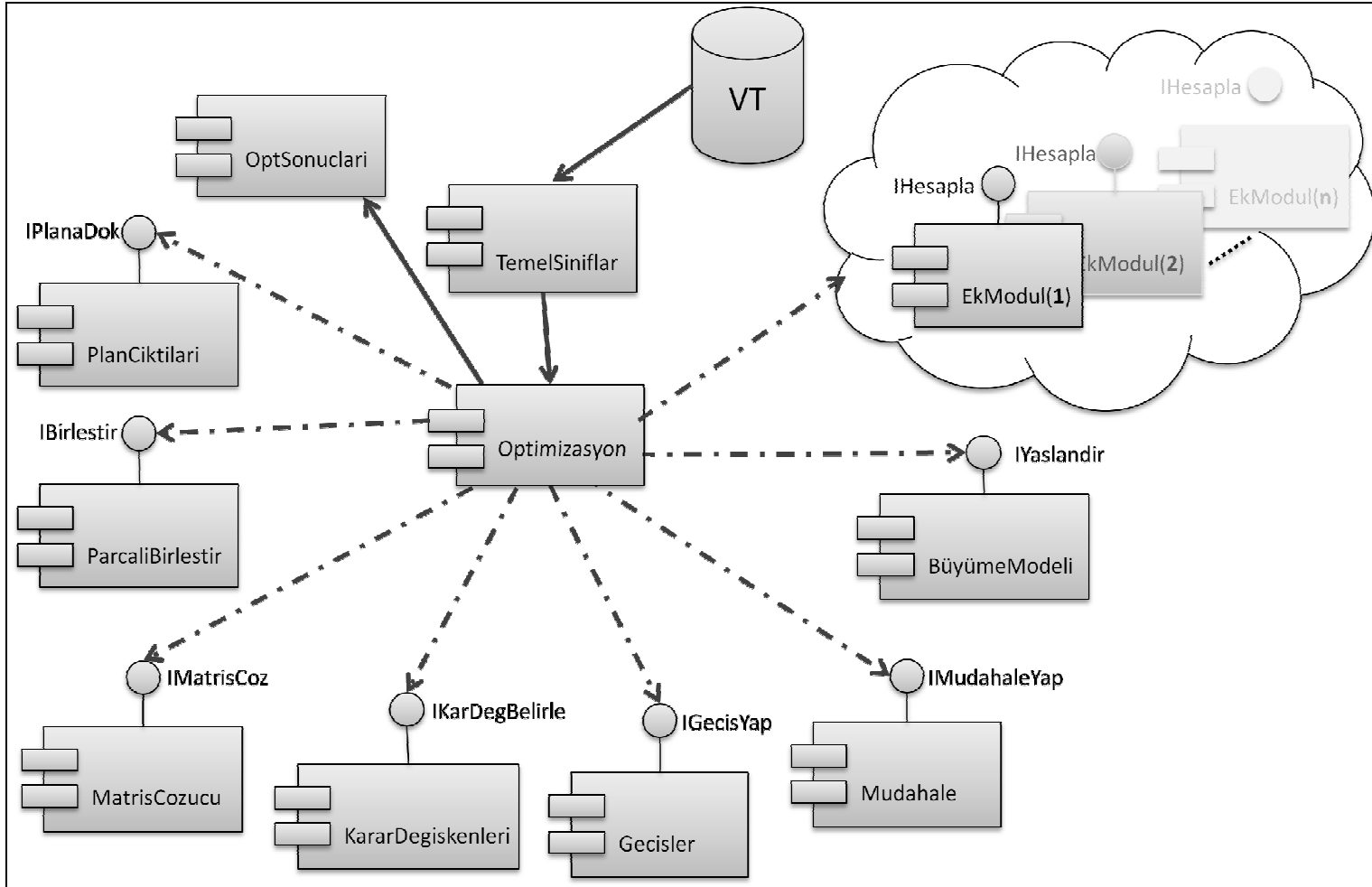
## 2.5. Optimizasyonun Modellenmesi

Bu çalışma kapsamında geliştirilen doğrusal programlama tabanlı orman planlama sisteminin genel mimarisi Şekil 15'te sunulmuştur. Öncelikle karar verici tarafından, planlama periyodu uzunluğu, periyot genişliği, amaçlar, kısıtlayıcılar ve hedefler tanımlanır. Orman planlama birimine yönelik yapılmış orman envanter verileri ve planlamada kullanılacak yardımcı modellerden faydalanmak suretiyle, her bir orman analiz alanına uygulanacak silvikültürel müdahale rejimleri tanımlanır ve sonuçta her bir analiz alanı için alternatif işletme seçenekleri (karar değişkenleri) planlama periyodu boyunca üretilir. Bu alternatifleri uygulamanın etkileri, bir meşçere simülasyon modeli kullanılarak tahmin edilir ve dikkate alınan her bir orman fonksiyonu ve orman-meşçere dinamiği sayısal olarak tahmin edilir. Karar verici, amaçlar, planlama politikaları, kısıtlayıcı koşullar ve orman kaynağına ilişkin verileri birlikte değerlendirerek planlama probleminin doğrusal programlamaya uygun geliştirilen modelini bilgisayar yazılımı yardımıyla kurar. Kurulan model (matrisler) simpleks metoduna göre çözümlenerek en ideal müdahale alternatifleri belirlenir.





Şekil 14. Optimizasyon modelinin aşamaları



Şekil 15. Optimizasyon bileşenleri

### 2.5.1. Müdahale Reçeteleri

Analiz alanları için belirlenecek müdahale alternatiflerinin üretilmesi için kullanılan bir kavramdır. Planlayıcı, seçeceği bir analiz alanı için belirleyeceği en küçük ve en büyük kesim yaşları ile alternatiflerin üretilmesini sağlar, akım yaşlarını vererek hangi yaşlarda bakım kesimi yapılmasına karar verir. Bununla birlikte orman içi açıklık alanların da ağaçlandırılıp ağaçlandırılmayacağını da reçeteler ile belirleyebilir.

### 2.5.2. Karar Değişkenlerinin Oluşturulması

Analiz alanlarına ait silvikültürel müdahale alternatiflerinin oluşturulması ya da başka bir deyişle doğrusal programlama için karar değişkenlerinin belirlenmesi aşaması bu çalışmanın en önemli aşamalarından biridir. Müdahale alternatiflerinin tüm kombinasyonları aynı zamanda karar uzayını tanımlar. Karar değişkenleri, daha sonra oluşturulacak matris modelinin temel yapıtaşlarıdır.

Karar verici tarafından analiz alanlarına en uygun silvikültürel müdahale reçetesinin hazırlanmasından sonra, her bir analiz alanı için gençleştirme veya bakım kesim yaşlarına bağlı olarak alternatif silvikültürel müdahale rejimleri oluşturulmaktadır.

Bir bölmecik için oluşturulacak karar değişkenleri aşağıdaki durumlara göre belirlenir:

a. Her hangi bir silvikültürel müdahale rejiminin atanmaması durumu; bu durumda bölmecik doğal büyüme seyrine bırakılacaktır. Burada herhangi bir müdahale söz konusu olmamasına rağmen bölmecik ağaç türüne bağlı olarak doğal idare süresi sonunda ömrünü tamamlayacak ve doğal gençleşmiş bir orman alanına dönüşecektir. Bu seçenek her bölmecik için tektir.

b. Bölmeğe bir veya birden fazla silvikültürel müdahale rejiminin atanması durumu; Silvikültürel müdahale rejiminde belirtilen gençleştirme veya bakım kesim yaşlarına bağlı olarak alternatif karar değişkenleri oluşturulur. Örneğin 20 yaşında bir bölmecik olduğu varsayalım. Bu bölmecik için minimum gençleştirme yaşı 50 ve maksimum gençleştirme yaşı 70 olsun. 30 yaşında da bir bakım kesimi olsun. 10 yıllık periyot genişliği ve 100 yıllık bir planlama yörüngesi içerisinde bu bölmecik için olası müdahale alternatifleri (gençleştirme ve bakım kombinasyonları) Tablo 3'de verilmiştir. Burada G gençleştirme kesimini, B ise bakım kesimlerini ifade etmektedir.

Tablo 2. Örnek bir bölmecik için alternatif müdahale rejimleri

(Alternatifler)	Periyotlar									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1			G					G		
2	B		G					G		
3	B		G			B		G		
4			G			B		G		
5			G						G	
6	B		G						G	
7	B		G			B			G	
8			G			B			G	
9			G							G
10	B		G							G
11	B		G			B				G
12			G			B				G
13				G					G	
14	B			G					G	
15	B			G			B		G	
16				G			B		G	
17				G						G
18	B			G						G
19	B			G			B			G
20				G			B			G
21					G					G
22	B				G					G
23	B				G			B		G
24					G			B		G

c. Bölmeğin bir orman içi açıklık (OT-Orman Toprağı) olması durumu; bu durum eğer bölmeğe silvikültürel müdahale rejimi olarak ağaçlandırma seçeneği atanmışsa kullanılacaktır. Bölmecik planlama yörüngesi boyunca herhangi bir periyotta ağaçlandırılabilir. Yani bu seçeneğe göre planlama periyodu sayısı kadarınca karar değişkeni ortaya çıkacaktır. Örneğin optimizasyon modelinin planlama yörüngesi uzunluğu 100 yıl, periyot uzunluğu 10 yıl olsun. Orman içi açıklık olan bir bölmecik için 10 adet farklı karar değişkeni oluşturulur.

Tablo 3. Ağaçlandırma alternatifleri

(Alternatifler)	Periyotlar									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	A									
2		A								
3			A							
4				A						
5					A					
6						A				
7							A			
8								A		
9									A	
10										A

Tablo 3’de bulunan alternatifler ağaçlandırılan bölmeğin doğal seyrine bırakılmış alternatifleridir. Orman içi açıklık özelliğine sahip bir orman bölgesi ağaçlandırıldıktan sonra aslında normal büyüme seyrine giren bir ormanlık alan durumuna dönüşecektir ve artık bu bölgede de gençleştirme veya bakım kesimleri yapılabilir. Yani ağaçlandırma alternatifleri ile birlikte gençleştirme ve bakım alternatifleri de bu alanlara uygulanabilir. Örneğin Tablo 3’de 1. Periyotta ağaçlandırılmış bir bölmeğe minimum gençleştirme yaşı 50 ve maksimum gençleştirme yaşı 70 ve bakım kesim yaşı 30 olarak belirlenmiş bir rejim atandığında Tablo 4’de gösterilen alternatifler oluşacaktır.

Tablo 4. Örnek bir bölmeğin ağaçlandırıldıktan sonraki müdahale alternatifleri

(Alternatifler)	Periyotlar									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	A					G				
2	A						G			
3	A							G		
4	A			B		G				
5	A			B		G			B	
6	A					G			B	
7	A			B			G			
8	A			B			G			B
9	A						G			B
10	A			B				G		

Tablo 4’de gösterilen alternatifler sadece bölmeğin 1. Planlama periyodunda ağaçlandırılması sonucunda ortaya çıkacak alternatiflerdir. Benzer şekilde diğer periyot

için alternatifler çıkarılmalıdır. Buradan da anlaşılacağı üzere alternatif sayısı üstel olarak artacaktır.

Doğrusal programlama modelinin kurulmasında, amaç fonksiyonu ve kısıtlamaların hesaplanması için karar değişkenleri kullanılacaktır ve modelin çözümünde bu alternatiflerden hangilerinin seçileceğine karar verilecektir. Örneğin bir bölmeceğe ait 100 adet karar değişkeni oluşturulabilir ama model, bu karar değişkenlerinden hangilerinin en uygun müdahale olacağına karar verecektir. Dolayısıyla bir bölmeceğe ait birden fazla karar değişkeni en uygun çözüm içerisinde yer alabilir. Oluşturulan karar değişkenleri bölmeceğin alanını temsil etmektedir. Model sonucunda “Hangi bölmeceğe hangi rejimin uygulanması ve bu rejim ile bölmeceğin ne kadarlık alanına müdahale edilmesi en uygun olur?” sorusuna cevap aranmaktadır.

### **2.5.3. Doğrusal Programlama Modelinin Kurulması**

Modellemede daha önceden sayısallaştırılan orman kuruluşu, hasılat matrisleri ve potansiyel işletme tekniklerine göre uzun vadeli kestirim yapılabilir. Ancak, burada planlama yörüngesi boyunca her bir planlama birimine uygulanabilecek bir alternatif müdahale listesi hazırlanır. Doğrusal programlama hazırlanan bu listeden belirlenen amacı yahut amaçları eniyileyen tek bir seçeneği çözüm olarak belirler. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli husus, planlayıcının potansiyel listeyi hatasız ve kapsamlı hazırlayabilmesidir. Çünkü optimal çözüm, matematiksel formülasyonla ya da alternatif üretme ile doğrudan orantılıdır. Optimizasyon tekniğinin planlayıcıya sağladığı diğer bir katma değer 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)

Doğrusal programlama tekniğinin orman amenajmanında kullanımına ilişkin model yapısı basit olarak Denklem 5-6-7 ve 8 den faydalanarak aşağıda açıklanmıştır (Keleş, 2008).

Z: Amaç fonksiyonu; her bir meşcere müdahalesi ile bağlantılı olan odun üretimi veya net bugünkü değeri olabileceği gibi ormanların sunmuş olduğu diğer fonksiyonlara ilişkin değerler de olabilir. Her doğrusal programlama modelinde kullanıcı tarafından

belirlenen tek bir amaç eniyilemektedir. Bu maksimizasyon ya da minimizasyon şeklinde olabilir. Örneğin, su üretiminin maksimizasyonu veya toprak erozyonu miktarının minimizasyonu gibi.

$X$ : Karar değişkenleri vektörü ( $N*1$  sütun); her bir silvikültürel müdahaleye tahsis edilen alan miktarı. Burada ormanı oluşturan analiz alanlarının (işletme sınıfı, fonksiyon, bölme, bölmecik veya yaş) alternatif silvikültürel rejimlere tahsis edilecek alan miktarını gösteren değişkenleri ifade etmektedir. Karar değişkenleri aynı zamanda plan alternatiflerini ifade eder.

$C^T$ :  $X$  için belirlenen her bir müdahaleyle bağlantılı olan marjinal katkı miktarı ( $1*N$  satır). Her bir karar değişkeninin amaç fonksiyonuna olan birim katkı miktarı denilebilir. Örneğin; eğer net bugünkü değer eniyilenecekse net geliri, odun üretimi eniyilenecekse odun üretimi miktarlarını ifade etmektedir.

$A_1$ : Teknik katsayılar matrisi ( $M*N$  satır ve sütun); toplam üretilen eta miktarı, toplam üretilen odun ürünü çeşitleri miktarı, her bir periyot için üretilen eta miktarları veya elde edilen net kazançlar, her bir periyot için elde edilen diğer orman değerleri miktarları olabilir.

$b_1$ : Kaynak kısıtları vektörü ( $M*1$  sütun); her bir kısıtlayıcı koşul (satır) ile bağlantılı bir kısıt. Örneğin, bütçe kısıtı, su üretimi veya karbon depolama hedefleri, doğal yaşlı orman alanı hedefi, ağaçlandırma alanı hedefi birer kısıtlayıcı faktördür. Aynı zamanda ürün ve hizmet politikaları olarak da yer alabilir (eşit eta politikası gibi).

$A_2$ : Alana ilişkin katsayılar matrisi ( $K*N$  satır ve sütun); bir analiz alanı (örneğin meşcere) bir silvikültürel müdahaleye tahsis edilirse 1 aksi takdirde 0 değerini alır, kesirli sonuçların elde edilmesi, yani bir meşcerenin birden fazla silvikültürel müdahale rejimine tahsisi söz konusu olabilir.

$b_2$ : Her bir analiz alanının başlangıç alan miktarlarından oluşan vektör ( $K*1$  sütun).

#### **2.5.4. Amaç Fonksiyonunun Belirlenmesi**

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 (Şekil 16). Bu fonksiyonlardan toprak erozyonu değeri minimizasyon şeklinde olurken, diğer orman değerleri maksimizasyon modeli olmaktadır. Bununla birlikte ilave bir amaç fonksiyonu

tüm orman fonksiyonlarından elde edilen ekonomik gelirlerin toplamının eniyilenmesi biçimindedir. Ayrıca orman fonksiyonları arasında farklı kombinasyonlarla birlikte alternatif amaç fonksiyonları üretilebilmektedir. Burada sadece 11 adet amaç fonksiyonu alternatifi uygulanmıştır.



Şekil 16. Üretim amaçları

### 2.5.5. Kısıtlamaların Belirlenmesi

Alan Kısıtları;

$$\sum_{j=1}^N x_{ij} = A_i \quad (28)$$

Burada;  $x_{ij}$ : i. bölmeceğin j. karar değişkeni,  $A_i$ : i. bölmeceğin alanını göstermektedir. Bu denklemle i. bölmecek için hesaplanan karar değişkenlerine atanacak alanların toplamı bölmecek alanına eşit olması sağlanmıştır.

Müdahale Alanı Kısıtları (gençleştirme, bakım, ağaçlandırma, toplam);

$$\sum_{i=1}^B \sum_{j=1}^N m_{ijp} x_{ij} = ALAN_p \quad (29)$$

$m_{ijp}$ : i. bölmeceğin j. karar değişkeninin p. periyottaki müdahale edilip edilmediğini göstermektedir. Örneğin gençleştirme alan kısıtı oluşturulurken, herhangi bir periyotta gençleştirme yapılmışsa  $m=1$ , aksi takdirde  $m=0$  olacaktır.



Üretim Değerleri Kısıtları (gençleştirme etası, bakım etası, toplam eta, göğüs yüzeyi, su üretimi, toprak erozyonu, karbon birikimi vb.);

$$\sum_{i=1}^B \sum_{j=1}^N s_{ijp} x_{ij} \leq ETA_p \quad (30)$$

$s_{ijp}$ : i. bölmeçiğin j. karar değişkeninin p. periyottaki istenilen kısıta ait değeridir. Örneğin gençleştirme etası kısıtı oluşturulurken, herhangi bir periyotta gençleştirme yapılmışsa s değeri bu gençleştirmeden alınacak etaya eşittir.

Politika Kısıtları;

a. Eşit ETA Kısıtı:

$$ETA_p = ETA_{p+1} \quad (31)$$

b. Artan ETA Kısıtı:

$$ETA_p \leq ETA_{p+1} \quad (32)$$

c. Dalgalı ETA Kısıtı:

$$\begin{aligned} ETA_p &\leq k.ETA_{p+1} \\ k ETA_p &\geq ETA_{p+1} \end{aligned} \quad (33)$$

d. Eşit alan kısıtı:

$$ALAN_p = ALAN_{p+1} \quad (34)$$

e. Dalgalı Alan Kısıtı:

$$\begin{aligned} ALAN_p &\leq k.ALAN_{p+1} \\ k ALAN_p &\geq ALAN_{p+1} \end{aligned} \quad (35)$$

Bu denklemlerde p değeri periyot numaralarını göstermektedir.

Pozitiflik Kısıtı;

$$x_{ij} \geq 0 \quad (36)$$

### 2.5.6. Doğrusal Programlama Modelinin Çözümü

Doğrusal programlama denklemleri Simpleks Metodu ile çözüldükten sonra hangi karar değişkenlerinin çözüm için en iyi olduğu bulunacaktır. Burada önemli olan bir nokta çözüm kümesinde bir bölmeçiğe ait birden fazla karar değişkeni bulunabilir. Her bir karar değişkeni de bölmeçiğin alanını temsil ettiğine göre, en uygun çözüm de bölmeciklerin bazılarının alanları parçalanacak, bölmeçiğin bir kısmı bir periyotta diğer kısımları ise başka periyotlarda üretime alınacak demektir. Bunun anlamı ideal durumda bir bölmecikten daha küçük bölmecikler elde edilecektir. Halbuki bu istenen bir durum değildir. Çünkü orman modellemesinde meşçere parametrelerine ve konumsal özelliklere göre düşünülen en küçük birim bölmeciktir. Bunun parçalanması demek hem planlama açısından hem de maliyet açısından bazı sıkıntılar ortaya çıkaracaktır. Bu durumda bölmeçiği parçalayacak karar değişkenleri arasında bir seçim yapıp sadece bir tanesi müdahale alternatifi olarak belirlenerek bölmeçiğin bölünmesi engellenmelidir.

Bir bölmecik için tek karar değişkeninin belirlenmesi aşamasında düşünülebilecek en basit yaklaşım çözüm kümesindeki alternatifler içerisinde en fazla alana ait olan alternatif seçilip diğer alternatiflerin devre dışı bırakılmasıdır. Böylece her bölmeçiğe bir karar değişkeni atanmış olacak ve bölmecikler bölünmemiş olacaktır.

Karar değişkenlerinin en büyük alanına göre birleştirilmesi basit bir çözüm olarak görülmesine rağmen etkili bir yöntemdir. Çünkü en fazla alana sahip olan değişken çözümü artı yönde en fazla etkileyen değişkendir. Dolayısıyla çözüme bu değişken üzerinden gidilmesi akla yatkın gelmektedir.

Karar değişkenlerinin birleştirilmesi, müdahale edilecek bölmeçiğin tek parça olarak kalmasını sağlamasına rağmen amaç değerden uzaklaşılmasına sebep olmaktadır. Burada “Acaba doğru karar değişkenleri seçildi mi?” sorusu akla gelmektedir. Yani en büyük alana sahip olan bir karar değişkeni yerine başka bir karar değişkeni seçilseydi çözüme daha mı yaklaşmış olacaktı? Bu sorunun cevabı bir bölmeçiğe ait farklı alternatiflerin de çözüm kümesi içerisinde değerlendirilmesinde yatıyor.

### 2.5.7. Parçalanmış Bölmeciklerin Birleştirilmesi

Amaç en ideal değeri bulmak veya mümkün olduğunca en ideale yaklaşmak olduğuna göre seçilecek karar değişkenlerini belirlemede başka bir yol seçilmelidir. Bu

aşamada izlenecek yol, seçilen bir karar değişkeninin yeni çözümü amaçtan ne kadar uzaklaştıracağını bulup, buna göre en uygun çözümü en az etkileyecek olan alternatif seçilene kadar bütün alternatifler arasında gezinmektir. Burada en öncelikli ulaşılmak istenen ideal çözüm başlangıçta belirlenen amaç fonksiyonu olmasına rağmen, model kurulurken belirlenen politikalar ve bazı kısıtlamalar da karar değişkeninin değişmesi sonucunda etkilenecektir ve belirlenen hedeflerinden uzaklaşacaklardır. Bu yüzden seçilecek karar değişkenlerini belirlerken sadece amaç fonksiyonu değil diğer kısıtlamalarda düşünülmelidir. Hatta bu değerlere önem sıralarına göre ağırlıklar verilerek kontrol edilmelidir. Doğrusal programlamada bulunan çözüm (parçalanmalar durumları düşünülmezse) en ideal çözümdü. Bu yaklaşımda ulaşılmak istenen asıl hedef; doğrusal programlama sonucunda elde edilen amaç fonksiyonunu, politikaları ve kısıtlamaları içeren bir başlangıç çözüm değeri olmalıdır ve her adımda yeniden hesaplanacak bu değerlerin ideal çözüm değerine ne kadar yaklaşıldığını hesaplayan bir uygunluk veya hata fonksiyonu bulunmalıdır.

