

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ORMAN AMENAJMAN PLANLARININ HAZIRLANMASINA YÖNELİK
KARAR DESTEK SİSTEMİNİN TASARIMI VE PROTOTİP MODELİNİN
GELİŞTİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

Orm. Yük. Müh. Sedat KELEŞ

**ARALIK 2008
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ORMAN AMENAJMAN PLANLARININ HAZIRLANMASINA YÖNELİK
KARAR DESTEK SİSTEMİNİN TAŞARIMI VE PROTOTİP MODELİNİN
GELİŞTİRİLMESİ**

Orm. Yük. Müh. Sedat KELEŞ

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

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24.11.2008
Tezin Savunma Tarihi : 26.12.2008**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Emin Zeki BAŞKENT
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Selahattin KÖSE
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Tahsin YOMRALIOĞLU
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Hakkı YAVUZ
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Ahmet YEŞİL**

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Salih TERZİOĞLU

Trabzon 2008

ÖNSÖZ

“Orman Amenajman Planlarının Hazırlanmasına Yönelik Karar Destek Sisteminin Tasarımı ve Prototip Modelinin Geliştirilmesi” adlı bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Doktora Tezi olarak hazırlanmıştır.

Öncelikle, Türkiye ormancılığı için önemli bir çığır açacak olan böylesi güncel ve özgün bir tez konusunun seçimi ve araştırmanın yürütülmesinde bana rehber olan, çalışmanın şekil, içerik ve kaynak bakımından yönlendirmesini sağlayan, her konuda ilgi, destek ve yardımlarını esirgemeyen sayın hocam Prof. Dr. Emin Zeki BAŞKENT’ e sonsuz teşekkür ve şükranlarımı sunarım.

Değerli görüş ve önerileriyle çalışmamı yönlendiren ve her zaman büyük ilgi ve desteğini gördüğüm sayın hocam Prof. Dr. Selahattin KÖSE’ ye en içten teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma sürecini sürekli olarak izleyen, devamı ve başarıyla bitirilmesi için değerli görüş ve katkılarını esirgemeyen sayın hocam Prof. Dr. Tahsin YOMRALIOĞLU ve Prof. Dr. Hakkı YAVUZ’ a teşekkür ederim.

Çalışmalarım kapsamında değerli görüş ve önerilerinden faydalandığım ve yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Timo Pukkala, Prof. Dr. Timo Tokola, Prof. Dr. Olli Saastamoinen, Prof. Dr. Pete Bettinger, Prof. Dr. Mustafa Fehmi TÜRKER, Doç. Dr. Mehmet MISIR, Yrd. Doç. Dr. H. Ahmet YOLASIĞMAZ, Yrd. Doç. Dr. Turan SÖNMEZ, Yrd. Doç. Dr. Günay ÇAKİR, Arş. Gör. İdris DURUSOY, Arş. Gör. Fatih SİVRİKAYA ve özellikle Arş. Gör. Ali İhsan KADIOĞULLARI ve Öğr. Gör. Özkan BİNGÖL’ e ayrıca sonsuz teşekkür ve şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmalarını kapsamında yardım ve desteklerini esirgemeyen, bizleri her zaman bağırlarına basan ve her aşamada yardımcı olan başta Orman İdaresi ve Planlama Dairesi Başkanı (OİPD) Orm. Müh. Mustafa YURDAER olmak üzere, Orm. Yük. Müh. Rüstem KIRIŞ, Orm. Müh. Mithat KOÇ, Orm. Müh. Ayhan ÇAĞATAY, Orm. Müh. Mehmet DEMİR ve diğer OİPD çalışanlarına gönülden teşekkür ederim.

Bu çalışmanın hazırlanmasında TOVAG 104O355 kod numaralı proje ve Yurt İçi Doktora Bursu ile her türlü maddi desteği sağlayan TÜBİTAK ile yine her türlü olanaklarından sürekli olarak faydalandığım Karadeniz Teknik Üniversitesi’ ne teşekkür ederim.