Amaç fonksiyonu ile birlikte diğer parametrelerinde düşünülmesi aslında modele bir özellik daha kazandırmıştır. Bu şekilde tek bir fonksiyonun eniyilenmesi yerine birden fazla ölçüt eniyileyerek çok amaçlı bir planlama modeli oluşturulmaktadır. Bazen modelin birbiriyle çelişen hedefe sahip olabileceği durumlar da ortaya çıkabilmektedir. Her bir hedefin önem derecesini temel alan *uzlaşık çözümler* bulunabilir

Çözüm kümesindeki karar değişkenlerinin seçilmesi, her değişiklik sonucunda hedeften sapma miktarının hesaplanması ve bu sonucun bir uygunluk fonksiyonu ile kontrol edilip istenilen amaca ulaşılamadığında farklı seçimler yapılarak işlemlerin tekrarlanması, yani geri beslemeli olarak sürekli uygun bir çözüme ulaşma isteği aslında sezgisel bir arama algoritması ile çözüme gidilmesi gerektiğini gösterir.

Ayrıca bir planlama biriminde  $n$  adet bölmecik olduğu ve her bölmecik için ortalama  $m$  adet karar değişkeni olduğu düşünülürse, bütün alternatiflerin denemesi demek  $m^n$  adet seçeneğin kontrol edilmesi demektir. Dolayısıyla bu problem  $O(m^n)$  karmaşıklığına sahiptir ve çözümü çok uzun zaman alacaktır. Çözüm uzayının çok büyük olması bir sezgisel arama algoritmasının kullanılmasını zorunlu kılmaktadır.

### 2.5.8. Uygunluk Fonksiyonun Belirlenmesi

Çözüme ulaşırken yapılacak her adımda sapma miktarını dikkate alarak başarı oranını tespit edecek bir fonksiyona gerek vardır. Bu fonksiyon probleme özgüdür ve modeldeki her bir çözümün uygunluk değerini hesaplamaktadır. Bu fonksiyona, *uygunluk fonksiyonu* denmektedir. Bu fonksiyondan elde edilen sonuca da çözümün *uygunluk değeri* denmektedir.

Uygunluk fonksiyonu hedef sapmalarına bağlı olarak üretildiğine göre amaç bu fonksiyonun minimize edilmesidir. Geri beslemeli olarak çalışacak sezgisel yöntem her adımda uygunluk değerini 0'a yaklaştırılmalıdır.

Matematiksel olarak ifade edecek olursak, Uygunluk Fonksiyonu;

$$Z(x) = \sum_{i=1}^n f_i(x) \quad (37)$$

$f_i(x)$ : *i. Hedeften sapma*

şeklinde yazılabilir.

Bu formüle göre kısıtlamaların birbirlerine göre bir üstülüğü yoktur, uygunluk fonksiyonunu eşit etkilemektedirler. Fakat bu istenilen bir durum değildir. Çünkü kullanım yerine göre veya planlama amacına göre her kısıtlamanın farklı bir ağırlığı olabilir. O zaman uygunluk fonksiyonunu ağırlıklandırılarak yeniden yazacak olursak;

$$Z(x) = \sum_{i=1}^n w_i f_i(x) \quad (38)$$

$w_i$ : *i. hedef için ağırlık katsayısı*

şeklinde gösterilebilir.

Uygunluk fonksiyonun hesaplanmasında her kısıtın sapmasını gösteren  $f(x)$  yani sapma miktarı direk arzu edilen hedef ile ulaşılan hedef arasındaki fark alınarak hesaplanabilir. Fakat bazı kısıtlamaların hedefleri büyük sayısal değerler alabilirken bazıları ise küçük değerler almaktadır. Dolayısıyla küçük değerler alan hedeflerin uygunluk fonksiyonuna etkisini yani ağırlığını belirlemede sıkıntılar yaşanabilir. Bu aşamada sapma miktarı yerine ceza değeri düşünülerek bu sorun aşılmaya çalışılmıştır. Yani her bir kısıtın hedeften uzaklaşması bir fonksiyon yardımıyla hesaplanacak bir ceza

değeriyle değerlendirilecek ve bu ceza değeri 0 ile 1 arasında bir olması sağlanacaktır. [0-1] aralığındaki cezaların istenilen amaca etkisi artık rahatlıkla tespit edilebilir.

### 2.5.9. Ceza Değerinin Hesaplanması

Ceza değerleri hesaplanırken, herhangi bir kısıtlama için elde edilen sonuç belirlenen hedef sonuç ise ceza değerinin olmadığı, hedeften uzaklaşıldığında ise ceza değerinin büyümesi (1'e yaklaşması) sağlanmalıdır. Ceza değeri hedef noktasında 0 olacağı açıktır. Fakat ceza değerinin 1 (en büyük ceza) olacağı noktanın neresi olacağına karar verilmelidir.

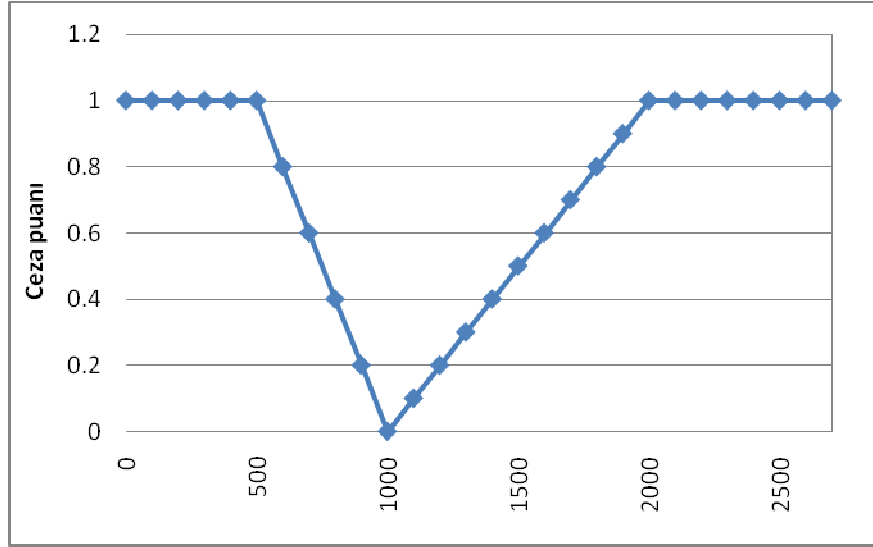
Modelde ceza değerinin üst sınırı, ulaşılmak istenen hedeften pozitif yönde bir uzaklaşma var ise istenilen hedefin iki katına ulaşacağı nokta olarak belirlenmiştir. Eğer negatif yönde bir uzaklaşma var ise istenilen hedefin yarı değeri üst sınır olacaktır. İstenilen hedefin iki katından büyük veya istenilen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

$$C(x) = \begin{cases} 1, & \text{eğer } x > 2 * h \text{ veya } x < \frac{h}{2} \text{ ise,} \\ \frac{x - h}{h}, & \text{eğer } h \leq x \leq 2 * h \text{ ise,} \\ 1 - \frac{x - h/2}{h/2}, & \text{eğer } \frac{h}{2} \leq x \leq h \text{ ise,} \end{cases} \quad (39)$$

*x: elde edilen değer*

*h: Ulaşılmak istenen değer*

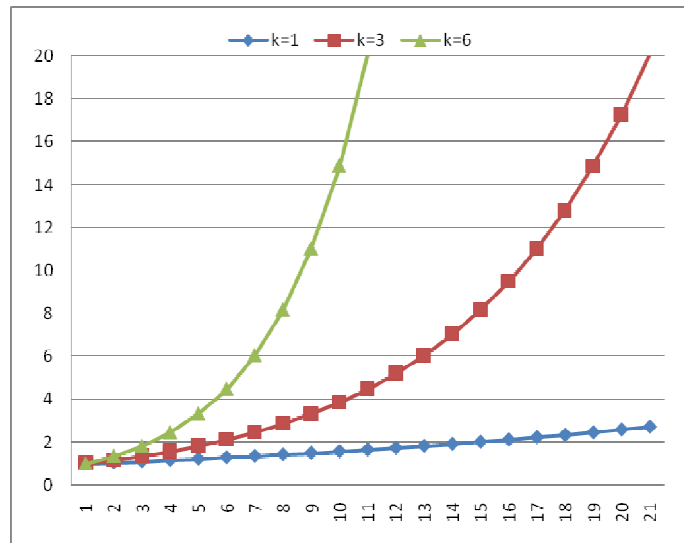
Örneğin Şekil 17'de, istenilen hedef değer 1000 olduğu bir parametrenin hedeften uzaklaşıldığında alacağı ceza değerleri doğrusal bir fonksiyonlarla gösterilmiştir, ceza değeri hedefin yarısı olan 500'e küçük eşit olduğu ve iki katı 2000' den büyük olduğu durumlarda 1, diğer durumlarda ise [0-1] aralığında bir değere sahiptir.



Şekil 17. Doğrusal ceza fonksiyonu grafiği

Şekil 17'den de anlaşılacağı üzere hedeften uzaklaşmalarda ceza değeri doğrusal olarak değişecektir. Burada farklı bir bakış açısı ile elde edilen değer, hedef değere yakın bir bölgede ise alacağı ceza değeri biraz düşük olması, hedeften uzaklaştığında ise cezanın hızlı bir şekilde artması düşünülmüştür. Dolayısıyla ceza fonksiyonu olarak doğrusal bir fonksiyon yerine üstel olarak artan bir fonksiyon kullanılabilir. Üstel bir fonksiyon Denklem 40'daki gibi gösterilir.

$$f(x)=e^{kx} \quad (40)$$



Şekil 18. Farklı k değerleri için  $f(x)=e^{kx}$  grafiği

“k” katsayısı fonksiyonun büyüklüğünü belirleyen bir katsayıdır. Bu katsayı sayesinde gerekirse değişimin ektisi doğrusal bir denkleme yaklaştırılabileceği gibi, dış büyüklüğü artırılabilir. Şekil 18’ de görüldüğü gibi x değeri büyüdükçe  $f(x)$  değeri de hızlı bir şekilde artacaktır ve fonksiyonun değeri 1’i aşacaktır. Modelde ise [0-1] aralığında değişen değerlerle çalışılması düşünüldüğü için fonksiyonun alabileceği en büyük ve en küçük değerler göz önünde bulundurularak [0-1] aralığına normalizasyon yapılmıştır.

$$f(x) = \frac{e^{kC(x)} - \min}{\max - \min}, 0 \leq C(x) \leq 1, k \neq 0 \quad (41)$$

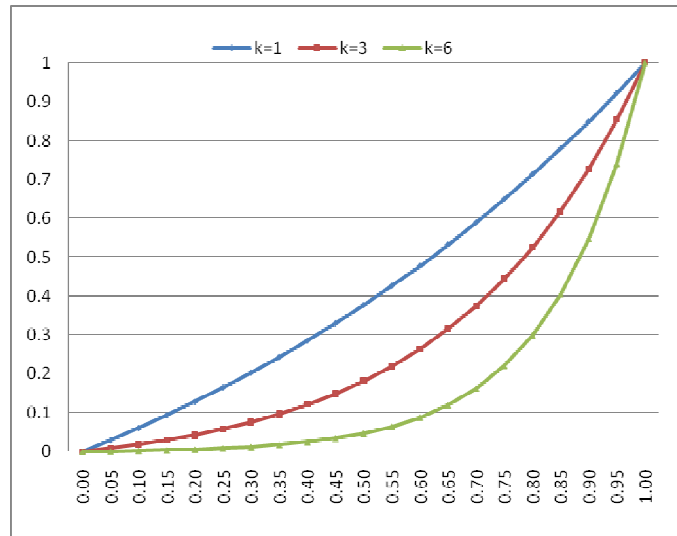
Buradaki  $C(x)$  ceza fonksiyonun değişimi aralığı pozitif yönde hedef değer iki katı, negatif yönde ise hedef değerinin yarısı olarak düşünüldüğü için, değişim miktarı [0-1] aralığında olacaktır.

Dolayısıyla 29 nolu formüldeki min değeri  $C(x)=0$ , mak değeri ise  $C(x)=1$  olduğu durumdur. Buna göre;

$$\min = e^0 = 1; \max = e^{k*1} = e^k \quad (42)$$

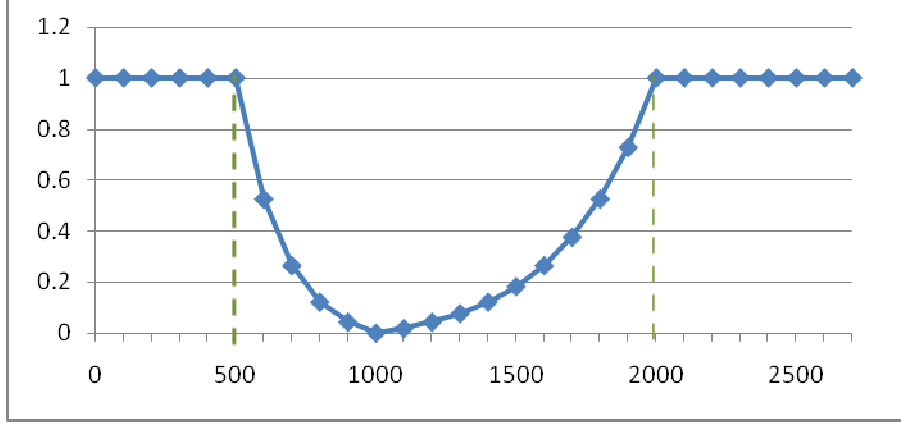
sonucuna ulaşır. Buna göre  $f(x)$  şu şekilde gösterilebilir;

$$f(x) = \frac{e^{kC(x)} - 1}{e^k - 1}, k \neq 0 \quad (43)$$



Şekil 19. Normalize edilmiş  $f(x)$  fonksiyonun grafiği

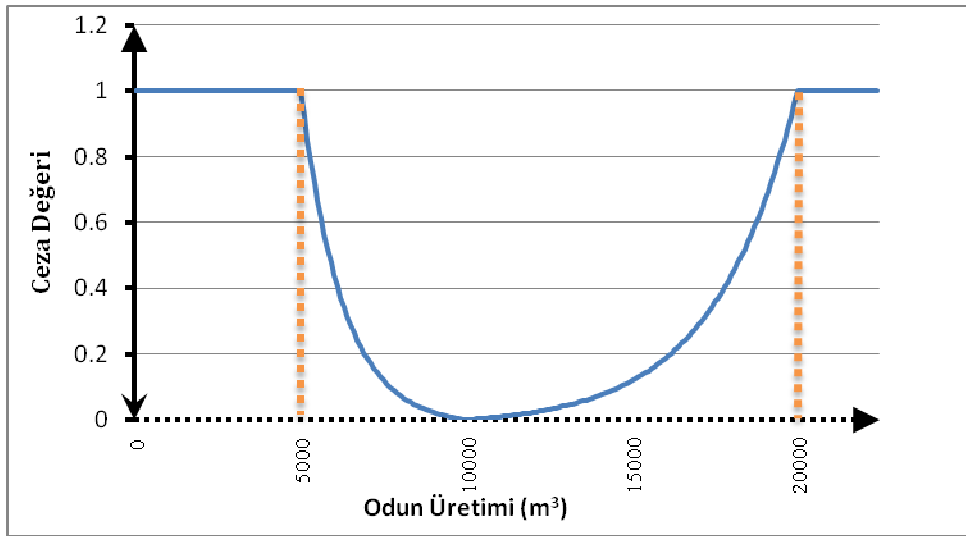
41 ve 43 nolu denklemler göz önüne alındığında Şekil 17'de gösterilen ceza fonksiyonu grafiği  $x$ 'in farklı değerleri için aşağıdaki gibi değişecektir.



Şekil 20. Cezalar için kullanılacak  $f(x)$  fonksiyonunun grafiği

#### 2.5.9.1. Amaç Fonksiyonunun Ceza Değerinin Hesaplanması

Planlayıcı tarafından çözülen optimizasyon modelinde amaç, en yüksek odun üretiminin, en yüksek odun ekonomik değerinin veya su üretimi ekonomik değerinin eniyilenmesi gibi olabilmektedir. Optimizasyon modeli çözümünde bu değerler belirli kısıtlar altında olabilecek en iyi çözüm değerini göstermektedir. Şekil 21'de 10000 m<sup>3</sup>'lük odun üretimi amacı hesaplanacak olan sapma cezaları gösterilmiştir.

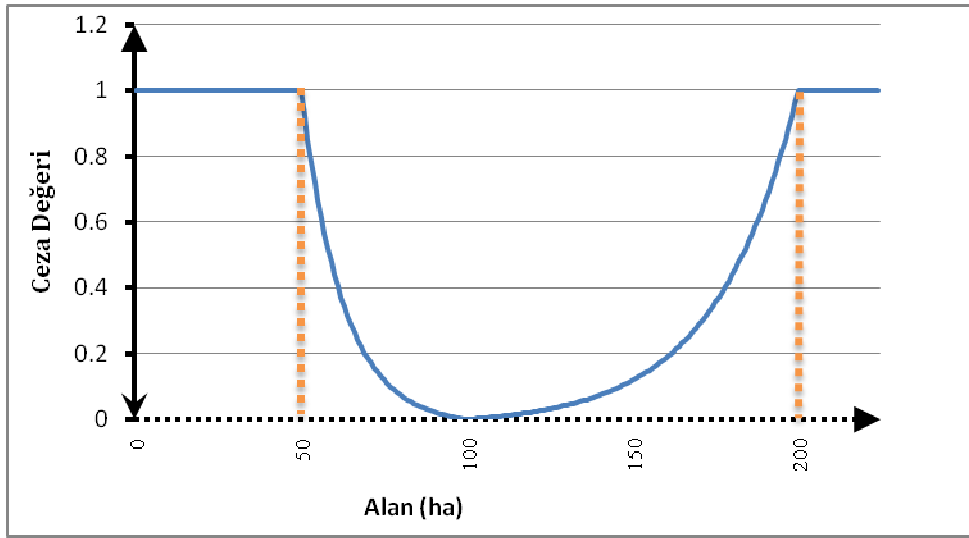


Şekil 21. Amaç fonksiyonu değerine ait sapmanın ceza fonksiyonu eğrisi



### 2.5.9.2. Periyodik Kısıtların Ceza Değerlerinin Hesaplanması

Konumsal kısıtları sağlamak amacıyla bölmeciklerin kesim periyotları değiştirilmektedir. Bu nedenle, periyodik kısıtlardaki muhtemel değişikliklerin hepsi ceza değerinin oluşmasına sebep olacaktır. Periyot kısıtları için ceza değerleri modelde yalnızca periyodik eta ve alanlar için hesaplanmıştır. Benzer ceza değeri hesaplama mantığı kullanılarak bir çok değer için rahatlıkla üretilebilir (karbon birikimi, oksijen üretimi, su üretimi gibi). Şekil 22’de periyodik hedefi 100 m<sup>3</sup> odun üretimi olan bir modelin çözümünde hedeften uzaklaşıncaya ortaya çıkacak ceza değerleri verilmiştir.



Şekil 22. Periyodik kısıtlara ait sapmaların ceza fonksiyonu eğrisi

### 2.6. Konumsal Planlama

Orman ekosisteminin, ETÇAP yaklaşımına uygun planlanması aşamasında, gençleştirme alanlarının ve diğer orman alanlarının konumsal dağılımları ve parça büyüklükleri kontrol edilmelidir. Bu amaçla hazırlanacak olan model yazılımında bulunması gereken konumsal parametreler ve bunların genel özellikleri belirlenmiştir.

### **2.6.1. En Küçük Kesim Bloğu Büyüklüğü**

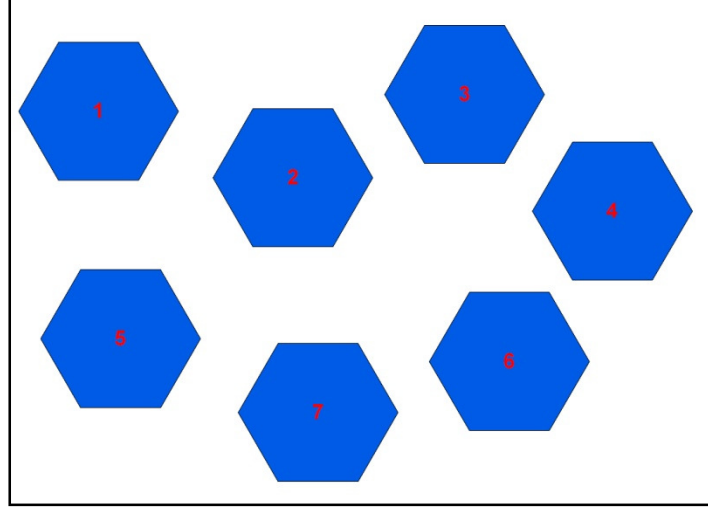
Gençleştirme çalışmaları sırasında ekonomik ve teknik açıdan müdahale edilmesi gereken en küçük alan büyüklüğüdür. Kullanıcı tarafından plan yapılan yöre, ekosistem ve ağaç türü ve gençleştirme maliyetleri dikkate alınarak belirlenecektir.

### **2.6.2. Hedeflenen Kesim Bloğu Büyüklüğü**

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.

### **2.6.3. Yakınlık Mesafesi**

Herhangi bir bölmeciğin başka bir bölmecik ile aynı kesim bloğu içerisinde kabul edilebilmesi için aralarında olması gereken kuş uçuşu en kısa mesafedir. Örneğin Şekil 23'de görüldüğü üzere tüm bölmecikler idare süresini doldurmuş ve gençleştirme yapılabilecek durumda oldukları ve aralarındaki mesafenin yaklaşık 20 m olduğu düşünülürse, 1 nolu bölmeciğin için diğer bölmeciklere yakın sayılabilmesi için yatay düzlemde yani kuş uçuşu mesafesinin verilen sınır değerinden az olması gerekir. 50 metre yakınlık mesafesi olarak tespit edildiği takdirde 2 ve 5 nolu bölmecikler 1 nolu bölmeciğe yakın sayılır ve bu 3 bölmeciğin toplam alan miktarı belirlenen kesim bloğu hedefinden az ise, 2 ve 5 nolu bölmeciklerin komşusu kontrol edilir. Bu bölmeciklerin eklenmesi ile oluşan kesim bloğu miktarı hedefe ulaşmışsa orada durulur ve blok sonlandırılır, şayet hala alan sınırına ulaşılmamış ise tekrar komşu bölmeciklerin mesafe içerisindeki yakın diğer bölmecikler kontrol edilir ve bu işlem sınır değeri doluncaya kadar bloğa eklenir.