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

Sedat KELEŞ
Trabzon 2008

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. Temel Kavramlar.....	8
1.2.1. Ekosistem Tabanlı Çok Amaçlı Planlama (ETÇAP) Yaklaşımı.....	8
1.2.2. Hiyerarşik Planlama: Stratejik, Taktiksel ve Operasyonel Planlama.....	10
1.2.3. Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Kullanımı.....	11
1.2.4. Orman Dinamiği.....	12
1.2.5. Karar Destek Sistemleri ve Orman Amenajmanında Kullanımı.....	13
1.2.6. Orman Amenajmanında Modelleme.....	15
1.2.6.1. Simülasyon Modelleri.....	21
1.2.6.2. Optimizasyon Modelleri.....	22
1.2.6.3. Kombine Optimizasyon Modelleri.....	25
1.2.7. Nesne Tabanlı Programlama.....	26
1.2.8. Birleşik Modelleme Dili (UML-Unified Modeling Language).....	28
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	34
2.1. Kavramsal Çerçeve.....	34
2.2. Karar Destek Sisteminin Geliştirilmesi.....	36
2.2.1. Planlama.....	37
2.2.1.1. Yazılım ve Donanım.....	37
2.2.2. Sistem Analizi.....	39
2.2.3. Sistem Tasarımı.....	41
2.2.3.1. Orman Ekosisteminin Sayısal Olarak Tanımlanması ve Veri Tabanı Kurulumu.....	42

2.2.3.2.	Yardımcı Modeller.....	45
2.2.3.2.1.	Su Üretim Modeli.....	46
2.2.3.2.2.	Toprak Erozyonu Modeli.....	48
2.2.3.2.3.	Karbon Birikimi Modeli.....	50
2.2.3.2.4.	Oksijen Üretim Modeli.....	55
2.2.3.2.5.	Odun Ürün Çeşitleri Modeli.....	56
2.2.3.2.6.	Odun Üretimi Ekonomik Modeli.....	57
2.2.3.2.7.	Odun Dışı Orman Fonksiyonlarına İlişkin Ekonomik Modeller.....	59
2.2.3.3.	Planlama Stratejileri.....	62
2.2.3.4.	Planlama Teknikleri.....	64
2.2.3.4.1.	Simülasyon Modeli.....	65
2.2.3.4.1.1.	Simülasyon Modelinin Genel Özellikleri.....	65
2.2.3.4.1.2.	Simülasyon Modeline İlişkin Kullanım Durumlarının Geliştirilmesi.....	75
2.2.3.4.1.3.	Simülasyon Modeline İlişkin Sınıfların Oluşturulması.....	80
2.2.3.4.2.	Optimizasyon Modeli.....	99
2.2.3.4.2.1.	Doğrusal Programlama Tabanlı Orman Planlama Modeli Özellikleri.....	99
2.2.3.4.2.2.	Doğrusal Programlama Tabanlı Orman Planlama Modeline İlişkin Kullanım Durumlarının Geliştirilmesi.....	106
2.2.3.4.2.3.	Doğrusal Programlama Tabanlı Orman Planlama Modeline İlişkin Sınıfların Oluşturulması.....	110
2.2.3.4.2.4.	Değişikyaşlı (Seçme) Ormanlar İçin Doğrusal Programlama Tabanlı Orman Planlama Modeline İlişkin Sınıfların Oluşturulması.....	118
2.2.3.5.	Performans Göstergeleri (Model Çıktıları).....	129
2.2.4.	Gerçekleştirim.....	130
2.2.4.1.	Kodlama.....	130
2.2.4.2.	Kullanıcı Arayüzünün Geliştirilmesi.....	131
2.2.4.3.	Karar Destek Sisteminin Denenmesi.....	131
3.	BULGULAR VE DEĞERLENDİRME.....	134
3.1.	Simülasyon Tabanlı Orman Planlama Modeli (ETÇAPSimülasyon).....	135
3.1.1.	Model (Senaryo) Yönetimi.....	136
3.1.2.	Veri Giriş Tabloları.....	137
3.1.2.1.	Bölmecik Tablosu.....	137
3.1.2.2.	Hasılat Tablosu.....	138