Şekil 23. Kesim bloğu oluşturmak için örnek bölmeçik dağılımı

#### 2.6.4. Erteleme Süresi

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

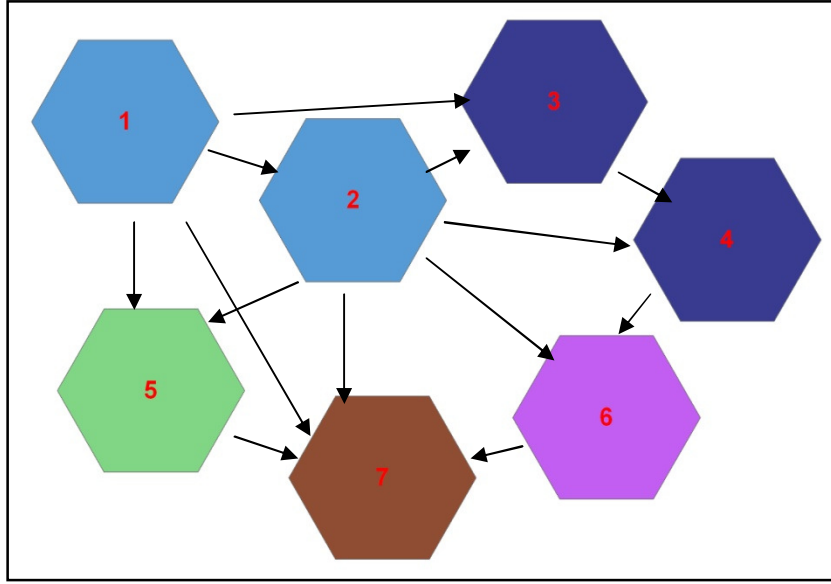
#### 2.6.5. En Büyük Açma Alanı Büyüklüğü

Ormanda gençleştirme ile açılması gereken maksimum alan 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.

#### 2.6.6. Komşuluk Mesafesi

Kesime tabi tutulan blokların diğer bloklar ile aynı açma alanı içerisinde kabul edilmesi için gerekli olan kuş uçuşu en kısa mesafedir. Örneğin Şekil 2'de, 1 ve 2 nolu bölmeçik 1 nolu blokta, 3 ve 4 nolu bölmeçik 2 nolu blokta diğer bölmeçikler ise ayrı bloklarda yer almaktadır. Burada blokların tamamı yani 1 ve 2 nolu bölmeçiğin herhangi birinin diğer kesim bloğundaki bölmeçikle komşuluk mesafesi içerisinde komşu olması

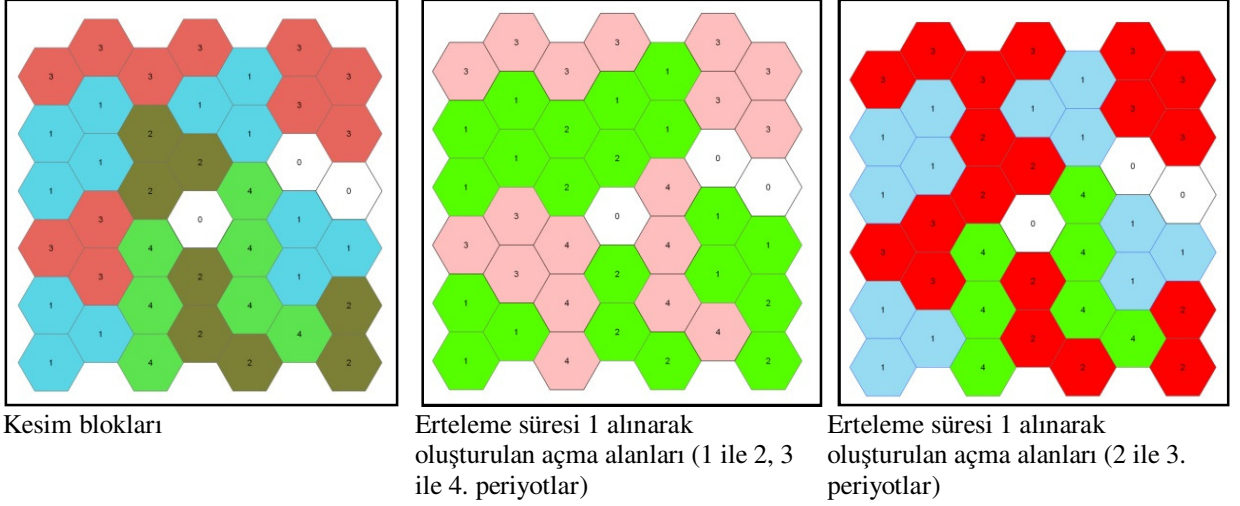
durumunda aynı açma alanında olduğu kabul edilir. Aynı şekilde yeni bir blok bu açma alanına komşu ise ve alanı eklendiği zaman maksimum açma alanı miktarını geçmiyorsa bu açma alanı içerisinde kabul edilir. Eğer eklenen blok alanı açma alanı miktarını aşıyorsa, o zaman bu blok gençleştirmeye alınmaz ve başka bir komşu blok varsa o kontrol edilir.



Şekil 24. Kesim blokları

### 2.6.7. Kesim Bloğu

Amenajman planı yapım aşamasında, idare süresini doldurmuş bölmeciklerden yakınlık mesafesi ve alan miktarına göre belirlemiş gençleştirme alanlarıdır. Bu bloklar ön bloklama olup kesinlikle gençleştirilecek alan olmayıp, açma alanı ve erteleme süresi kurallarına göre gençleştirmeye alınacak ve kesinleştirilecektir.

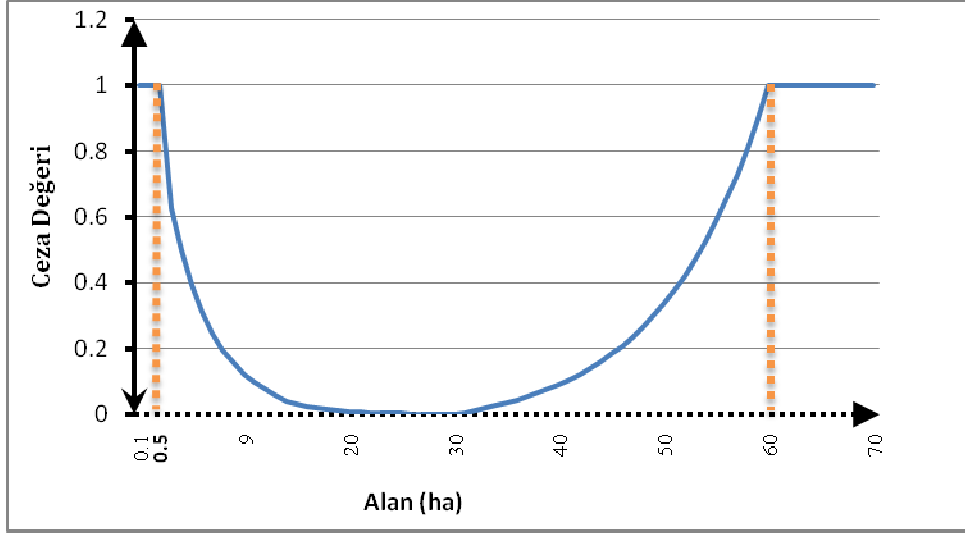


Şekil 25. Kesim blokları ve açma alanları

Şekil 25-a'da kesim bloklarının oluşturulması gösterilmektedir. Burada, aynı periyotta kesime tabi tutulan bölmecikler aynı renk ve periyot numarası ile gösterilmiştir. 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 edilerek kesim blokları oluşturulmuştur. Şekil 25-b ise açma alanına örnek olarak verilmiştir. Burada, Şekil 24-a'da oluşturulan kesim blokları bu defa erteleme süresi 1 periyot, maksimum açma alanı miktarı "20 ha" olacak şekilde ve bloklar arasındaki komşuluk mesafesi yine "0 metre" alınarak açma alanları oluşturulmuştur. Erteleme süresi "1 periyot" olarak belirlenmesi, bir birine komşu (0 metre) 1 ve 2 nolu periyottaki kesim bloklarının aynı açma alanı içerisinde kabul edileceğini, yine ardışık şekilde bir birine komşu 2 ve 3 nolu periyottaki bloklarının aynı açma alanı içerisinde yer alacağını göstermektedir. Örneğin, 2 nolu periyottaki herhangi bir kesim bloğu, aynı anda 1 ve 3 nolu periyottaki bloklar ile aynı açma alanı içerisinde yer alabilir. Bu nedenle Şekil 25-b'de, 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 25-c'de aynı açma alanı içerisinde gösterilmiştir. Kesim blokları ve benzer şekilde açma alanları aynı zamanda belirli bir yatay mesafeye göre de belirlenebilirler.

### 2.6.8. Blok Alanları Ceza Değerlerinin Hesaplanması

Orman ekosisteminin uzun vadeli stratejik olarak planlanması aşamasında komşu bölmecikler aynı periyot içerisinde gençleştirilebilmekte, yada çok küçük alanlar tek başına gençleştirilmektedir. Küçük alanların gençleştirilmesi parçalı bir orman yapısı oluşturmaktadır. Orman çok parçalı olması nedeniyle dışarıdan yapılabilecek her türlü müdahaleye karşı hassas hale gelmektedir. Aynı zamanda teknik ve ekonomik bir gençleştirme çalışması yapılabilmesi için, küçük alanlarda gençleştirme yapmak mümkündür. Ancak küçük alanda gençleştirme yapmak için o alana yol yapılması, arazi ekibinin kurulması, idari elemanların alana yönlendirmesi için en azından belli bir alan büyüklüğü sağlanmalıdır. Bu nedenle gençleştirme yani kesim bloğu alanları yöreye göre ağaç türü bazında belirlenip plancı tarafından konumsal parametre olarak kullanılmalıdır. Örneğin hedeflenen kesim bloğu büyüklüğü, benzer şekilde yöreye ve ağaç türü özellikleri dikkate alınarak ormancılık faaliyetlerinin yürütülmesi ve ekosistemin tüm bileşenlerini dikkate alacak şekilde tespit edilmelidir. Belirlenen bu değerden büyük kesim bloğu olduğu takdirde bu değerler için ceza değeri hesaplanmaktadır. Örneğin Şekil 26'de hedeflenen kesim bloğu büyüklüğü 30 ha olarak tespit edilmiş ise bu değer iki katına kadar ceza miktarı "1" olarak tespit edilmiş ve ceza değeri artan bir eğri olarak belirlenmiştir. Hedef değerinden aşağı doğru bir değer elde edildiği zaman, en küçük orman parçacığı değeri olan 0,5 ha değerinde ise "1" değerine ulaşmaktadır. 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.

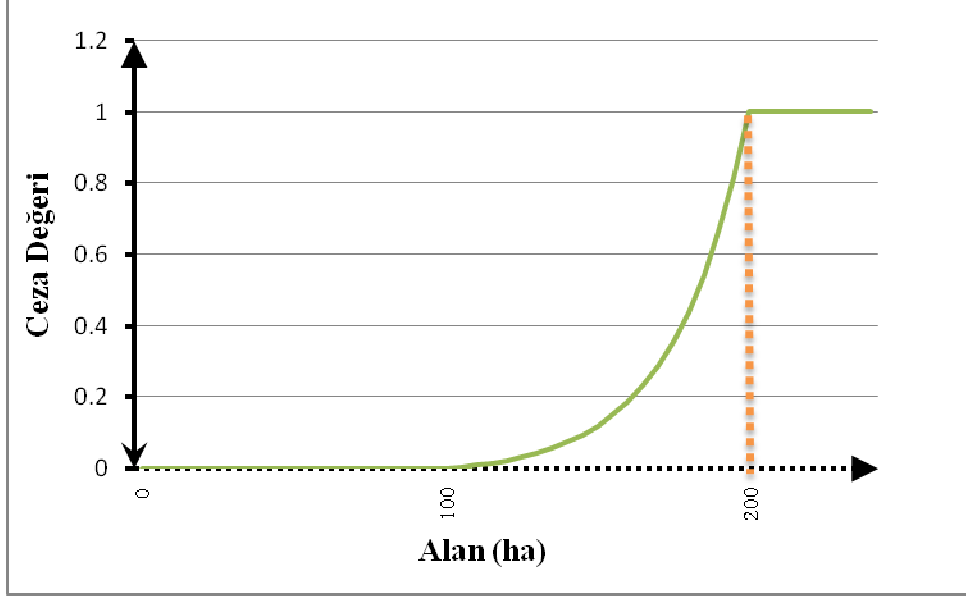


Şekil 26. Hedeflenen kesim bloğu büyüklüğü ceza fonksiyonu eğrisi

### 2.6.9. Açma Alanları Ceza Değerlerinin Hesaplanması

Uzun vadeli planlama yapılması sırasında komşu bloklar aynı periyot yada ardışık periyotlar içerisinde gençleştirilebilmektedir. Orman ekosistemi sürekliliği açısından çok büyük alanlarda gençleştirme yapılması, monoton bir orman yapısı oluşturacaktır. Konumsal olmayan optimizasyon modelinde komşu kesim blokları arasındaki erteleme süresi ve coğrafi mesafe dikkate alınarak oluşturulan açma alanlarının da kontrol edilemediği ve çok geniş alanlar oluşturduğu gözlemlenmektedir. Oysaki gerçek ya da konumsal planlamada gençleştirilen bir alanda gençliğin hayatiyetini devam ettirmesine kadar geçen süre içerisinde (erteleme süresi), örneğin iki ardışık periyotta 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 periyotlarda ki kesim bloğu alanları alınarak tespit edilirken komşuluk mesafesi yanında erteleme süresi miktarı göz önünde bulundurularak + ve – yöndeki periyotlar dikkate alınmaktadır. Örneğin, erteleme süresi 2 ise 5. periyottaki bir açma alanı hesaplanırken, 3 ve 4 nolu periyotlar ile 6 e 7 nolu periyotlardaki kesilmiş bloklar bu açma alanını etkilemektedir. Eğer komşuluk mesafesi içinde kesim blokları var ise bunlar açma alanı içerisinde hesaplanmaktadır. En büyük açma alanı değerinden meydana gelen sapma fonksiyonu hesaplanırken, bu değer iki katı (% 100 fazlası) değerindeki ceza miktarı “1” olacak şekilde hesaplanmakta, bu değer büyük değerler için sabit “1” alınmaktadır.

Açma alanı değerinden az değere sahip açma alanları için ceza değeri uygulanmamaktadır (Şekil 27).



Şekil 27. Hedeflenen açma alanı büyüklüğü ceza fonksiyonu eğrisi



### 3. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

#### 3.1. Simülasyon Modelinin Planlama Biriminde Uygulanması

Konumsal simülasyon tabanlı bir orman amenajman planlama modelinde, model için gerekli olan ve daha önce ayrıntıları açıklanan her türlü veri tablolarının modele öncelikle dahil edilmesi 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 bölmecik listesi gibi veri tabanlarından oluşmaktadır. Bu verilere ek olarak, simülasyon modelinin konumsal parametre tablosu, zaman ayarları, kurallar ve hedeflerinde yapılacak değişikliklerle birlikte çok sayıda orman amenajmanı planlama senaryoları geliştirilebilmektedir. Bu senaryolara bağlı olarak, farklı konumsal özelliklerin orman ekosisteminin dinamik yapısına etkisi izlenebilmekte ve en iyi konumsal simülasyon seçeneğine bu senaryoları değerlendirmek suretiyle erişebilmektedir.

Bu çalışma kapsamında Simülasyon modelinin özellikleri verilen planlama biriminde test edilmesi amacıyla çok sayıda alternatif senaryo geliştirilmiştir. Burada karşılaştırılabilir olması açısından sabit bir simülasyon süresi alınmış ve konumsal parametre özellikleri değiştirilmek suretiyle 6 farklı senaryo incelenmiştir. Bu senaryonun çıktıları grafik, tablo ve haritalar şeklinde sunulmuştur. Konumsal simülasyon senaryosunun temel özellikleri aşağıda verilmiştir:

- Sarıçam ağaç türü 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 öngörülmüştür.
- Bölmecikler (meşcereler) gençleştirildikten sonra yine aynı ağaç türü ve aynı bonitet ile devam edeceği varsayılmıştır
- Karbon birikiminin hesaplanmasında Asan vd (2002) tarafından ibrelî ağaç türleri için belirlenen biokütle dönüşüm faktörleri kullanılmıştır.
- 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) tarafından Karanlıkdere planlama birimi için geliştirilmiş model seçilmiştir.
- Toprak erozyonu modeli için Mısır (2001) tarafından Maçka Orman Üstü Planlama Birimi için geliştirilmiş model seçilmiştir.
- Eşit alan politikası ile her periyotta 100 ha gençleştirmeye alınacağı, ve bu değerden %10 sapma olabileceği varsayılmıştır.

Yukarıda verilen simülasyon senaryosu verileri kullanılarak konumsal kısıtlamaları göz önünde bulunduran altı (6) farklı senaryo türetilmiştir.

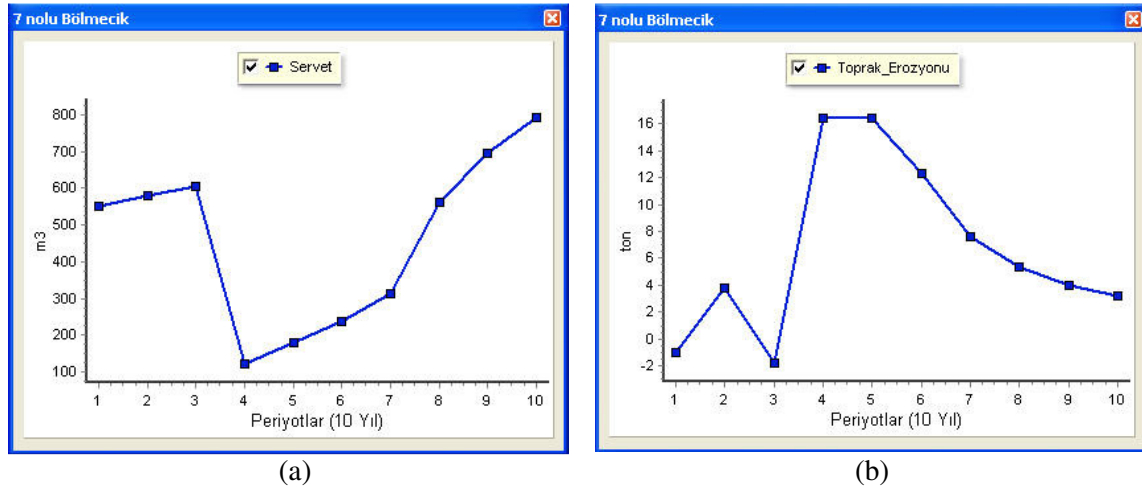
Tablo 5. Farklı senaryolar için konumsal değerler

<b>Senaryo Numaraları</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Minimum blok	-	6	6	6	4	4
Hedef blok	-	12	12	12	12	12
Yakınlık mesafesi	-	0	0	0	0	0
En büyük açma alanı	-	36	48	48	60	60
Erteleme süresi	-	0	0	0	1	2
Komşuluk mesafesi	-	0	0	100	0	0

Burada belirtilen simülasyon senaryolarının çözümüne göre 100 yıllık simülasyon süresince bir bölmeçiğe ait birim hektardaki istenilen her türlü çıktılar (servet, artım, göğüs yüzeyi, ağaç sayısı gibi meşcere parametreleri ile odun üretimi, tomruk üretimi, NBD, su üretimi, karbon emisyonu, karbon birikimi, oksijen üretimi gibi çıktılar) tablo olarak görebilmek ve bu tabloyu harita ile “bölmeçik ID” değerleri ile ilişkiye getirerek harita üzerinde de zamansal değişimini izlemek mümkündür. Örneğin Şekil 28’de 7 numaralı bölmeçiğin simülasyon süresi boyunca her bir periyottaki meşcere parametreleri miktarları tablosu gösterilmektedir. Şekil 29’da ise aynı bölmeçiğin servet ve toprak koruma değeri grafik olarak gösterilmektedir.

Servet	Artım	Slv_ETA	Slv_Adel	Agac_Sa	Ust_Bc	Orta_Bo	Orta_Ca	Gogus_Yuz
10,15	6,33	13,78	230	2026	19,26	19,26	6,33	49,99
51,90	5,40	13,78	230	1662	20,25	19,26	7,13	62,80
78,57	5,04	13,78	230	1355	21,15	19,26	7,76	51,61
05,79	4,58	13,78	230	1101	21,86	19,26	8,60	64,57
22,31	6,51	13,78	230	13609	4,88	0,00	5,10	22,43
79,41	6,51	13,78	230	13609	4,88	0,00	5,10	22,43
36,51	10,09	13,78	230	12077	6,77	0,00	6,10	31,90
11,72	15,84	13,78	230	8833	10,75	0,00	8,10	42,78
63,20	10,61	13,78	230	6230	14,04	0,00	10,10	48,09
93,44	8,75	13,78	230	4910	16,53	0,00	12,10	51,15
92,08	8,97	13,78	230	3370	18,52	0,00	14,20	53,04

Şekil 28. 7 numaralı bölmeçiğe ait simülasyon sonuçları ekranı



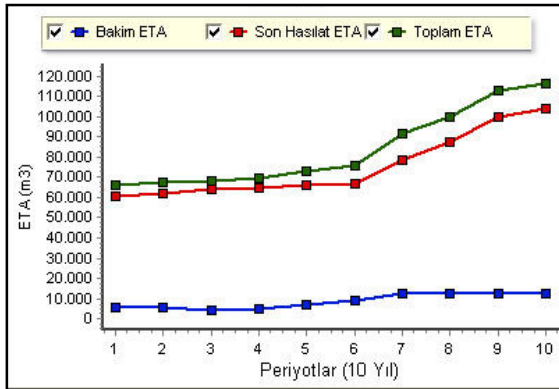
Şekil 29. 7 numaralı bölmeçiğin 100 yıllık süreçteki a) Servet ve b) Toprak koruma değeri

Şekil 30'da gösterilen tabloda simülasyon süresi boyunca alınan her türlü etalar, su üretimi, odun ürünleri çeşitleri miktarları, göğüs yüzeyi ve dikili servet gibi parametreler, gençleştirme ve bakım alanları, karbon birikimi ve oksijen üretimi gibi her türlü bilgileri görmek mümkündür.