3.1.2.3.	Sınırlar ve Müdahaleler Tablosu.....	139
3.1.2.4.	Geçiş Tablosu.....	142
3.1.2.5.	Odun Ürün Çeşitleri Tablosu.....	143
3.1.2.6.	Ekonomik Veri Tablosu.....	144
3.1.2.7.	Karbon Birikimi Tablosu.....	144
3.1.2.8.	Kodlar Tablosu (Araç Çubuğu).....	145
3.1.3.	Simülasyon Ayarları.....	147
3.1.3.1.	Kuralların Belirlenmesi.....	148
3.1.3.2.	Hedeflerin Düzenlenmesi.....	148
3.1.3.3.	Yardımcı Modellerin Seçilmesi.....	151
3.1.3.4.	Modelin Koşturulması.....	152
3.1.4.	Sonuçlar (Çıktılar).....	153
3.1.5.	ETÇAPSimülasyon Modelinin Örnek Planlama Biriminde Uygulanması....	156
3.2.	Doğrusal Programlama Tabanlı Orman Planlama Modeli (ETÇAPOptimizasyon).....	166
3.2.1.	Tablolar.....	167
3.2.1.1.	Silvikültürel Rejim Tanımları.....	167
3.2.2.	Optimizasyon Ayarları.....	168
3.2.2.1.	Silvikültürel Rejim Atamaları.....	169
3.2.2.2.	Odun Dışı Orman Fonksiyonları Parasal Değerler Tablosu.....	170
3.2.2.3.	Yardımcı Modellerin Seçilmesi.....	171
3.2.2.4.	Amaç Fonksiyonun Seçilmesi.....	172
3.2.2.5.	Kısıtlayıcı Koşulların Belirlenmesi.....	172
3.2.2.6.	Modelin Koşturulması.....	174
3.2.3.	Optimizasyon Sonuçları (Çıktılar).....	175
3.2.4.	ETÇAPOptimizasyon Modelinin Örnek Planlama Biriminde Uygulanması	176
3.3.	Simülasyon ve Optimizasyon Modellerinin Genel Değerlendirmesi.....	188
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	193
5.	KAYNAKLAR.....	200
ÖZGEÇMİŞ		

ÖZET

Ormanların ekosistem tabanlı çok amaçlı planlanmasında (ETÇAP) temel felsefe, kısıtlayıcı koşullar altında belirlenen işletme amaç ve koruma hedeflerine ulaşmak için, ormana uygulanacak silvikültürel müdahalelerin tür ve miktarının zaman ve mekan boyutunda düzenlenmesidir. Bu şekilde planların hazırlanarak alternatiflerin üretilmesi ve aralarından orman ekosistemlerinin sürdürülebilirliğine en uygun seçeneğin kararlaştırılması için Türkiye Ormancılığının bir Karar Destek Sistemine (KDS) ihtiyacı vardır.

Bu çalışma kapsamında ETÇAP planlama felsefesine dayalı bir KDS geliştirilmiştir. Bu KDS, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yardımı ile üretilen konumsal veriler ile diğer yardımcı verileri (hasılat tabloları, odun çeşitleri tabloları, planlama parametreleri vs) yine belirlenen formatta kullanabilme özelliğine sahiptir. Tamamen nesne tabanlı bir yaklaşımla tasarlanmış ve kodlanmış (Delphi) olan KDS'nin temel bileşenleri "sınıflar" olarak belirlenmiş ve karşılıklı ilişkileri ortaya konmuştur. Geleneksel simülasyon ve doğrusal programlama tekniklerini içeren iki modülü ile orman ekosistemlerinin uzun vadede kestirimini meşcere bazında yapmakta ve plan çıktılarını tablo ve grafik olarak sunmaktadır. KDS'nin en önemli bileşeni olan meşcere büyüme alt modeli, mevcut meşcereler için bu çalışma kapsamında geliştirilen prototip büyüme modeli ile birlikte meşcerelere uygulanan silvikültürel müdahaleler kapsamında, meşcerelerin büyüme yapısı ve şekli, aktüel meşcere verilerinin optimal meşcere verileri ile karşılaştırılması esasına dayanarak geliştirilmiştir. Gençleştirmeye alınmış meşcerelerin büyümesi ise ilgili ağaç türü için daha önce geliştirilen hasılat tablosuna göre gerçekleşmektedir. Bu KDS odun üretiminin yanı sıra, su üretimi, toprak kaybı, karbon birikimi ve oksijen üretimi gibi ormanın değerlerini de kapsayacak şekilde hazırlanmıştır. Prototip olarak geliştirilen KDS'nin kolay kullanımını sağlamak amacıyla bir arayüz programı ile desteklenmiş ve uygulaması örnek bir alanda gerçekleştirilmiştir.