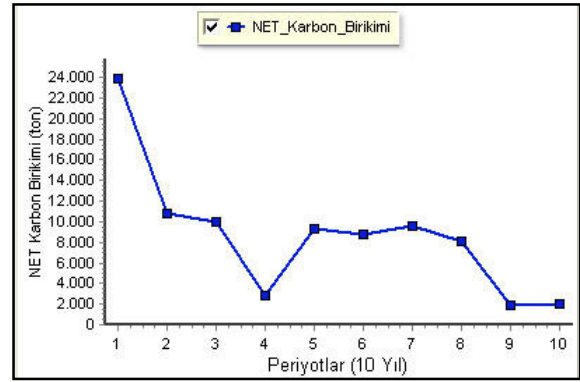
Örnek olarak kullanılan "1 nolu" planlama senaryosundan, orman ekosistemi bazında simülasyon süresi boyunca elde edilen eta miktarları, karbon birikimi değerleri, dikili servet ve bakım- gençleştirme alanı miktarları aşağıda verilmiştir. Diğer konumsal simülasyon senaryoları içinde aynı grafikler oluşturulmaktadır. (Şekil 31).

Periyotlar	Bakım ETA	SON Hasıla	Toplam ET.	Bakım Alar	Son Hasıla	Dikili Servet	Göğüs Yüz.	#
Başlangıç	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	429078,6000	22686,3900	1
1	5862,6629	60360,6522	66223,3151	242,0000	102,0000	466580,9160	27663,5334	1
2	5342,3961	61996,9722	67339,3684	200,0000	100,0000	480702,4160	21585,1982	2
3	4284,0680	64050,0778	68334,1457	140,0000	100,0000	499869,0000	25645,1229	2
4	5055,5341	64606,1568	69661,6909	202,0000	100,0000	501883,6940	20940,3934	2
5	6968,9488	66019,7196	72988,6683	262,0000	100,0000	523908,0420	24437,3125	2
6	9077,2472	66960,5996	76037,8468	322,0000	100,0000	545093,3160	21013,7667	3
7	12506,7265	78819,4585	91326,1851	402,0000	100,0000	561811,6750	23487,2698	3
8	12423,3498	87309,2108	99732,5607	400,0000	100,0000	576374,4550	21295,0976	3
9	12423,3498	100067,5180	112490,8680	400,0000	100,0000	581698,4560	22638,2222	3
10	12423,3498	103841,1830	116264,5330	400,0000	100,0000	582331,0500	21917,5000	3

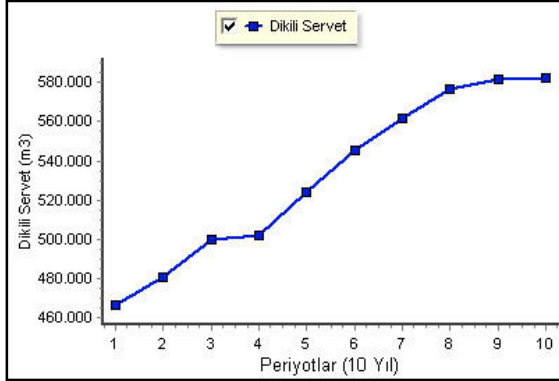
Şekil 30. 1 nolu senaryonun periyodik olarak toplam değerleri



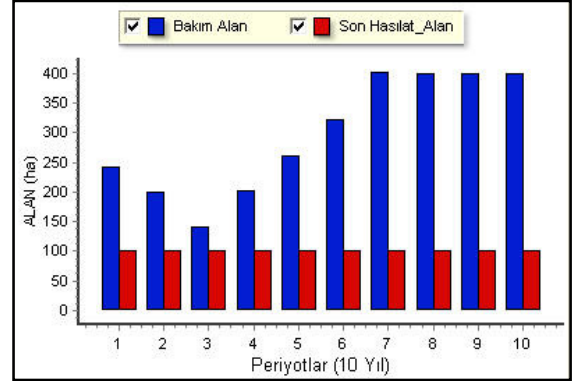
(a) Ara ve son hâsılat eta miktarları



(b) Net karbon birikimi miktarları



(c) Dikili servet miktarları

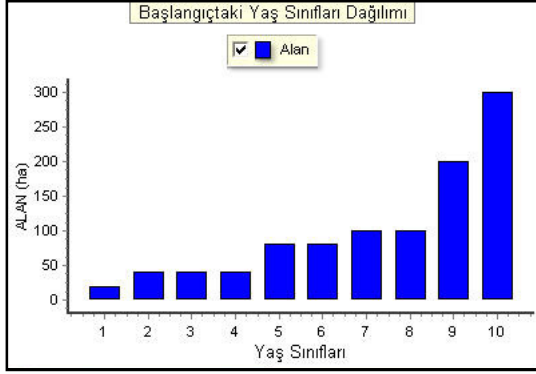


(d) Gençleştirme ve bakım alanları

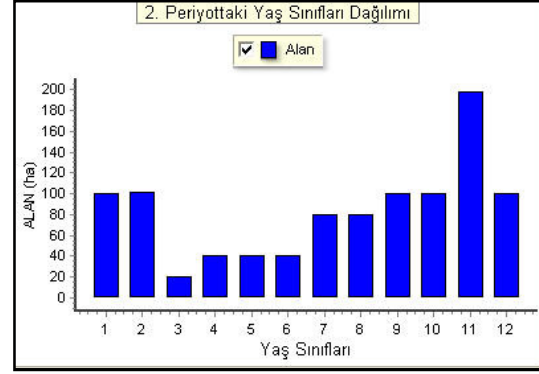
Şekil 31. Planlama birimi düzeyinde gerçekleşen değişen değerler

Burada örnek olarak verilen “1 nolu” planlama senaryosunda, planlama biriminin belirli periyotlardaki yaş sınıfları dağılımı incelendiğinde, planlama yörüngesi sonunda eşit yaş sınıfı dağılımının sağlandığı görülecektir. Bunun nedeni planlama senaryosunda

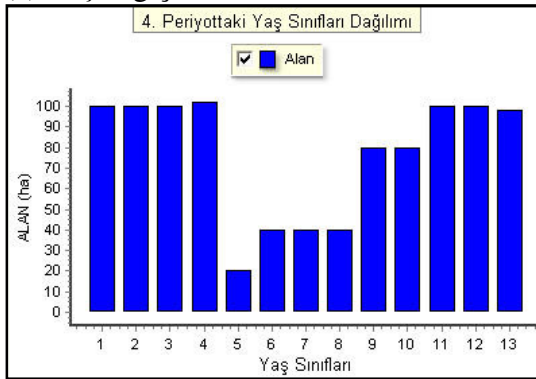
optimal periyodik alan (OPA) kısıtı (%10 sapma) politikasının tercih edilmesinden kaynaklanmıştır (Şekil 32-f).



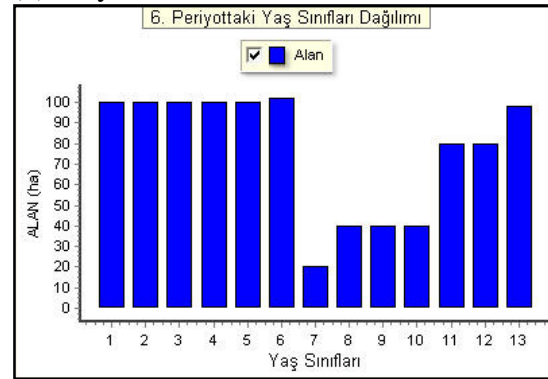
(a) Başlangıç durumu



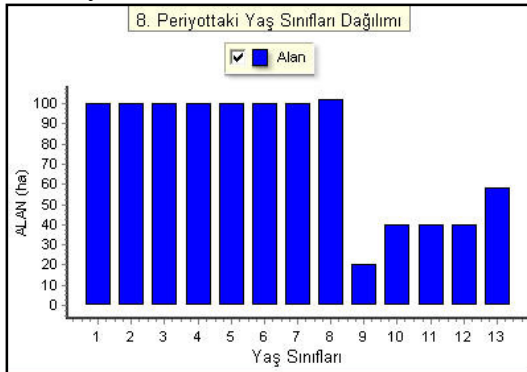
(b) 20 yıl sonraki durum



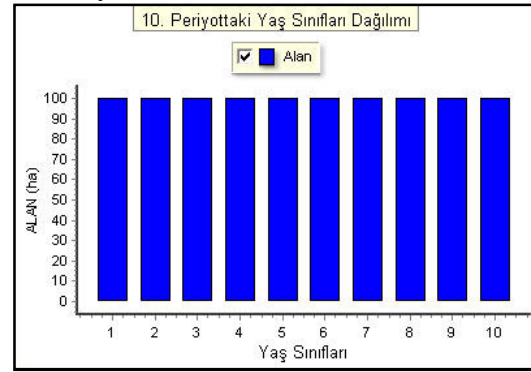
(c) 40 yıl sonraki durum



(d) 80 yıl sonraki durum



(e) 60 yıl sonraki durum

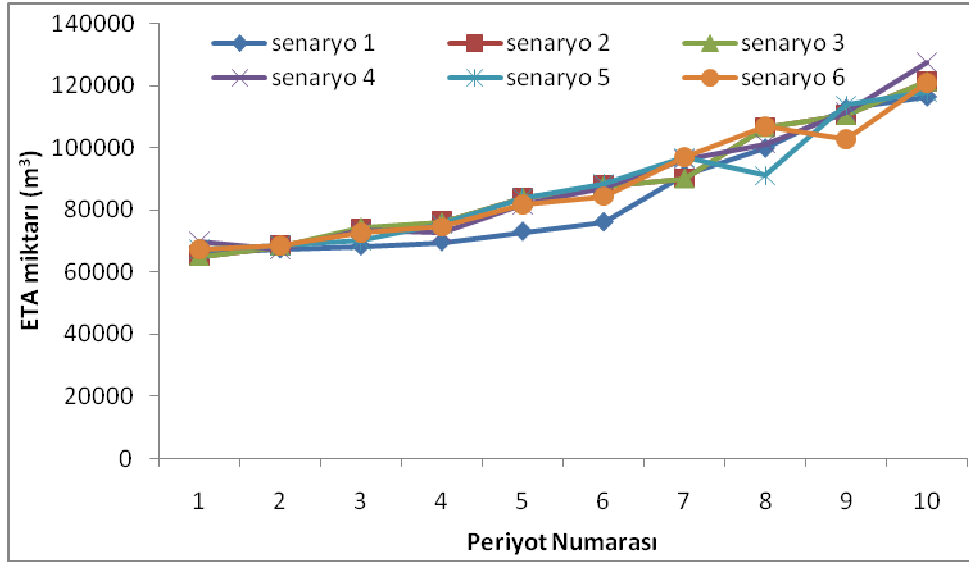


(f) Planlama süresi sonundaki durum

Şekil 32. Orman ekosisteminin yaş sınıfları dağılımı (100 yıl)

Simülasyon modeli ile test edilen 6 farklı simülasyon senaryosu birlikte değerlendirdiğinde, her bir periyottaki toplam eta miktarlarının değişimi Şekil 33' deki gibidir. Toplam eta miktarları ise tüm senaryolar için sırasıyla 840399 m<sup>3</sup>, 882497 m<sup>3</sup>, 882483 m<sup>3</sup>, 887248 m<sup>3</sup>, 873681 m<sup>3</sup> ve 876378 m<sup>3</sup> tür. Bu değerler incelendiğinde,

simülasyon senaryoları arsında toplam eta bakımından çok fark olmadığı görülmektedir. Ancak, benzer eta miktarları elde edilmesine rağmen konumsal olarak kesimlen bölmeciklerin farklı olacaktır.



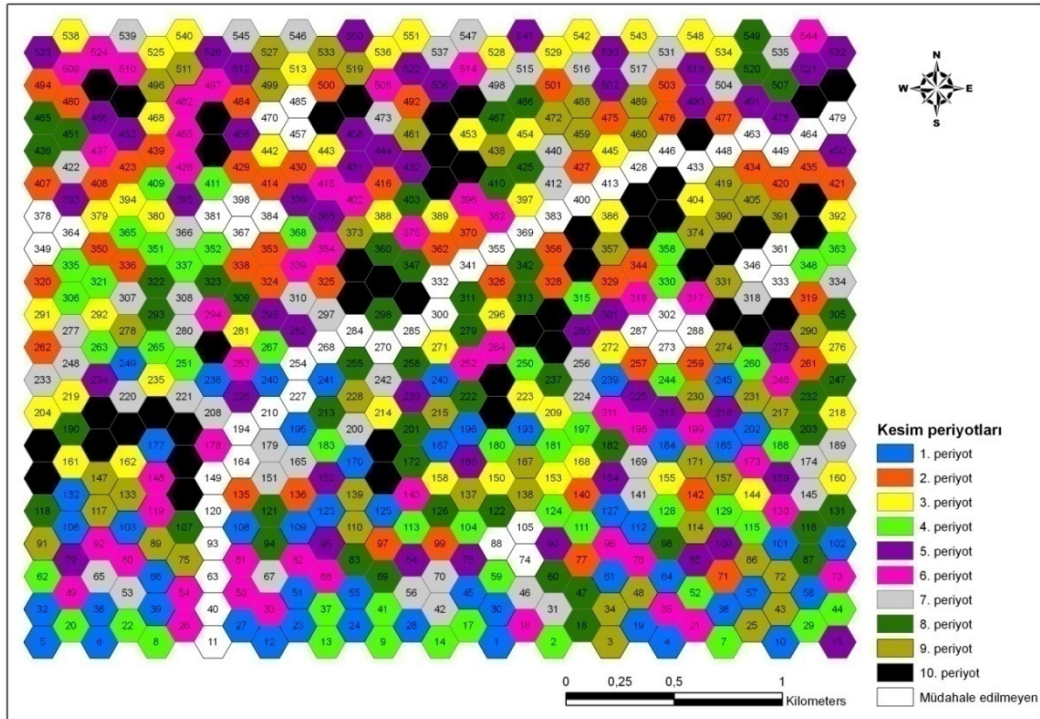
Şekil 33. Farklı planlama senaryolarının periyodik olarak toplam eta miktarları

Bu aşamada, konumsal simülasyonun bize getirdiği en önemli yenilik olan haritaya aktarma ve konumsal öğelerin periyodik olarak izlenmesi karşımıza çıkmaktadır. Miktar olarak aynı yada yakın değerlerin alınması, konumsal özelliklerinde benzer şekilde sağlandığı yada aynı bölmeciklerin farklı senaryolarda aynı periyot içerisinde kesildiği anlamına kesinlikle gelmemelidir. Elde edilen gençleştirme alanı bilgileri haritaya aktarılması ile farklı planlama senaryolarının harita üzerindeki kesim periyotları dağılımı hazırlanmıştır (Şekil 34-39). Normal simülasyon (konumsal parametre uygulanmamış) sonucunu gösteren haritada, 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. Yani, aynı anda komşu bölmeciklerin hepsi bir anda aynı periyotta gençleştirilebilir, yada çok dağınık halde kesim alanları oluşabilmektedir (Şekil 34). “2 nolu” senaryo ise konumsal parametre kullanılması nedeniyle, minimum “6 ha”, maksimum “12 ha” blok alanı büyüklüğünü “0” metre yakınlık mesafesi ile tam olarak sağlamaktadır. Aynı senaryo, “0 metre” komşuluk mesafesi, “0 periyot” erteleme süresi ve “36 ha” maksimum açma alanı kısıdını tam olarak yerine getirmektedir. Benzer şekilde diğer konumsal simülasyon senaryolarında verilen

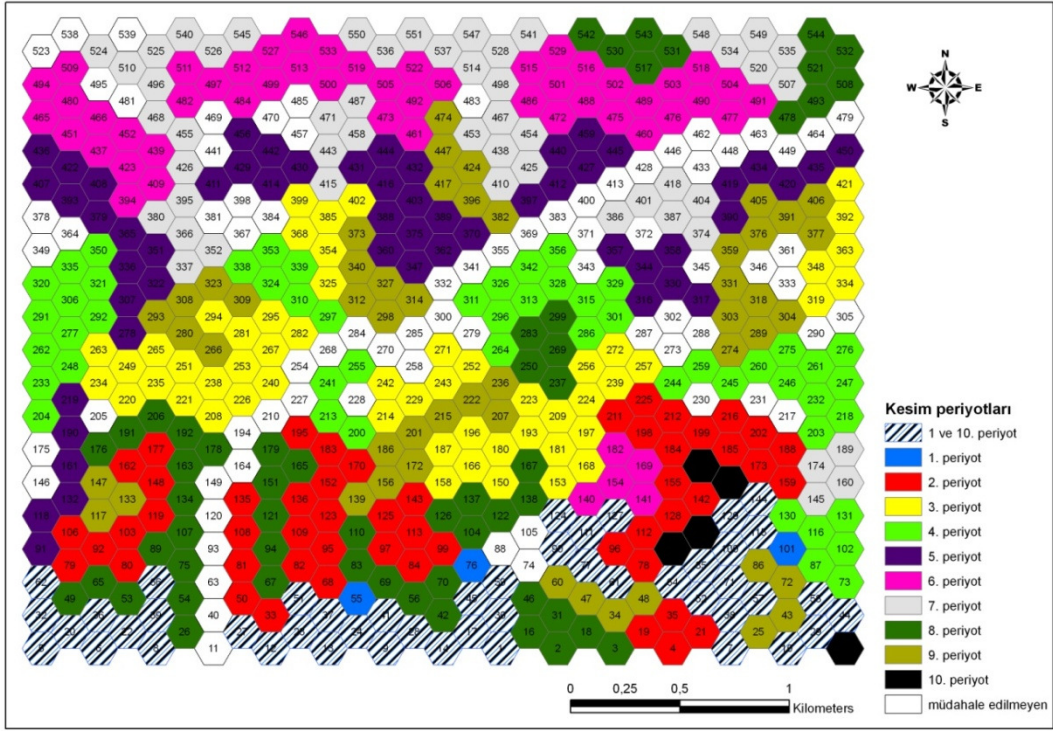


konumsal parametreler tam olarak sağlanmakta ve bu şekilde harita üzerinde sunulmaktadır. Senaryo 5 ve senaryo 6 da ise, erteleme süresi kullanılarak ardışık periyotlardaki kesime uygun blokların konumsal dağılımları kontrol edilmektedir (Şekil 38-39).

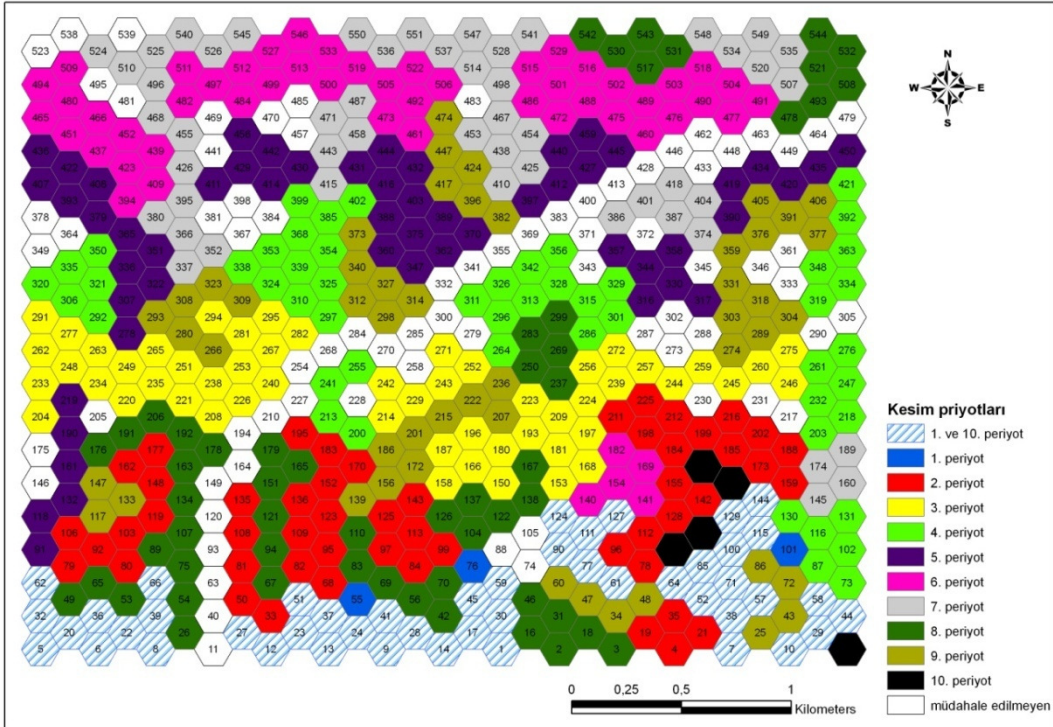
Bu çalışma kapsamında tasarlanan ve yazılımı gerçekleştirilen simülasyon modelleri bir kural koyulduğu zaman, kuralda herhangi bir esneklik asla içermemekte, kural ihlal edildiği anda simülasyon çalışması durdurulmaktadır. O periyotta ne gibi bir hata nedeniyle simülasyonun çalışmasının kesildiği kullanıcıya hata kodu ile bildirilir ve o periyotta simülasyon durdurulur. olarak verilmektedir. Örneğin, simülasyon çalışması esnasında “8 nolu” periyot hesaplanırken, kesim açma alanı kuralı ihlal edilmeden istenilen alan yada eta hedefine ulaşamıyorsa ve başka bir bölmeçığın çözüme dahil edilmesi ile istenilen hedef yinede yakalanamıyorsa, simülasyon o safhada durdurulur ve hata kodu verilir. Yani kullanıcı tarafından verilen herhangi bir konumsal parametre yada periyodik kısıt sağlanamadığı takdirde simülasyon hata kodu üretilir ve o periyotta simülasyon durdurulur.



Şekil 34. 1 nolu senaryonun kesim düzeni haritası

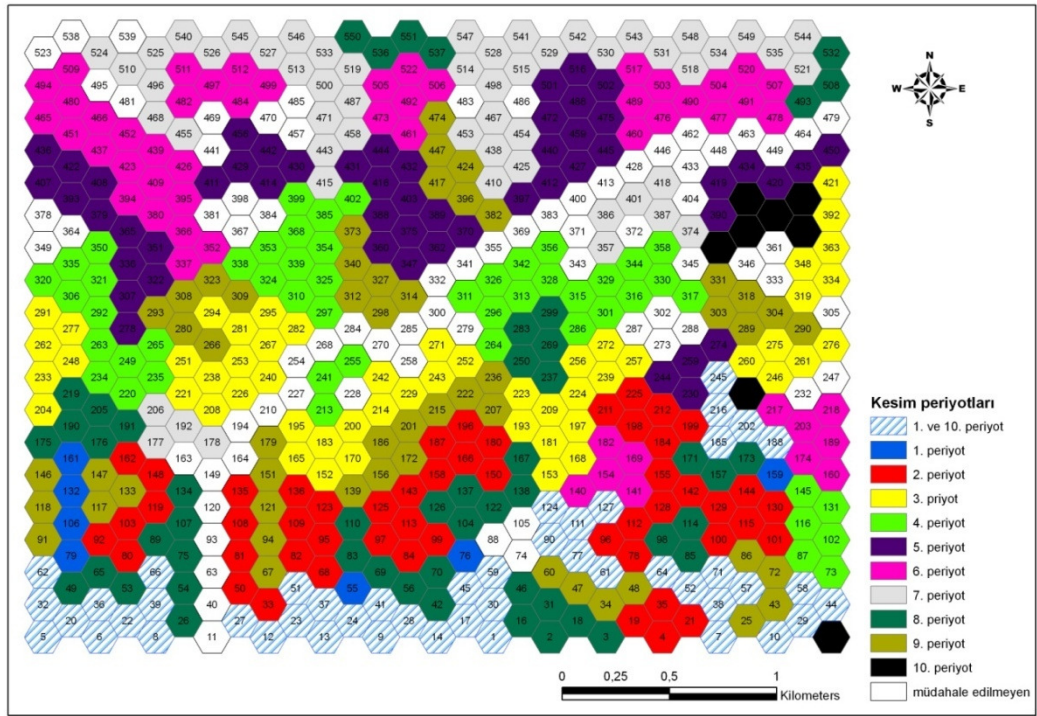


Şekil 35. 2 nolu senaryonun kesim düzeni haritası

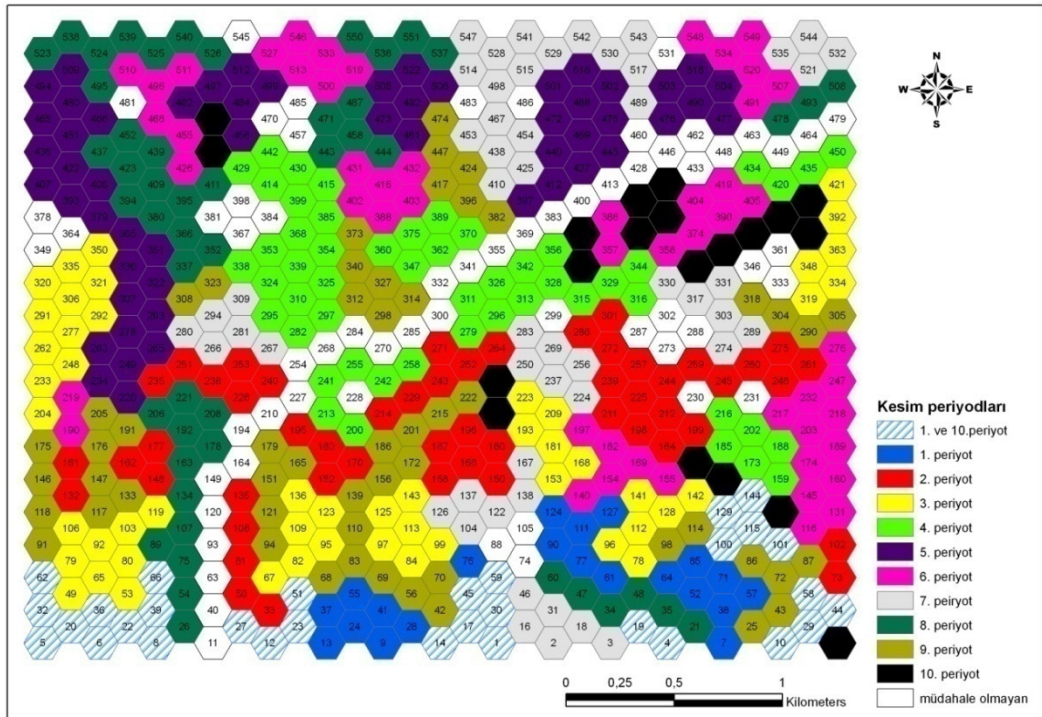


Şekil 36. 3 nolu senaryonun kesim düzeni haritası

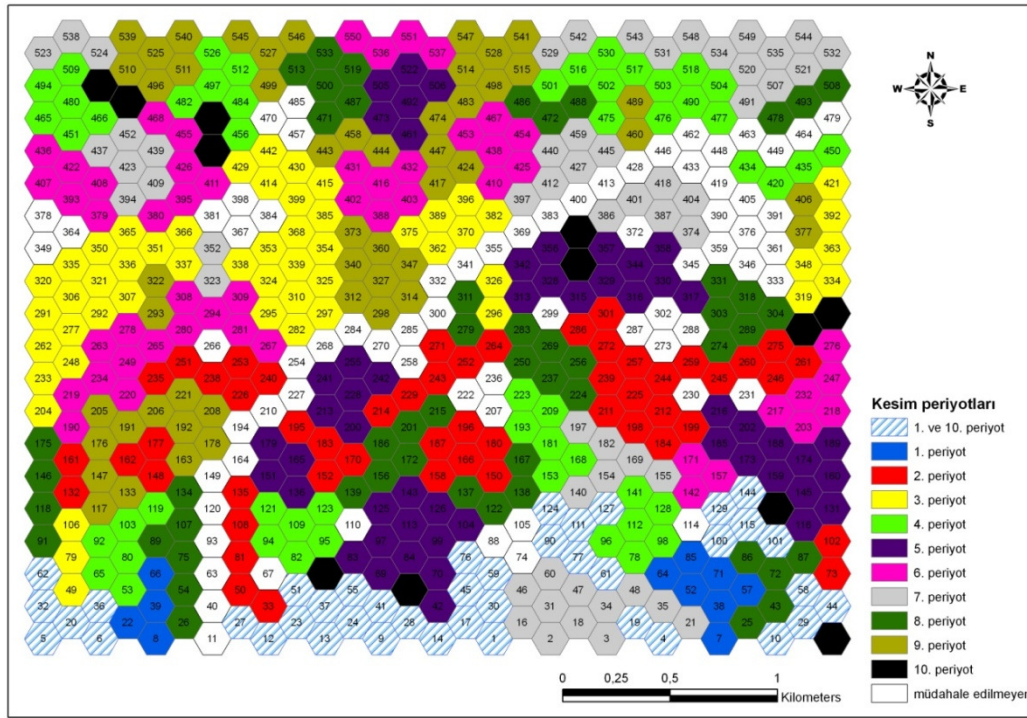




Şekil 37. 4 nolu senaryonun kesim düzeni haritası



Şekil 38. 5 nolu senaryonun kesim düzeni haritası



Şekil 39. 6 nolu senaryonun kesim düzeni haritası

### 3.2. Optimizasyon Modelinin Planlama Biriminde Uygulanması

Konumsal planlama tabanlı bir orman amenajman planlama modelinde, model için gerekli olan ve daha önce ayrıntıları ifade edilen her türlü veri tablolarının modele öncelikle dahil edilmesi gereklidir. Bunlar hasılat tablosu, odun ürün çeşitleri tablosu, karbon birikimi tablosu, ekonomik veriler tablosu, aktüel orman verilerinin yer aldığı bölmecik listesi ve bölmecik bazında komşuluk bilgilerini içeren komşuluk tablosu gibi veri tabanlarından oluşmaktadır. Bu verilere ilaveten, optimizasyon modelinin zaman ayarları, silvikültürel rejimlerin belirlenmesi ve atanması gibi yapılacak değişikliklerle birlikte türetilen senaryolara bağlı olarak, karar verici orman ekosisteminin dinamik yapısını izleyebilmekte ve en iyi kararlara bu senaryoları değerlendirmek suretiyle erişebilmektedir. Bu senaryo seçeneklerine ilave olarak belirlenen konumsal parametreler (açma alanı, kesim bloğu büyüklüğü, erteleme süresi gibi) ile farklı konumsal planlama stratejileri üretilmektedir.

Bu bölümde, optimizasyon modelinin yapılan çalışmalar bölümünde ayrıntıları verilen hipotetik planlama birimlerinden bir tanesinde uygulanması amacıyla örnek bir planlama senaryosu geliştirilmiştir. Optimizasyon modeli ile planlama birimi için çok

sayıda alternatif senaryo geliştirilmek mümkündür, burada belirlenmiş olan bir optimizasyon modeline farklı komşuluk parametreleri eklenmesi ile farklı konumsal planlama senaryoları üretilmiştir. Örnek olması açısından, optimizasyon senaryosunun çıktıları grafik ve tablolar şeklinde sunulmuş, bu senaryonun konumsal parametreler eklenerek oluşturulmuş farklı alternatifleri ve bu senaryoda meydana gelen bölmecik parçalamasının birleştirilmesi suretiyle elde edilmiş alternatif harita ve tablo olarak sunulacaktır. Optimizasyon senaryosunun ve Kombine optimizasyon senaryosunun temel özellikleri aşağıda verilmiştir:

- Hipotetik planlama birimine ait bölmecik tablosu (500 adet, 2ha'lık poligon) kullanılmıştır.
- Sarıçam ağaç türü için geliştirilmiş hasılat tablosu kullanılmıştır.
- Optimizasyon senaryosunun basit ve sade olması için silvikültürel müdahaleler sadece ağaç türü bazında verilmiştir. Kullanılan iki adet rejim alternatifinin minimum ve maksimum kesim yaşları ve bakım oranları Şekil 40'da verilmiştir.
- Meşcereler 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.
- Sarıçam için birim ağaçlandırma gideri hektarda 1000 YTL olarak belirlenmiştir. 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, planlama yörüngesi 100 yıl alınmıştır.
- Odun dışı orman fonksiyonlarının parasal değerleri su için 10, toprak erozyonu için 5, karbon için 20 ve oksijen için ise 15 YTL olarak belirlenmiştir. Her bir fonksiyon için iskonto oranı %3 olarak alınmıştır.
- Amaç fonksiyonu olarak "odun üretiminin eniyilenmesi" seçilmiştir.
- Eşit eta kontrol politikası tercih edilmiştir.
- Herhangi bir ağaçlandırma öngörülmemiştir.

- Su üretim modeli olarak Keleş (2003) tarafından Karanlıkdere planlama birimi için geliştirilmiş model seçilmiştir.
- Toprak erozyonu modeli için Mısır (2001) tarafından Maçka Orman Üstü Planlama Birimi için geliştirilmiş model seçilmiştir.

Yukarıda tüm özellikleri anlatılan doğrusal programlama tabanlı orman amenajmanı planlama senaryosu temel alınarak, bu modele konumsal parametreler eklenmek suretiyle farklı alternatifler üretilmiştir.

REJİM ID	REJİM ADI	YAŞ ARALIĞI	MİN KESİM YAŞI	MAK KESİM YAŞI															
2	Deneme2	10	110	16															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>BAKIM YAŞI</th> <th>BAKIM MİKTARI (Servet-%)</th> <th>BAKIM MİKTARI (Göğüs Yüzeği-%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>40</td> <td>5</td> <td></td> </tr> <tr> <td>50</td> <td>4</td> <td></td> </tr> <tr> <td>60</td> <td>5</td> <td></td> </tr> <tr> <td>70</td> <td>5</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					BAKIM YAŞI	BAKIM MİKTARI (Servet-%)	BAKIM MİKTARI (Göğüs Yüzeği-%)	40	5		50	4		60	5		70	5	
BAKIM YAŞI	BAKIM MİKTARI (Servet-%)	BAKIM MİKTARI (Göğüs Yüzeği-%)																	
40	5																		
50	4																		
60	5																		
70	5																		
3	Deneme3	10	110	16															

Şekil 40. Rejim tanımlama ekranı

Optimizasyon modelinde orman amenajmanı planlama problemine ilişkin matrisler çözüldükten sonra elde edilen tüm çıktılar (uygun çözüm olması durumunda) tablolar ve grafikler şeklinde kullanıcı tarafından izlenebilmekte ve değerlendirilmesi mümkün olmaktadır.

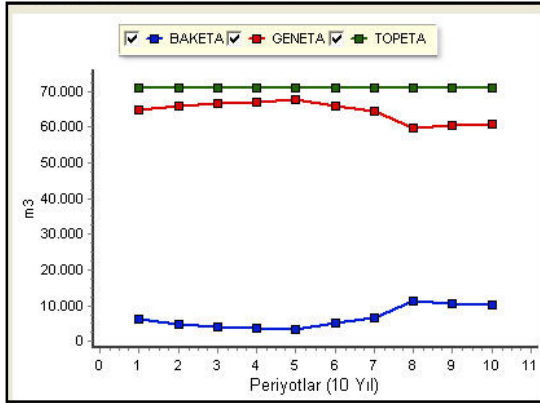
Şekil 41'de verilen komşuluk parametreleri kullanılarak konumsal planlama alternatifi oluşturulmuştur. Bu alternatif ile üretilen tüm haritalar (kesim blokları, açma alanları vs) aşağıda verilmiştir.

KESİM BLOKLARI :		AÇMA ALANI :	
YAKINLIKMESAFESI	<input type="text" value="0"/>	KOMŞULUKMESAFESI	<input type="text" value="0"/>
MINIMUMBLOK	<input type="text" value="4"/>	ERTELEMESURESI	<input type="text" value="2"/>
HEDEFBLOK	<input type="text" value="8"/>	MAKACMAALANI	<input type="text" value="16"/>
<input type="button" value="KAPAT"/>			

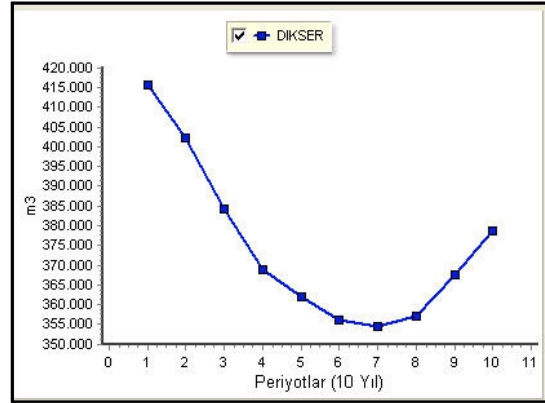
Şekil 41. Komşuluk parametreleri ekranı



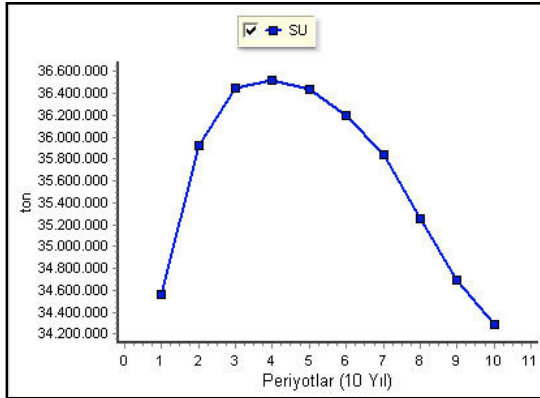
Konumsal özellikler dahil edilmeden, eşit alan kuralına göre çözülmüş doğrusal programlama modeline ilişkin, orman ekosistemi bazında planlama süresi boyunca elde edilen son hasılat etası, bakım etası ve toplam eta seyri ile odun ürün çeşitlerinin zamana bağlı üretim miktarları, ormanın dinamik yapısının zaman bağlı değişimini, gençleştirme ve bakım alanı miktarları sırasıyla Şekil 42 a-f de grafik formatında gösterilmiştir.



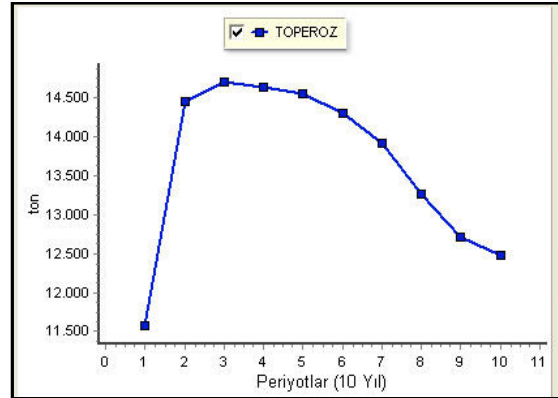
(a) Bakım, gençleştirme ve toplam eta



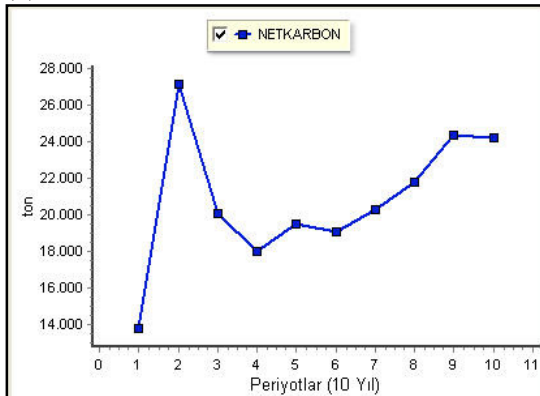
(b) Dikili servet



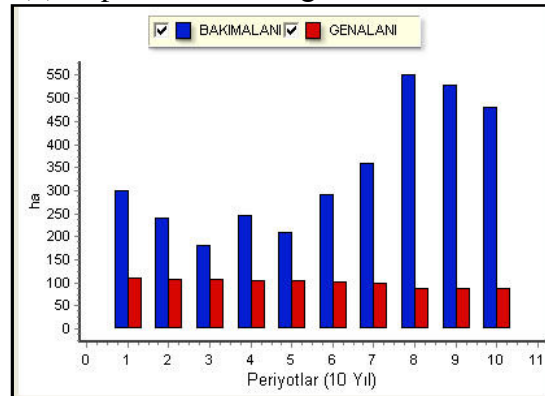
(c) Su üretimi



(d) Toprak koruma değeri



(e) Net karbon birikimi miktarı



(f) Gençleştirme ve bakım alanları

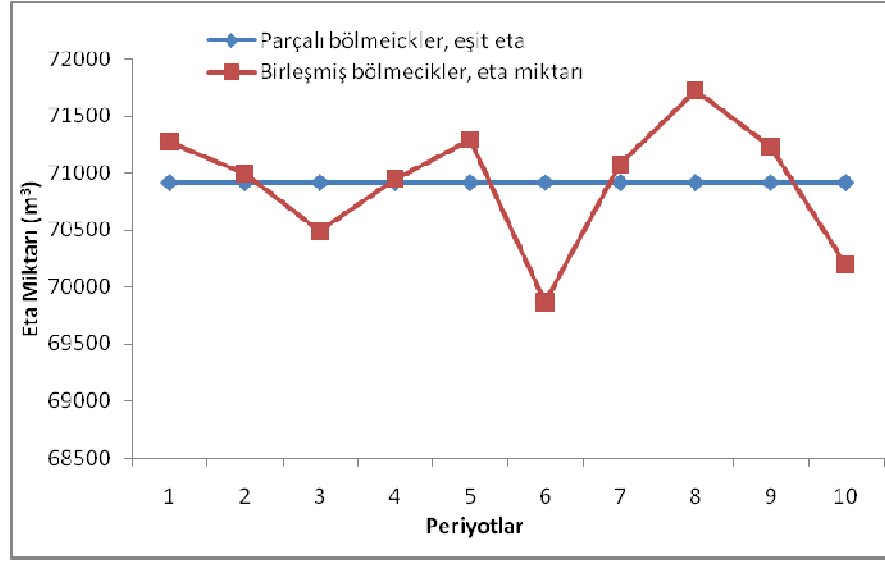
Şekil 42. Odun üretimi çıktılarının zamana bağlı değişimi

Tablo 6. 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	6131,86	64782,66	70914,52	300,00	109,39
2	4906,64	66007,88	70914,52	240,00	107,86
3	4174,1	66740,42	70914,52	180,00	106,66
4	3857,822	67056,7	70914,52	245,39	105,95
5	3332,422	67582,1	70914,52	207,86	105,40
6	5146,701	65767,82	70914,52	292,05	101,62
7	6529,555	64384,97	70914,52	359,20	97,77
8	11178,73	59735,79	70914,52	551,27	88,81
9	10494,25	60420,27	70914,52	527,50	87,52
10	10267,37	60647,15	70914,52	480,51	88,98

Planlama yörüngesi boyunca gerçekleşen gençleştirme alan miktarı ve bakım alanı miktarları tablo 6'da verilmiştir. Bu verilere göre, her periyotta farklı miktarda alana gençleştirme ve bakım çalışması için girilmiş, toplamda her bir periyot için 70914 m<sup>3</sup> eta elde edilmiştir. Bununla birlikte çözüm sonuçlarının her birini aynı zamanda grafik şeklinde görmek yine optimizasyon modelinde mümkündür.

Konumsal özellikleri ilave etmeden elde edilen çözüm sonuçları incelendiğinde, bazı bölmeciklerin birden fazla periyotta kesim tabi tutulduğu, parçalandığı görülmektedir. Bu aşamada bu verileri haritaya aktarabilmek ve her bölmeciğe tek bir müdahale rejimi uygulanmasını düzenlemek amacıyla parçalı bölmecikler "Birleştirme" modülü aracılığıyla bir periyotta birleştirilmektedir. En fazla hangi periyotta kesilmiş 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 hesaplanmaktadır. Bu çözüm ara çözüm olup, optimizasyon modeli ile elde edilmiş en iyi çözüm setinin değiştirilmesi ile elde edilmiştir. Elde edilen yeni çözüm seti bölmecik bazında olması nedeniyle ve her bölmeciğe bir defa müdahale yapılma seçeneğini sağladığı için harita ortamına aktarılmıştır (Şekil 47). Elde edilen yeni çözüm sonuçlarına göre, toplam eta değeri 709145 m<sup>3</sup> ten, 709116 m<sup>3</sup> değerine düşmüştür. Toplam değer bakımından amaç fonksiyonu değerinden çok sapmamasına karşın, periyodik olarak eşit eta kısıdından büyük ölçüde saptığı görülmektedir (Şekil 43).



Şekil 43. Optimizasyon sonucu parçalanmış bölmecikler

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	Bl
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	
502	2	0	140	543.97	570.65	592.70	611.38	93.76	93.76	122.31	203.23	337.52	413.22		2	
503	3	0	120	566.53	93.76	93.76	122.31	205.37	353.72	400.92	468.88	525.16	607.81		2	

Şekil 44. Optimizasyon sonucu parçalanmış bölmecikler

496	3	0	130	364.35	424.89	474.87	548.77	582.37	608.87	630.77	93.76	93.76	122.31	7	2	444	7	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	5	2	445	5	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	6	2	446	6	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	8	2	447	8	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	0	2	448	0	2
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	2	449	2	2
502	2	0	140	543.97	570.65	592.70	611.38	93.76	93.76	122.31	203.23	337.52	413.22	4	2	450	4	2
503	3	0	120	566.53	93.76	93.76	122.31	205.37	353.72	400.92	468.88	525.16	607.81	1	2	451	1	2

Şekil 45. Parçalı bölmeciklerin birleştirilmesi

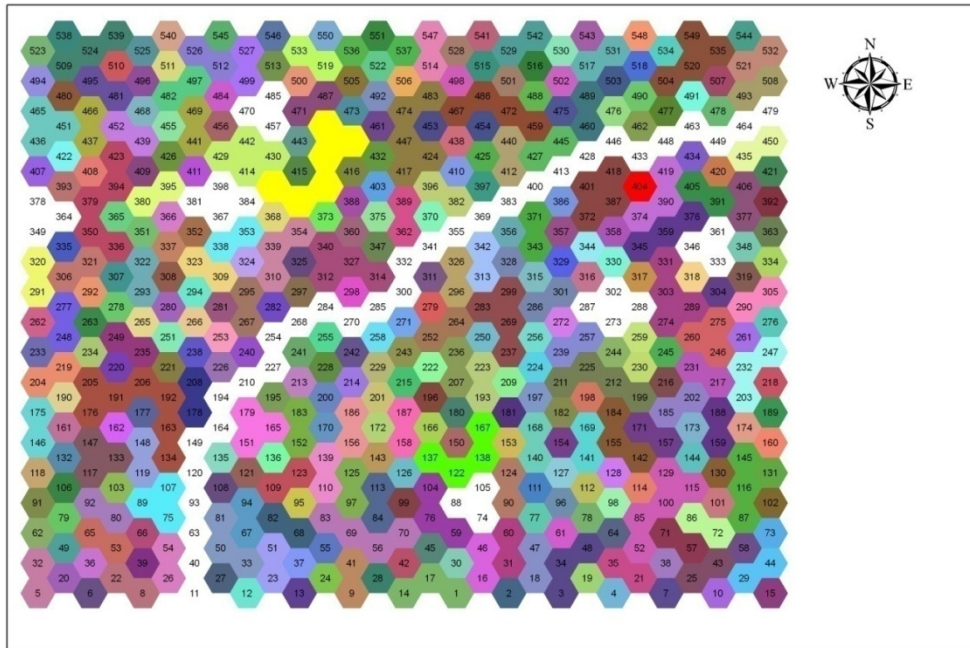




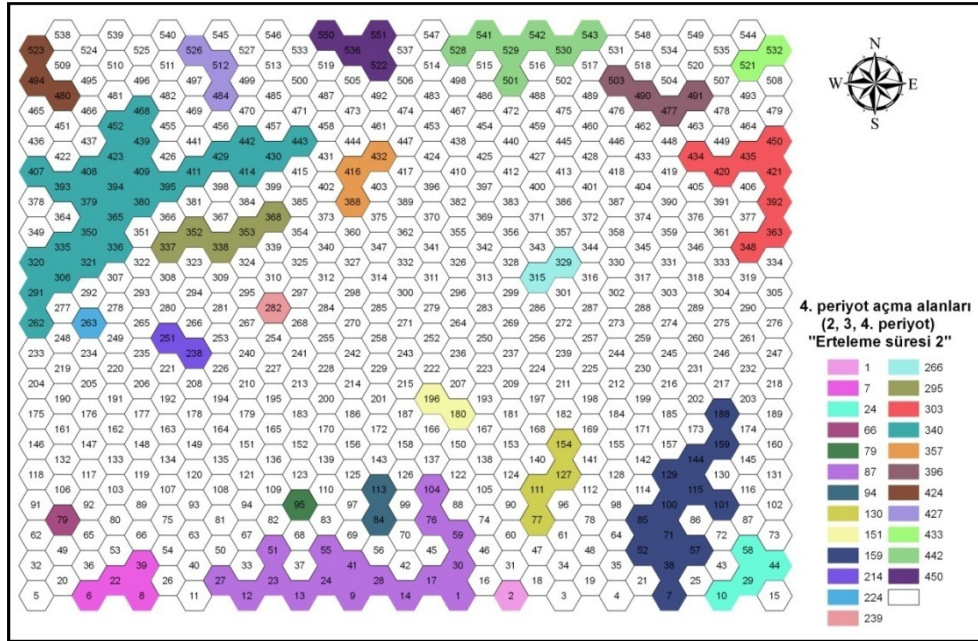
alanlarını konumsal dağılımı haritaya aktarılmıştır (Şekil 50, 51, 52). Bu şekilde başlangıç çözümü için belirlenen tüm açma, blok alanları, optimizasyon çözüm setinde öngörülen kısıtlardan ve amaç fonksiyonu değerinden meydana gelen sapmalar için ceza değerleri belirlenmektedir ve belirlenen ceza değerleri verilen ağırlıklarına göre uygunluk fonksiyonu sonucunu en aza indirmek amacıyla tavlama benzetimi algoritmasını kullanılmaktadır. Elde edilen çözüm seti, asla en iyi sonucu garantilememektedir ve belirlenen ceza fonksiyonu ağırlık değerlerine göre uygulanabilir bir çözüm seti sunmaktadır. Bu algoritma ile oluşan çözümler, belirli amaç ve kısıtlar altında elde edilmiş çözümleri kullanarak geliştirilmesi, en iyiye yakın çözüm vermesi, bölmecek bazında olması, konumsal özellikleri dikkate alması, orman ekosistem planlama tekniğine uygun olması nedeniyle uygulanabilir bir plan özelliği taşımaktadır.

KESİM BLOKLARI :		AÇMA ALANI :	
YAKINLIK MESAFESİ	<input type="text" value="0"/>	KOMŞULUK MESAFESİ	<input type="text" value="0"/>
MINİMUM BLOK	<input type="text" value="4"/>	ERTELEMESURESİ	<input type="text" value="2"/>
HEDEF BLOK	<input type="text" value="8"/>	MAKACMA ALANI	<input type="text" value="16"/>
<input type="button" value="KAPAT"/>			

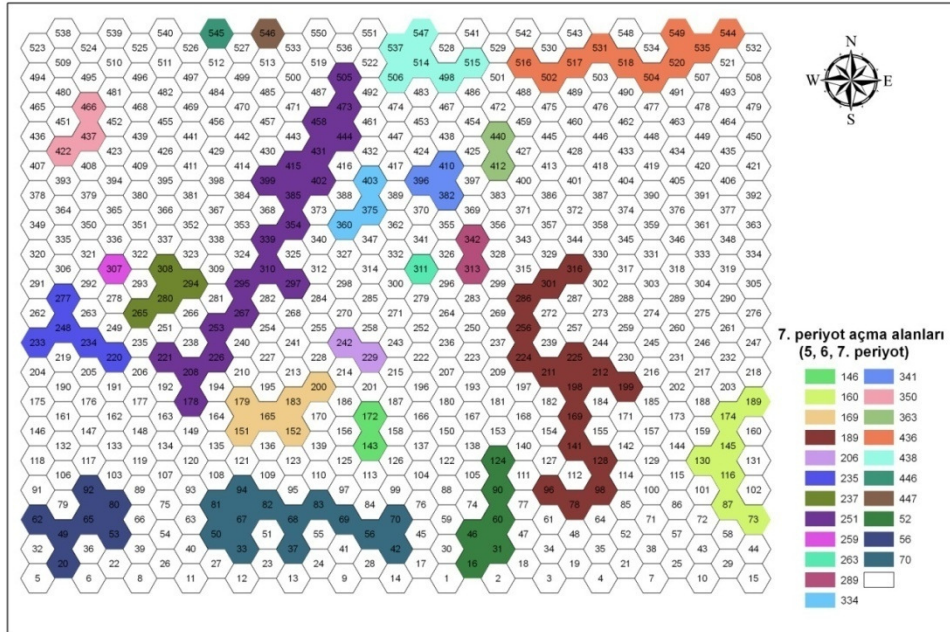
Şekil 48. Senaryo 1'in komşuluk parametreleri ekranı



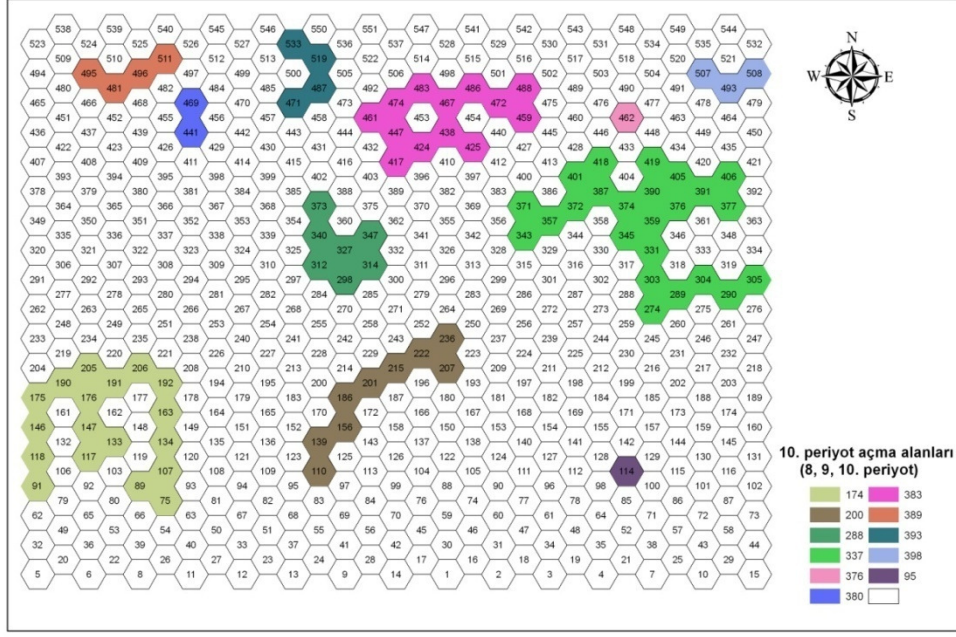
Şekil 49. Kesim blokları



Şekil 50. 4. Periyot için açma alanları (2, 3, 4 nolu kesim periyotlarını kapsamakta)



Şekil 51. 7. Periyot için açma alanları (5, 6, 7 nolu kesim periyotlarını kapsamakta)

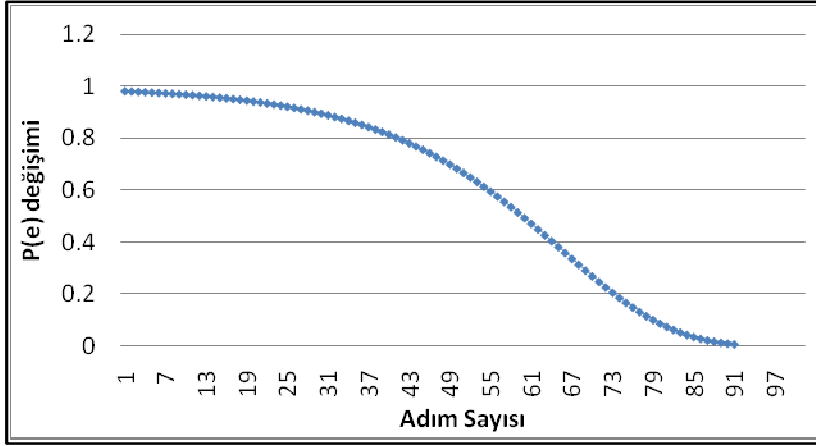


Şekil 52. 10. Periyot için açma alanları (8, 9, 10 nolu kesim periyotlarını kapsamakta)

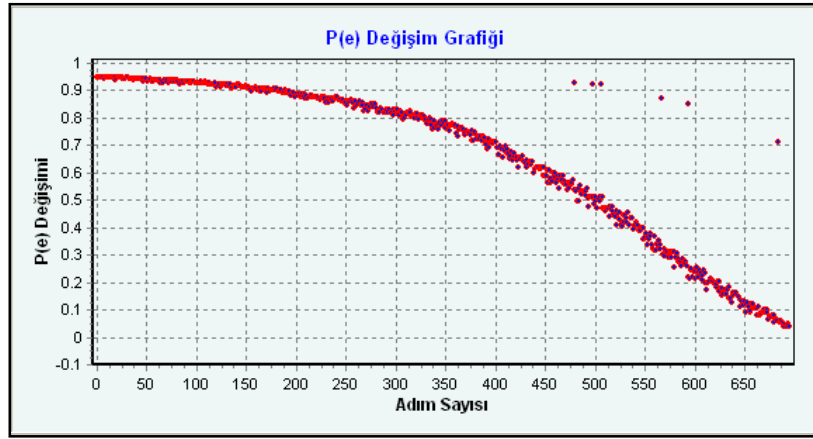
Şekil 49-52 arasında, sezgisel algoritma kullanılmadan elde edilen sonuçların, istenilen açma ve blok alanı kurallarına uygun konumsal düzenleme yapılması amacıyla tavlama benzetimi algoritması ile çözülmüştür. Bu aşamada sadece kesim bloğu alanları, sadece açma alanları ve aynı anda her ikisinde kontrole edilecek şekilde alternatifler denenmiştir. Bu amaçla kesim bloğu büyüklüğü, yakınlık mesafesi, komşuluk mesafesi ve açma alanı büyüklüğü kriterleri (Şekil 48) için tavlama benzetimi algoritması ile konumsal planlama yapılmıştır.

### 3.3. Tavlama Benzetimi ile Optimal Sonuçlara Yaklaşılması

Tavlama benzetimi algoritmasının çalışmasını etkileyen en önemli faktör başlangıçta belirlenecek olan soğutma eğrisidir. Çünkü iyi bir çözüme ulaşmak kötü çözümlerin kullanılması gerekebilir. Özellikle algoritmanın başlangıç aşamasında kötü çözümlerin kabul edilmesi olasılığını artırıp çözüme yaklaştıkça kötü çözümlerin kabul etme olasılığının düşürülmesi gerekir. Bu amaçla oluşturulmak istenen ideal soğutma eğrisi Şekil 53'de, yazılımla gerçekleştirilen soğutma eğrisi de Şekil 54'de gösterilmiştir. Şekillerden anlaşılacağı üzere başlangıçta kötü çözümlerin kabul etme olasılığı 1'e yakınken, son adımlara doğru bu değer 0'a ulaşmıştır.



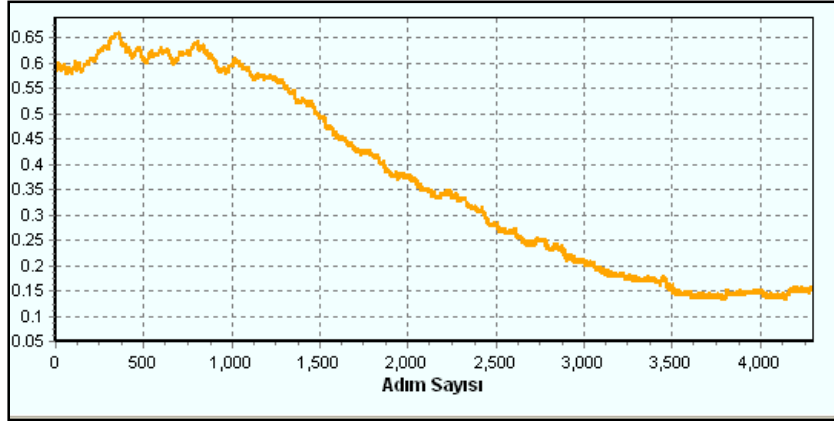
Şekil 53. İdeal soğutma eğrisi



Şekil 54. Modelle oluşturulan soğutma eğrisi

Başlangıçta sadece kesim bloğu büyüklüğü ceza fonksiyonu değerleri kullanılarak kontrol edilmiştir. Tavlama benzetimi algoritması ile çözümünde, uygunluk fonksiyonunun değışimi (Şekil 55) belirlenmiş ve “0.6” değerinden 0.15 değerine kadar düşürülebildiği, bazı adımlarda da ise belirlenen kabul etme oranına göre kötü sonuçların kabul edildiği görülmüştür. Ayrıca her bir periyotta elde edilen eta miktarlarının blok alanı kısıtını yerine getirmek amacıyla ne kadar değıştiği (Tablo 7) ve elde edilen en az cezaya sahip çözüm setinde meydana gelen açma ve blok sayıları (Tablo 8) belirlenmiştir. Bu verilere göre, cezalı blokların sayısı büyük oranda azaldığı ve kontrol edilememesine rağmen cezalı açma alanlarının da azaldığı görülmektedir. Fakat bu değerleri sağlayabilmek için, elde edilen eta (ürün) miktarının ise yaklaşık % 30 oranında düştüğü belirlenmiştir. Yeni çözüm değerlerine göre bölmeciklerin kesim periyotları (Şekil 56), 5 ve 8 nolu periyotlardaki açma alanı dağılımları (Şekil 57,58) harita ortamında sunulmuştur.





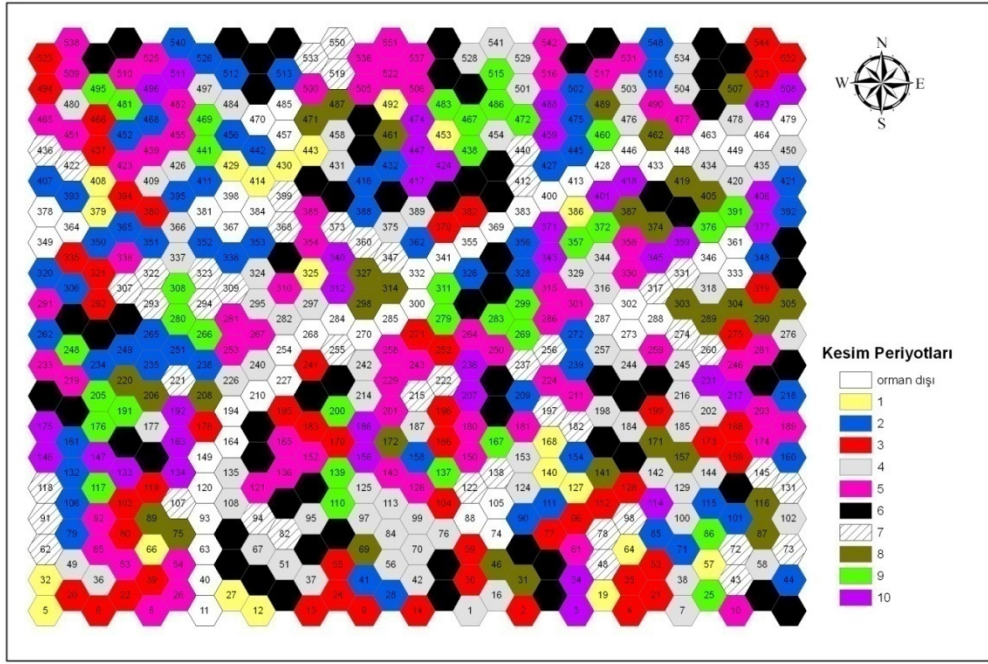
Şekil 55. Blok alanı kontrolündeki uygunluk fonksiyonu değişimi

Tablo 7. Blok alanı kısıtlaması kontrol edildiğinde periyotlardaki eta ve alan değişimleri

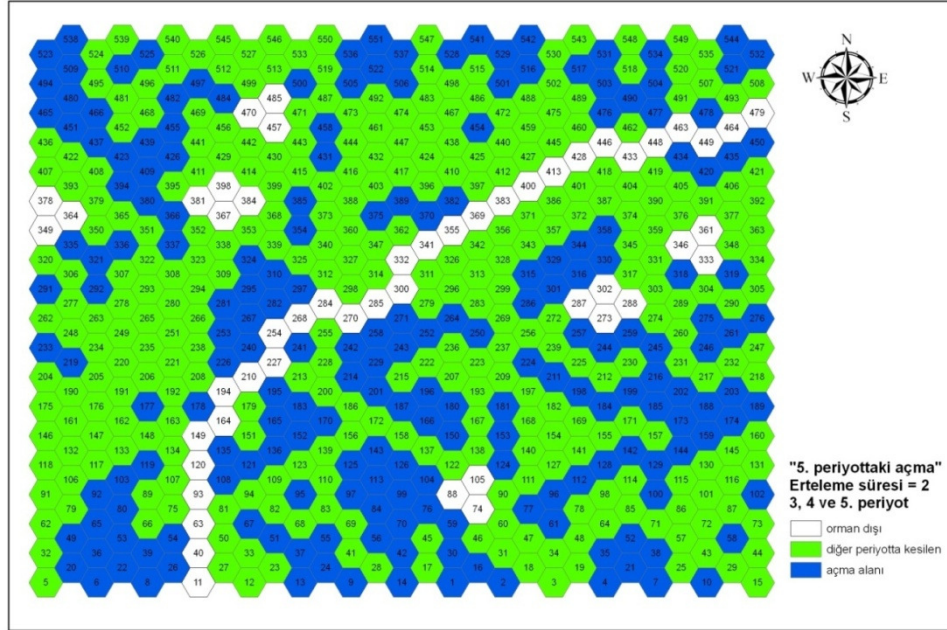
	Başlangıç Durumu		Sonuçtaki Durum	
	ETA(m3)	Alan(ha)	ETA(m3)	Alan(ha)
1. Periyot	57061.46	86	23497.7	36
2. Periyot	67328.01	102	24777.2	38
3. Periyot	68266.88	102	30670.7	46
4. Periyot	67001.83	100	20404.7	30
5. Periyot	68847.66	102	24836.1	36
6. Periyot	70666.00	102	21607.8	30
7. Periyot	72823.72	102	25124.1	34
8. Periyot	77217.81	100	23085.8	28
9. Periyot	80310.41	102	28374.4	36
10. Periyot	80277.51	102	41346.3	54

Tablo 8. Blok alanı kısıtlaması kontrol edildiğinde başlangıç ve sonuçtaki toplam eta, cezalı bloklar ve cezalı açma alanların durumu

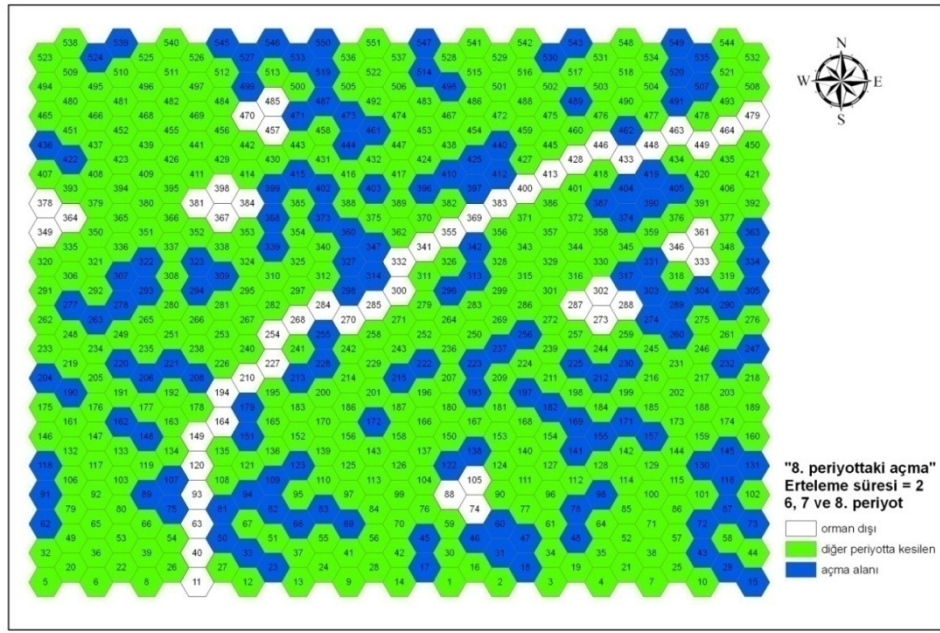
	Başlangıç Durumu		Sonuçtaki Durum	
	ETA(m3)	Alan(ha)	ETA(m3)	Alan(ha)
Toplam ETA	709801.30		263724.78	
Cezalı Blok	187	59.18%	35	15.15%
Toplam Blok	316		231	
Cezalı Açma	86	19.77%	153	35.17%
Toplam Açma	435		435	



Şekil 56. Blok alanı kontrolünde oluşan çözümdeki bölmeciklerin kesim periyotları

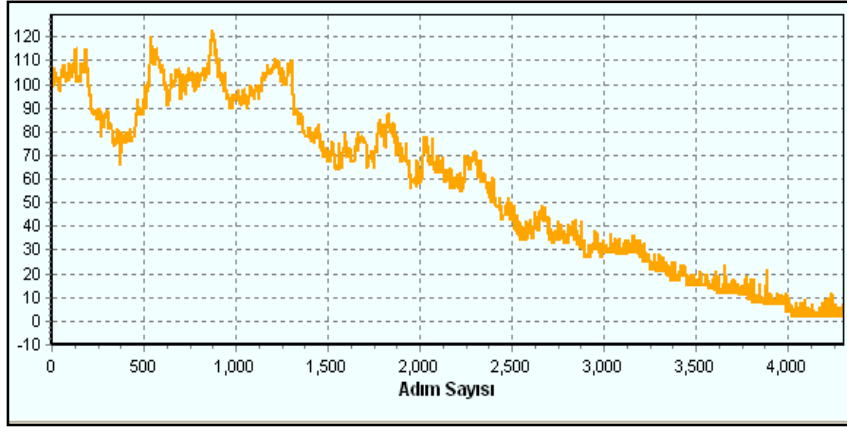


Şekil 57. Blok alanı kontrolünde oluşan çözümün 5. Periyottaki açma alanı dağılımı



Şekil 58. Blok alanı kontrolünde oluşan çözümün 8. Periyottaki açma alanı dağılımı

İkinci aşamada ise, sadece açma alanı büyüklüğü ceza fonksiyonu değerleri kullanılarak kontrol edilmiş ve yeni çözüm değerleri belirlenmiştir. Tavlama benzetimi algoritması ile çözümünde uygunluk fonksiyonunun değişimi (Şekil 59) belirlenmiş ve "100" ceza değerinden, "2" değerine kadar düşürülebildiği, bazı adımlarda da ise kötü sonuçların belirlenen kabul etme oranına göre kabul edildiği görülmüştür. Ayrıca her bir periyotta elde edilen eta miktarlarının açma alanı kısıtını yerine getirmek amacıyla ne kadar değiştiği (Tablo 9) ve elde edilen en az cezaya sahip çözüm setinde meydana gelen açma ve blok sayıları (Tablo 10) belirlenmiştir. Bu verilere göre, cezalı açma alanlarının büyük oranda azaldığı ve buna bağlı olarak yine blok alanı cezasına sahip alanlarında kontrole edilmemesine rağmen azaldığı görülmektedir. Fakat bu değerleri sağlayabilmek amacıyla, elde edilen eta (ürün) miktarının ise % 28 değerlerine kadar düştüğü belirlenmiştir. Yeni çözüm değerlerine göre bölmeciklerin kesim periyotları (Şekil 60), 5 ve 8 nolu periyotlardaki açma alanı dağılımları (Şekil 61 ve Şekil 62) harita ortamında sunulmuştur. Bu haritalar incelendiğinde Şekil 49'da verilen normal kesim düzeninden farklı olduğu ve komşu bölmeciklerin birlikte kesilecek ve açma alanı cezasını en aza indirecek şekilde yeniden düzenlendiği görülmektedir.



Şekil 59. Açma alanı kontrolündeki uygunluk fonksiyonu değişimi

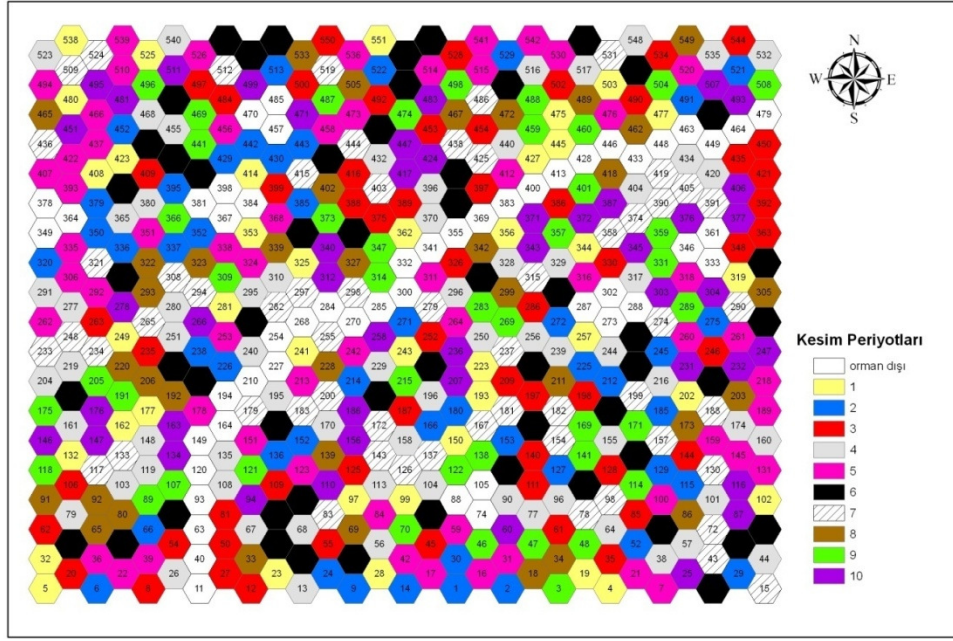
Tablo 9. Açma alanı kısıtlaması kontrol edildiğinde periyotlardaki eta ve alan değişimleri

	Başlangıç Durumu		Sonuçtaki Durum	
	ETA(m3)	Alan(ha)	ETA(m3)	Alan(ha)
1. Periyot	57061.46	86	22288.9	34
2. Periyot	67328.01	102	30164.9	46
3. Periyot	68266.88	102	22949.7	34
4. Periyot	67001.83	100	11779.8	16
5. Periyot	68847.66	102	17032.4	24
6. Periyot	70666.00	102	21522.8	30
7. Periyot	72823.72	102	23791.4	32
8. Periyot	77217.81	100	32006	42
9. Periyot	80310.41	102	28060.4	36
10. Periyot	80277.51	102	38807.2	52

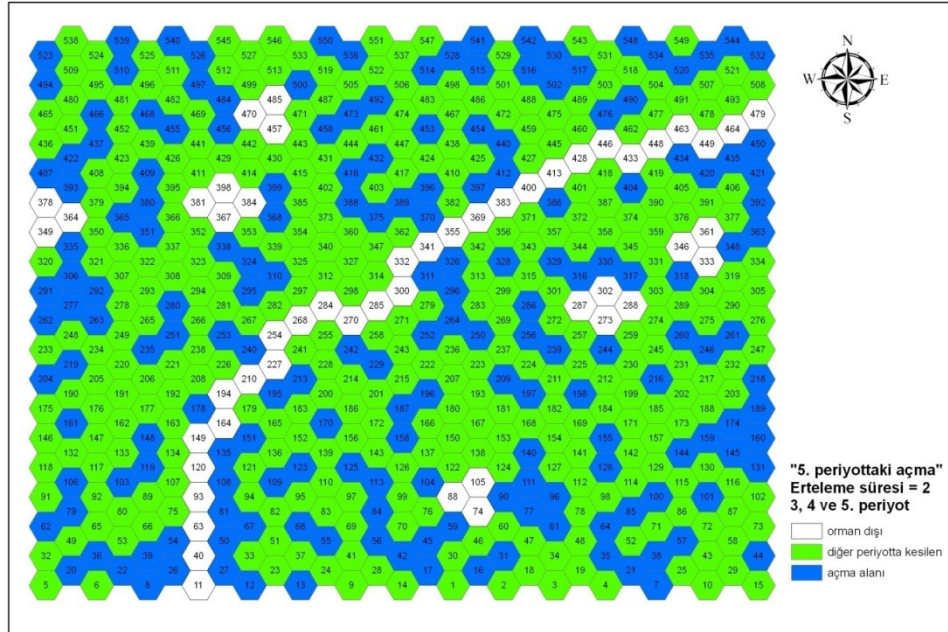
Tablo 10. Açma alanı kısıtlaması kontrol edildiğinde başlangıç ve sonuçtaki toplam eta, cezalı bloklar ve cezalı açma alanlarının durumu

	Başlangıç Durumu		Sonuçtaki Durum	
Toplam ETA	709801.30		248403.61	
Cezalı Blok	187	59.18%	324	80.60%
Toplam Blok	316		402	
Cezalı Açma	86	19.77%	4	0.84%
Toplam Açma	435		479	



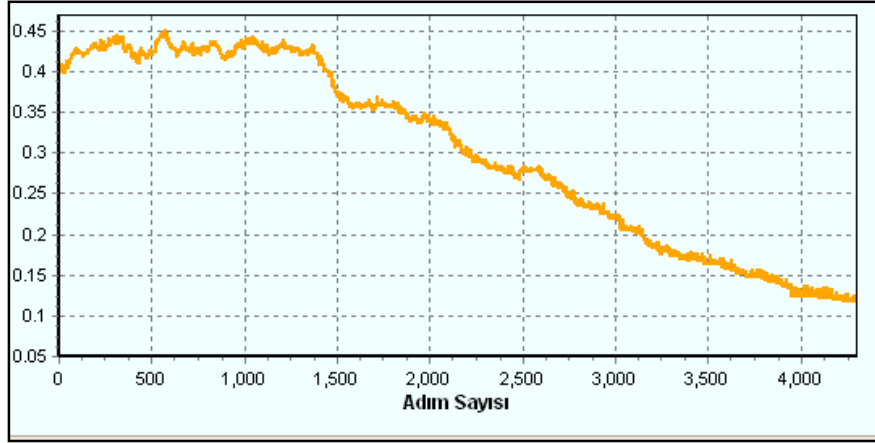


Şekil 60. Açma alanı kontrolünde oluşan çözümdeki bölmeciklerin kesim periyotları



Şekil 61. Açma alanı kontrolü sonucunda 5. Periyottaki açma alanı dağılımı





Şekil 63. Açma ve blok alanlarının beraber kontrol edildiğinde uygunluk fonksiyonunun değişimi

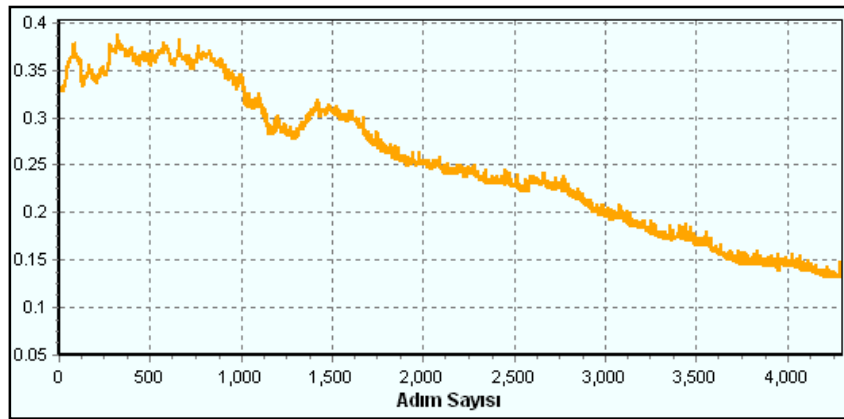
Tablo 11. Açma ve blok alanları kısıtlamaları kontrol edildiğinde periyotlardaki eta ve alan değişimleri

	Başlangıç Durumu		Sonuçtaki Durum	
	ETA(m3)	Alan(ha)	ETA(m3)	Alan(ha)
1. Periyot	57061.46	86	10690.6	16
2. Periyot	67328.01	102	19317.9	30
3. Periyot	68266.88	102	10809.8	16
4. Periyot	67001.83	100	2346.5	2
5. Periyot	68847.66	102	15585.7	22
6. Periyot	70666.00	102	12101.4	16
7. Periyot	72823.72	102	16389.2	22
8. Periyot	77217.81	100	19667.0	26
9. Periyot	80310.41	102	8760.1	10
10. Periyot	80277.51	102	37206.8	52

Tablo 12. Açma ve blok alanları kısıtlamalarının kontrol edildiğinde başlangıç ve sonuçtaki toplam eta, cezalı bloklar ve cezalı açma alanların durumu

	Başlangıç Durumu		Sonuçtaki Durum	
	ETA	Blok/Açma	ETA	Blok/Açma
Toplam ETA	709801.30		152874.97	
Cezalı Blok	187	59.18%	55	21.48%
Toplam Blok	316		256	
Cezalı Açma	86	19.77%	12	2.78%
Toplam Açma	435		431	

Dördüncü aşamada ise, açma alanı büyüklüğü ve blok alanı ceza fonksiyonu değerleri kullanılarak kontrol edilmiş, açma alanı ceza değerinin etkisi “2” katı olacak şekilde yeni çözüm sonuçları belirlenmiştir. Tavlama benzetimi algoritması ile çözümünde uygunluk fonksiyonunun değişimi (Şekil 64) belirlenmiş ve “0.32” ceza değerinden, “0.13” değerine kadar düşürülebildiği, bazı adımlarda da ise kötü sonuçların belirlenen kabul etme oranına göre kabul edildiği görülmüştür. Ayrıca her bir periyotta elde edilen eta miktarlarının açma alanı ve kesim bloğu kısıtını yerine getirmek amacıyla ne kadar değiştiği (Tablo 14) ve elde edilen en az cezaya sahip çözüm setinde meydana gelen açma ve blok sayıları (Tablo 13) belirlenmiştir. Bu verilere göre, cezalı açma ve blok alanlarının büyük oranda azaldığı görülmektedir. Fakat bu değerleri sağlayabilmek amacıyla, elde edilen eta (ürün) miktarının ise % 22 değerlerine kadar düştüğü belirlenmiştir



Şekil 64. Açma ve blok alanlarının beraber kontrol edildiğinde uygunluk fonksiyonunun değişimi

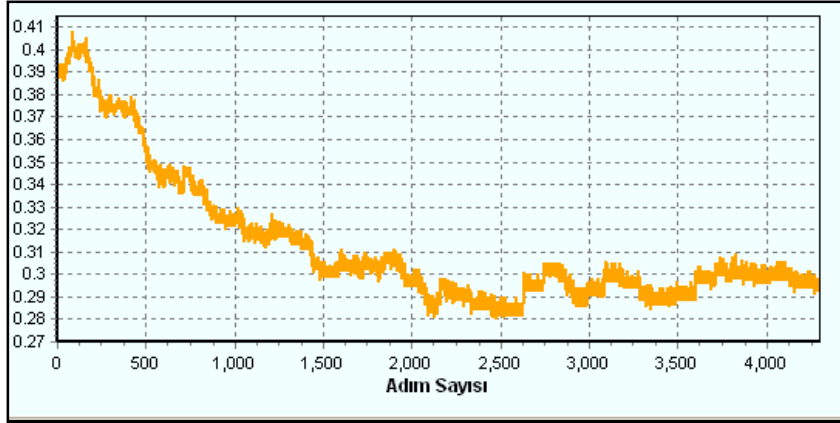
Tablo 13. Açma ve blok alanları kısıtlamalarının kontrol edildiğinde başlangıç ve sonuçtaki toplam eta, cezalı bloklar ve cezalı açma alanların durumu (açma alanı uygunluk fonksiyonundaki ağırlığı 2 katına çıkarılmıştır)

	Başlangıç Durumu		Sonuçtaki Durum	
Toplam ETA	709801.30		152874.97	
Cezalı Blok	187	59.18%	102	35.42%
Toplam Blok	316		288	
Cezalı Açma	86	19.77%	10	2.26%
Toplam Açma	435		443	

Tablo 14. Açma ve blok alanları kısıtlamaları kontrol edildiğinde periyotlardaki eta ve alan değişimleri (açma alanı uygunluk fonksiyonundaki ağırlığı 2 katına çıkarılmıştır)

	Başlangıç Durumu		Sonuçtaki Durum	
	ETA(m3)	Alan(ha)	ETA(m3)	Alan(ha)
1. Periyot	57061.46	86	13413.4	20
2. Periyot	67328.01	102	13552.4	20
3. Periyot	68266.88	102	7357.55	10
4. Periyot	67001.83	100	5988.22	8
5. Periyot	68847.66	102	17767.9	26
6. Periyot	70666	102	10540.1	14
7. Periyot	72823.72	102	17633.1	24
8. Periyot	77217.81	100	26367.8	36
9. Periyot	80310.41	102	13963.4	18
10. Periyot	80277.51	102	27887.9	38

Beşinci aşamada ise, blok alanı ve eta miktarı ceza fonksiyonu değerleri kullanılarak kontrol edilmiş ve yeni çözüm sonuçları belirlenmiştir. Tavlama benzetimi algoritması ile çözümünde uygunluk fonksiyonunun değişimi (Şekil 65) belirlenmiş ve “0.39” ceza değerinden, “0.28” değerine kadar düşürülebildiği, bazı adımlarda da ise kötü sonuçların belirlenen kabul etme oranına göre kabul edildiği görülmüştür. Ayrıca her bir periyotta elde edilen eta miktarlarının, eta ve blok alanı kısıtını yerine getirmek amacıyla ne kadar değiştiği (Tablo 15) ve elde edilen en az cezaya sahip çözüm setinde meydana gelen açma ve blok sayıları (Tablo 16) belirlenmiştir. Bu verilere göre, cezalı açma ve blok alanlarının büyük oranda azaldığı görülmektedir. Fakat bu değerleri sağlayabilmek amacıyla, elde edilen eta (ürün) miktarının ise % 60 değerlerine kadar düştüğü belirlenmiştir. Bu çözüm göstermektedir ki, sadece açma yada blok alanı kontrolü yerine, eta değeri de kontrole dilmesiyle hem etadan fazla taviz verilmemekte hem de blok alanlarının konumsal dağılımı kontrol edilebilmektedir.



Şekil 65. Blok alanlarının ve eta miktarlarının beraber kontrol edildiğinde uygunluk fonksiyonunun değişimi

Tablo 15. Blok alanlarının ve Eta kısıtlamalarının kontrol edildiğinde periyotlardaki eta ve alan değişimleri

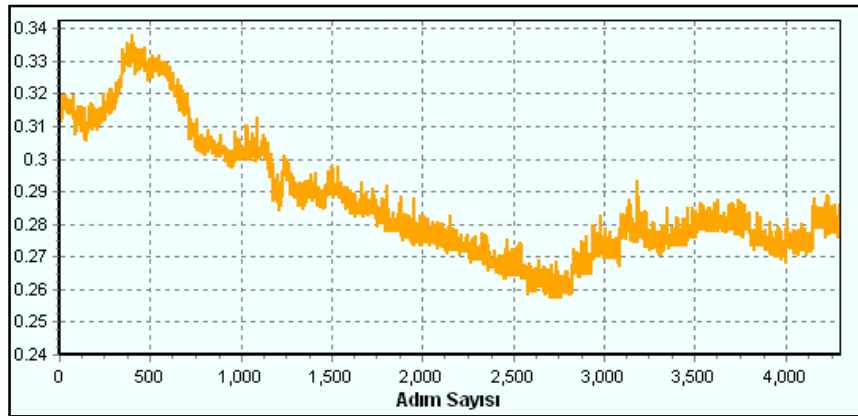
	Başlangıç Durumu		Sonuçtaki Durum	
	ETA(m3)	Alan(ha)	ETA(m3)	Alan(ha)
1. Periyot	57061.46	86	32327.0	48
2. Periyot	67328.01	102	39178.8	58
3. Periyot	68266.88	102	49321.9	74
4. Periyot	67001.83	100	39380.3	58
5. Periyot	68847.66	102	43270.2	64
6. Periyot	70666.00	102	44506.3	64
7. Periyot	72823.72	102	42886.7	60
8. Periyot	77217.81	100	58505.2	78
9. Periyot	80310.41	102	57296.3	74
10. Periyot	80277.51	102	54525.7	70

Tablo 16. Blok alanlarının ve Eta miktarlarının kontrol edildiğinde başlangıç ve sonuçtaki toplam eta, cezalı bloklar ve cezalı açma alanların durumu

	Başlangıç Durumu		Sonuçtaki Durum	
	ETA(m3)	Alan(ha)	ETA(m3)	Alan(ha)
Toplam ETA	709801.30		461198.42	
Cezalı Blok	187	59.18%	24	10.62%
Toplam Blok	316		226	
Cezalı Açma	86	19.77%	143	33.10%
Toplam Açma	435		432	



Altıncı aşamada ise, blok alanı, açma alanı ve eta miktarı ceza fonksiyonu değerleri kullanılarak tavlama benzetimi algoritması ile kontrol edilmiş ve yeni çözüm sonuçları belirlenmiştir. Tavlama benzetimi algoritması ile çözümünde uygunluk fonksiyonunun çözüm aşamasında değişimi (Şekil 66) belirlenmiş ve “0.32” ceza değerinden, “0.26” değerine kadar düşürülebildiği, bazı adımlarda da ise kötü sonuçların belirlenen kabul etme oranına göre kabul edildiği görülmüştür. Ayrıca her bir periyotta elde edilen eta miktarlarının, eta ve blok alanı kısıtını yerine getirmek amacıyla ne kadar değiştiği (Tablo 17) ve elde edilen en az cezaya sahip çözüm setinde meydana gelen açma ve blok sayıları (Tablo 18) belirlenmiştir. Bu verilere göre, cezalı açma ve blok alanlarının büyük oranda azaldığı görülmektedir. Fakat bu değerleri sağlayabilmek amacıyla, elde edilen eta (ürün) miktarının ise % 57 değerlerine kadar düştüğü belirlenmiştir. Bu çözüm göstermektedir ki, sadece açma yada blok alanı, yada bu iki seçeneğin birlikte kontrolü yerine, eta değeri de birlikte kontrol edilmesiyle hem etadan fazla taviz verilmemekte hem de blok ve açma alanlarının konumsal dağılımı kontrol edilebilmektedir. Bu çözüm sonucunda, açma alanlarının cezası beşinci aşamaya göre daha az olmuş, fakat blok alanı cezası ve eta miktarından olan sapma fazla olmuştur. Konumsal planlama yapımında, hangi konumsal özelliklerin ne kadar değerinde ceza fonksiyonuna katkı sağlaması gerektiği, planlayıcının inisiyatifinde olup bu konudaki uzmanlığı ile sınırlıdır.



Şekil 66. Açma, blok alanları ve eta kısıtlamalarının beraber kontrol edildiğinde uygunluk fonksiyonunun değişimi

Tablo 17. Açma, blok alanları ve eta kısıtlamalarının kontrol edildiğinde periyotlardaki eta ve alan değişimleri

	Başlangıç Durumu		Sonuçtaki Durum	
	ETA(m3)	Alan(ha)	ETA(m3)	Alan(ha)
1. Periyot	57061.46	86	30063.5	44
2. Periyot	67328.01	102	35842.0	54
3. Periyot	68266.88	102	41579.5	62
4. Periyot	67001.83	100	27675.0	40
5. Periyot	68847.66	102	33104.3	48
6. Periyot	70666.00	102	36369.9	52
7. Periyot	72823.72	102	51726.7	74
8. Periyot	77217.81	100	41515.9	54
9. Periyot	80310.41	102	47837.6	62
10. Periyot	80277.51	102	54995.6	72

Tablo 18. Açma, blok alanları ve eta kısıtlamalarının kontrol edildiğinde başlangıç ve sonuçtaki toplam eta, cezalı bloklar ve cezalı açma alanların durumu

	Başlangıç Durumu		Sonuçtaki Durum	
	ETA	Alan(ha)	ETA	Alan(ha)
Toplam ETA	709801.30		400709.91	
Cezalı Blok	187	59.18	36	15.32%
Toplam Blok	316	%	235	
Cezalı Açma	86	19.77	28	6.57%
Toplam Açma	435	%	426	



#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Toplumlar, orman ekosistemlerinden giderek artan, çeşitlenen ve zaman zaman da birbirleriyle çelişen beklentilerini en iyi şekilde karşılamanın yolu aramaktadırlar. Orman ekosisteminin uzun vadede bütünlüğünü ve sağlığını koruyacak sürdürülebilir bir planlama için etkin bir tasarıma ve bunu da gerçekleştirecek bir planlama yaklaşımına ve modellerine ihtiyaç vardır. Türkiye’de geleneksel olarak hazırlanan orman amenajman planlarında faydalanma teknikleri olarak kullanılan tek periyotla sınırlı ve basite indirgenmiş formüller yaklaşım, bir takım ciddi sebeplerden dolayı çağdaş ormancılık anlayışı 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 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 sosyokültürel amaçların sıkça dile getirilmesidir.

Bu çalışmada ETÇAP yaklaşımına dayalı bir Ekosistem Modeli oluşturulmuş ve bu model üzerinde karar vericilere yardımcı olması maksadıyla silvikültürel alternatif müdahalelerinin belirlenmesi sağlanmıştır. Sistem, ilk önce envanteri daha önce hazırlanmış bir ormanı ilk önce nesne tabanlı olarak modellemektedir. Modellenen orman yapısı üzerinde müdahale seçenekleri tanımlanmış ve ormana olan etkileri ortaya koyulmuştur. Gerek müdahale uygulanmış gerekse müdahale edilmemiş alanların zaman bağlı değişimlerini incelemek için GYOBEM büyüme modeli kullanılmıştır. Sistem geliştirilebilir olması için sistemin kullanabileceği ara yüzler tanımlanmıştır. Böylece daha sonra sisteme ek bileşenler (oksijen üretimi, karbon birikimi, yangın gibi) eklenmesi yolu açılmıştır.

Sistem karar vericilere destek olmak amacıyla iki farklı açıdan ele alınmıştır. Birincisi karar vericinin istediği müdahale alternatiflerini uygulayarak ormanın nasıl gelişeceğini takip edebilmesi, ikincisi ise karar vericinin belirleyeceği bir zaman sonucunda (örneğin 100 yıl) ormanın istenen düzeye gelmesi için, yani amaca yönelik olarak, hangi müdahale alternatiflerinin uygulaması gerektiğinin belirlenmesidir. Birinci

aşama için bir Simülasyon modeli, ikinci aşama için ise bir Optimizasyon modeli gerçekleştirilmiştir.

Simülasyon modeli sağladığı avantajlar;

- Karar verici müdahale alternatifleri ve hedefleri tecrübe ve bilgisine dayalı olarak tespit edebilmektedir.
- Farklı senaryolar kullanarak daha iyi alternatiflere ulaşabilmektedir.
- İyi bir büyüme modeli sayesinde ormanın gelişimi izlenebilmektedir.
- Gerçek bir alanda yapabileceği tespitleri daha ucuz bir maliyetle sistem üzerinde inceleyebilmektedir.
- Bazı orman alanlarına müdahale önceliği verebilmektedir.

Simülasyon modelinin bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Bunlar;

- Uzun süreli planlamalarda karar vericinin ileriye yönelik alternatif belirlemesi zordur.
- Büyüme modeline çok bağımlıdır. Ama ne yazık ki ülkemiz orman yapısını temel alan sağlıklı bir şekilde çalışan bir büyüme modeli tam olarak geliştirilememiştir.
- En iyi sonucu garantileyemez.
- Özellikle konumsal planlama yapılmaya çalışıldığında kısıtlayıcılar artacağı için her zaman sonuca ulaşamaz.

Simülasyonun avantajlarını kullanacak ve dezavantajlarını gidermeye çalışacak bir optimizasyon modeli kurulmuştur. Optimizasyonda ilk önce konumsal parametreler düşünülmeden matematiksel bir model kurulmuş ve en iyi çözüme ulaşılmaya çalışılmıştır. Konumsal parametrelerin kullanılmamasının sebebi matematiksel model kurmada zorluk çıkarmasıdır. Matematiksel optimizasyon modelinin simülasyona göre sağladığı avantajlar şunlardır;

- İyi kurulmuş bir model her zaman en iyi çözüme ulaşacaktır.
- Müdahale alternatiflerinden en uygun olanları seçilecektir.
- Matematiksel optimizasyonun da dezavantajları vardır;
- Simülasyonda olduğu gibi büyüme modeline çok bağımlıdır.
- En iyi çözümde orman alanları parçalanacaktır.
- Konumsal parametreleri dikkate almamaktadır.

Konumsal parametreleri dikkate alınması ayrıca parçalanmış orman alanlarını birleştirilmesi için sezgisel arama algoritmaları kullanılarak kombine optimizasyon sistemi

geliştirilmiştir. İlk önce alanları parçalayan karar değişkenlerinden hangilerinin seçileceği ve daha sonra konumsal parametreler eklendiğinde ortaya çıkacak hedeften sapmaların en aza indirgenmesi sağlanmıştır. Sezgisel arama yönteminin avantajlarını da şöyle sıralayabilir;

- Konumsal özelliklerden gerçek alanlara uygulanabilen bir modeldir.
- İyi modellenmiş bir sezgisel yöntem hedeflerden sapmaların en az olacağı sonuçlara ulaşacaktır.
- Bütün ihtimalleri denemek yerine en iyi çözüme gidecek ihtimalleri seçerek çok önemli bir zaman kazancı sağlamaktadır.
- Parçalı orman yapısı ortaya çıkmayacaktır.
- Bütün bu avantajlara rağmen bu yöntemin dezavantajlar vardır;
- İyi bir çözüm yolu belirlenmez ise hedeften çok fazla uzaklaşılabilir.
- Matematiksel optimizasyon modelinde bulunan en iyi çözümden uzaklaşılacaktır.
- Simülasyon ve matematiksel optimizasyonda olduğu gibi büyüme modeline çok bağımlıdır.
- Sezgisel arama tekniğinin (özellikle algoritma parametrelerinin belirlenmesi) tam anlamıyla uygulanması için birçok deneme yapılması gereklidir.

Genel olarak;

- Geliştirilen orman ekosistem modeli genişletilebilirdir. Böylece sistem içerisinde yer alan bir modül daha sonra yeni tekniklerle geliştirildiğinde sisteme adapte edilebilir veya sistemde olamayan bir modül, ek modüllere özgü hazırlanan mesajlaşma kriterlerine uymak şartıyla sisteme eklenebilir.
- Matematiksel modellerle elde edilen sonuçlar sezgisel arama metodu (Tavlama Benzetimi) sayesinde hataları en aza indirgeyebilecek şekilde bir sistem kurulmuştur.
- Modelleme çalışmalarından sağlıklı sonuçlar alabilmek için öncelikle ülkemiz koşullarına uygun büyüme modellerinin çok iyi bir şekilde gerçekleştirilmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır.
- Konumsal parametreler olmadan simülasyon veya optimizasyon yapmak çok fazla bir anlam ifade etmemektedir. Fakat bu klasik modeller eğitim amaçlı kullanılabilir.

## 5. KAYNAKLAR

- Barrett, T.M., Gilles, J.K. ve Davis, L.S., 1998. Economic and Fragmentation Effects of Clearcut Restrictions. *Forest Science* 44, 569-577.
- Baskent, E.Z. ve Jordan, G.A., 1991. Spatial Wood Supply Simulation Modeling. *The Forestry Chronicle*, 67, 6, 610-621.
- Başkent, E.Z., 1996. 21. Yüzyıl Ormancılığına Yeni Bir Yaklaşım: Sayısal Ormancılık, KTÜ Orman Fakültesi Güz Yarıyılı Seminerleri, Seminer Serisi No:1, 77-84.
- Başkent, E. Z., 1999. Ekosistem Amenajmanı ve Biyolojik Çeşitlilik, Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 23, Ek Sayı 2, 355–363.
- Baskent, E.Z., 2001. Combinatorial Optimization in Forest Ecosystem Management Modeling. *Turk. J. Agric. For.* 25, 187-194.
- 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., 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, 18–19 Nisan 2002, Bahçeköy, İstanbul, 23–38.
- 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.
- Başkent, E.Z., 2004. Yöneylem Araştırması Modelleme ve Doğal Kaynak Uygulamaları, KTÜ Orman Mühendisliği Bölümü, Trabzon, 476 sayfa.
- Başkent, E.Z. ve Keleş, S., 2004. Ormancılıkta Model ve Modelleme Kavramlarının Kullanımı ve Genel Değerlendirmesi (1. Bölüm), Orman Mühendisliği Dergisi, 41, 1–2–3, 19–24.
- Başkent, E.Z., Keleş, S., Sivrikaya, F. ve Karahalil, U., 2005. Sürdürülebilir orman işletmeciliği ve planlaması için karar destek sistemlerinin geliştirilmesi. 1. Çevre ve Ormancılık Şurası, Antalya.
- Başkent, E.Z. ve Keles, S., 2005. Spatial Forest Planning: A Review, Ecological Modelling, 188, 145-173.

- Bettinger, P., Sessions, J. ve Boston, K., 1997. Using Tabu Search to Schedule Timber Harvests Subject to Spatial Wildlife Goals for Big Game. Ecological Modeling 94, 111-123.
- 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. ve Lennette, M., 2004. Landscape Management Policy Simulator (LAMPS) Version 1.1. User Guide. Oregon State University, College Of Forestry, Research Contribution, 43.
- 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, 201-212.
- Buongiorno, J. ve Bettinger, P., 2003. An Analysis of MCIP, Simulated Annealing and Taboo Search Heuristics For Solving Spatial Harvest Scheduling Problems. *For. Sci.* 45, 292-301.
- 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.
- Carus, S. ve Çiçek, E. 2007. Adapazarı-Süleymaniye Dişbudak Plantasyonlarında (*Fraxinus Angustiolia* Vahl.) Tek Ağaçlar İçin Bir Çap Artım Modeli, S.D.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, 34-38, Isparta,
- Church, R.L., Murray, A.T. ve Weintraub, A., 1998. Locational Issues in Forest Management, Location Science, 6, 137-153.
- Church, R.L., Murray, A.T., Figueroa, M.A. ve Barber, K.H., 2000. Support System Development for Forest Ecosystem Management, European Journal of Operational Research, 121, 2, 247-258.
- 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.
- Haupt, R.L. ve Haupt, S.E., 1998. Practical Genetic Algorithms, John Wiley and Sons, New York.
- Hillier, Frederick, S. ve Lieberman, Gerald, J., 1990. Introduction to Operations Research, 8.Baskı, Singapore, McGraw Hill College.

- Glover, F. ve Laguna, M., 1997. Tabu Search. Kluwer Academic Publishers, MA, USA.
- Guo, Z., Xiao, X., Gan, Y. ve Zheng, Y., 2001. Ecosystem Functions, Services and Their Values – A Case Study in Xingshan County of China, Ecological Economics, 38, 141 – 154.
- 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.
- 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.
- Johnson, K., Stuart, T. ve Crimm, S., 1986. FORPLAN Version 2: An Overview, USDA Forest Service, Land Management Planning Systems Section, Washington – USA..
- Jordan, G.A. ve Başkent, E.Z., 1992. A Case Study in Spatial Wood Supply Analysis, Forestry Chronicle, 68, 4, 503-516.
- Kalıpsız, A. 1998. Orman Hasılat Bilgisi. İ.Ü. Orman Fakültesi Yayın No: 4060, Orman Fakültesi Yayın No: 448.
- Kavcar, B., 2004, Simülasyon Yöntemi Kullanılarak Yapılan Satış Tahminleriyle Satış Bütçesi Hazırlanması, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Kapucu, F. 2004. Orman Amenajmanı. K.T.Ü. Yayınları, Trabzon.
- Keleş, S., 2003. Ormanların Su ve Odun Üretimi Fonksiyonlarının Doğrusal Programlama Tekniği İle Optimizasyonu (Karanlıkdere Planlama Birimi Örneği).Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Konukçu, M., 2001. Ormanlar ve Ormancılığımız, DPT Yayın no 2630, 238 s.
- Köse, S., 1986. Orman işletmelerinin Planlanmasında Yöneylem Araştırması Yöntemlerinden Yararlanma Olanakları, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- 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.
- 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.
- Malchow-Moller, N., Strange, N. ve Thorsen, B.J., 2004. Real-Options Aspects of Adjacency Constraints. Forest Policy and Economics 6, 261-270.

- 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.
- Moore, C.T., Conroy, M.J. ve Boston, K., 2000. Forest Management Decisions for Wildlife Objectives: System Resolution and Optimality. *Computers and Electronics in Agriculture*, 27, 25-39.
- Mullen, D.S. ve Butler, R.M., The Design of A Genetic Algorithm Based Spatially Constrained Timber Harvest Scheduling Model. [http://www.for.msu.edu/e4/e4\\_ssaf97.html](http://www.for.msu.edu/e4/e4_ssaf97.html), 20 Ekim 2004.
- Murray, A.T. ve Church, R.L., 1995. Heuristic Solution Approaches to Operational Forest Planning Problems. *OR Spektrum* 17, 193-203.
- Murray, A.T. ve Snyder, S., 2000. Spatial Modeling in Forest Management and Natural Resource Planning. *Forest Science* 46, 2, 153-156.
- Nabiyev, V., 2005., Yapay Zeka, ISBN:9753479859, Seçkin Yayıncılık, Ankara, 762 sayfa.
- Nalli, A., Nuutinen, T. ve Paivinen, R., 1996. Site Specific Constraints in Integrated Forest Planning, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 11, 85 – 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.
- Nelson, J. ve Brodie, J.D., 1990. Comparison of A Random Search Algorithm and Mixed Integer.
- Nelson, J.D., ATLAS Operations Manual, Faculty of Forestry, University of British Columbia, Vancouver, Canada, 77 sayfa (<http://www.forestry.ubc.ca/atlas-simfor/extension/docs.html#ATLAS>), 30 Ocak 2009.
- Nelson, J.D., FPS-ATLAS Database Manual: Version 6, Faculty of Forestry, University of British Columbia, Vancouver, Canada, 85 sayfa (<http://www.forestry.ubc.ca/atlas-simfor/extension/docs.html#ATLAS>), 30 Ocak 2009.
- Ok, K., 1997. Aynıyaşlı Ormanlarda Kesim Düzeninin Ekonomik Analizi. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 228 s.
- Öhman, K., 2001. Forest Planning With Consideration to Spatial Relationships. Doctoral Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Umea.

- Peng, C. 2000. Growth and Yield Models for Uneven-Aged Stands: Past, Present And Future. *Forest Ecology and Management*, 132, 259-279.
- Reeves C.R., 1993. "Modern Heuristic Techniques for Combinatorial Problems", John Wiley&Sons, Inc. New York, Toronto.
- Richards, E.W. ve Gunn, E.A., 2000. A Model and Tabu Search Method to Optimize Stand Harvest and Road Construction Schedules. *Forest Science* 46, 2, 188-203.
- Saraçoğlu, N., 1989. Yarışma Endeksi ile Kızılağaç [*Alnus Glutinosa* Subsp. *Barbata* (C.A.Mey) Yalt.] Periyodik ap ve Kesit Yüzeyi Artımlarının Tahmin Edilmesi. *Türk Tarım ve Ormancılık Dergisi*, 3, 1412-1421.
- Sarıaslan, H., 1996. Sıra Bekleme Sistemlerinde Simülasyon Tekniği, Siyasal Bilgiler Fakültesi Yayınları:557, Ankara.
- Soykan, B., 1979. Aynıyaşlı Ormanların Aktüel Kuruluşlarının Optimal Kuruluşa Yaklaştırılmasında Yöneylem Araştırması Metotlarından Yararlanma Olanaklarının Araştırılması. KTÜ Orman Fakültesi Yayın No: 106, Orm. Fak. Yayın No: 5, Trabzon, 252 sayfa.
- Sönmez, T., 2004. Ülkemiz Ormancılığında Konumsal Veri Tabanının Tasarımı, Kurulması ve Uygulamaları (Artvin Merkez İşletme Őefliđi Örneği), Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Snyder, S. ve Reville, C., 1996. Temporal and Spatial Harvesting of Irregular Systems of Parcels. *Can. J. For. Res.* 26, 1079-1088.
- Sun, O. 1977. Bir Kızılcām (*Pinus brutia* ten.) Ağacının Simülasyonu İçin Büyüme Modeli. *Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları Teknik Bülten Serisi* No:119, 60s.
- Taha, H.A., 2007. *Operations Research, An Introduction*, 8th Ed. Upper Saddle River,N.J., Prentice Hall.
- Tarp, P. ve Helles, F., 1997. Spatial Optimization By Simulated Annealing and Linear Programming. *Scand. J. For. Res.*, 12, 390-402.
- Türker, M.F., 2000. Orman İşletmeciliği Ders Notları. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Ders Notları, No: 59, Trabzon.
- Ulam,S., Metropolis ,N., 1949. The Monte Carlo Method, *J.Amer.Stat.Assoc.*,44,335.
- URL-1, Kahveci, O., Orman Genel Müdürlüğü, [http://www.ogm.gov.tr/sunumlar/Duzce\\_orman\\_sunu.ppt](http://www.ogm.gov.tr/sunumlar/Duzce_orman_sunu.ppt), 20 Haziran 2009.
- URL-2, <http://www.uytes.com.tr/simulasyon/simulasyon.html>, Uygulamalı Yüksek Teknoloji Sistemleri, Simülasyon Nedir?, 12 Őubat 2009.



- URL-3, <http://tr.wikipedia.org/wiki/Optimizasyon>, Optimizasyon, 14 Haziran 2009.
- URL-4, <http://www.ercangurvit.com/linprog/linpro3.htm>, Lineer Programlama: Simpleks Metodu, 10 Ocak 2009.
- URL-5, Şeker, S. Ş., <http://www.bilgisayarkavramlari.com/2008/12/22/sezgi-ustu-algoritmalar-ustsezgisel-algoritmalar-meta-heuristic-algorithms>, Sezgiüstü Algoritmalar, 03 Ocak 2009.
- URL-6, <http://www.sayisalyontemler.com/?q=icerik/metasezgisel-yontemler>, Metasezgisel Yöntemler, 05 Ocak 2009.
- URL-7, Akıncı, Ü., [http://kisi.deu.edu.tr/umit.akinci/pdf/sim\\_ann.pdf](http://kisi.deu.edu.tr/umit.akinci/pdf/sim_ann.pdf), Fonksiyon Minimizasyonunda Simulated Annealing Yöntemi, 05 Ocak 2009.
- Usta, H.Z., 1991. Kızılcım Ağaçlandırmalarında Hasılat Araştırmaları, O.A.E. Yayınları, Teknik Bülten Serisi, NO:219, Ankara.
- 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.
- Yeşil, A., 1992. Değişik Sıklık ve Bonitetteki Doğal Kızılcım Meşcerelerinin Yaşa Göre Gelişimi, Doktora Tezi, İ.Ü. Fen Bilimleri Ens. İstanbul.
- Yolasığmaz, H.A., 2004. Orman Ekosistem Amenajmanı Kavramı ve Türkiye’de Uygulaması, Doktora Tezi, KTÜ Orman Fakültesi, Trabzon.
- Yolasığmaz, H.A., Sivrikaya, F., Keleş, S. ve Günlü, A., 2005. Ekosistem Tabanlı Çok Amaçlı Planlama. 1. Çevre ve Ormancılık Şurası, Antalya.
- Yolasığmaz, H.A., Keleş, S., Günlü, A. ve Başkent, E.Z., 2007. Orman Fonksiyon Haritalarının Hazırlanması ve Haritalanmasında Kullanılan Ölçüt, Gösterge ve Bu Alanlara Uygulanacak Silvikültürel Müdahalelerin Belirlenmesinde Karşılaşılan Güçlükler ve Çözüm Önerileri. İstanbul.

## ÖZGEÇMİŞ

1978 yılında Erzurum’da doğan Özkan Bingöl, ilk ve orta öğrenimini yine aynı şehirde tamamlamıştır. 1993 yılında Erzurum Fen Lisesi’ni kazandı. 1996 yılında girdiği Karadeniz Teknik Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümünü kazanarak üniversite eğitimine başladı. 2000 yılında MERNİS projesinde saha elemanı olarak görev aldı. 2001 yılında Hareketli Görüntülerin Takip Edilmesi adlı bitirme tezini hazırlayarak üniversite eğitimini tamamladı. 2002 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Enformatik Bölümü’nde öğretim görevlisi olarak meslek hayatına başladı. 2003-2004 yıllarında “e-kampüs” projesi kapsamında Bilgi İşlem Daire Başkanlığında Teknik Destek ve Ağ sorumlusu olarak çalıştı. 2004-2005 yılları arasında Milli Savunma Bakanlığında Bilgi İşlem Subayı olarak askerlik görevini yerine getirdi. 2006 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı başkanlığında yüksek lisans eğitime başladı. 2006-2008 yılları arasında Trabzon Ticaret ve Sanayi Odası ile birlikte 3 farklı istihdam projesinde yer aldı. Aynı zamanda 2006 yılından itibaren Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Mühendisliği Bölümü ile birlikte DPT projesi olan “Yöneylem Araştırması Teknikleri ve Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Nesne Tabanlı Çok Amaçlı Orman Amenajman Planlama Modeli Yazılımının Tasarımı ve Geliştirilmesi” yardımcı personel olarak, TÜBİTAK’a ait “Orman Amenajman Planlarının Hazırlanmasına Yönelik Karar Destek Sisteminin Geliştirilmesi” ve “Ekosistem Tabanlı Çok Amaçlı Planlama ( ETÇAP) Prototip Model Yazılımının Yöneylem Araştırması ve Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Geliştirilmesi ve Katılımcı Yaklaşımla Uygulanması” projelerinde yazılım uzmanı olarak yer aldı. Halen Karadeniz Teknik Üniversitesi Enformatik Bölümünde öğretim görevlisi görevini sürdüren Özkan Bingöl evli olup, iyi derecede İngilizce bilmektedir.