Geliştirilen orman amenajmanı KDS, karar vericilere stratejik ve taktiksel düzeyde seçenekler sunmakta ve ekonomik analizler yapabilmesine imkan vermektedir. Böylece stratejik planlama ile taktiksel planlama arasında uyum sağlanarak hiyerarşik planlama sürecine ilk adım atılmıştır. Orman amenajman planlarının hazırlanmasına hizmet edecek KDS'nin tasarımı ve geliştirilmesi, nesne tabanlı bir programlama dili ile birlikte bilgisayar ortamında modüler yapıldığı için olası yenilikler karşısında tasarımın güncelleştirme ve bakımı işlemleri de kolaylaşmıştır. Karar verme teknikleri ve bilgi teknolojilerini aynı anda kullanan KDS ile birlikte orman amenajman planlarının daha az zaman ve emek kaybıyla birlikte daha hızlı, güvenilir ve güncel şekilde düzenlenmesi fırsatları ortaya çıkacaktır. KDS hem teknik ormancılık uygulamalarında hem de bilimsel çalışmaların yapılmasında ve ülkemiz ormancılık eğitiminde de kullanılabilir olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Orman Amenajmanı, Karar Destek Sistemi, Coğrafi Bilgi Sistemleri, Simülasyon, Doğrusal Programlama, Ekosistem Tabanlı Çok Amaçlı Planlama

SUMMARY

Designing and Developing a Decision Support System for Forest Management Planning

Ecosystem based multiple use forest management planning concept (ETÇAP) focuses on developing alternative silvicultural treatments in order to achieve a desired flow of products and benefits from the forest ecosystem over time. A forest management Decision Support System -DSS is indispensable to generate planning alternatives and determine an optimal management schedule among them to justify sustainable use of forests.

This research developed a sound forest management decision support system based on ETÇAP philosophy. The DSS uses both spatial information driven from Geographical Information Systems and other data such as empirical yield tables, forest products and planning parameters as an input to model forest management activities implementable on the ground. The DSS was developed with object-oriented design and programming (Delphi) language by identifying the planning components as “classes” and their relationships. Both simulation and linear programming based modules were developed to find the best appropriate combination of management treatment options for each stand and to display performance indicators as outputs in graphic and table format. An in-house growth and yield modeling component was developed to project the actual stand developments based on the relationship between the regulated stand and actual stand and the regenerated stand based on empirical yield tables. The DSS accommodates not only the wood production objective but also water production, soil protection, carbon balance and oxygen production. An interface program was developed to implement the DSS in a case study area.

The forest management DSS system provides opportunities for decision makers to test various management strategies and conduct economic analysis towards the best choice. Such approach allows the integration of strategic and tactical planning components of hierarchical forest management planning system. The DSS will enable the preparation of forest management plans, easy to be updated as it was developed in-house with object-oriented approach to accommodate various management needs as they arise. The DSS accommodates decision support techniques and information technologies and provides various opportunities in preparing forest management plans while enabling the process to be faster, sound and timely using relatively less amount of time and labor. This DSS will also be used in the implementation of contemporary forest management planning process, scientific studies and forestry education.

Key Words: Forest Management, Decision Support System, Geographical Information Systems, Simulation, Linear Programming, Ecosystem Based Multiple Use Forest Management

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Kullanıcı durum diyagramı	30
Şekil 2. Sınıf diyagramı taslağı (a) ve bir örneğı (b).....	31
Şekil 3. Birbiriyle ilişkili sınıf diyagramları örneğı	31
Şekil 4. Miras alma (Inheritance) örneğine ilişkin bir sınıf diyagramı örneğı	32
Şekil 5. Birleştirme ilişkisi örneğine ilişkin sınıf diyagramı	33
Şekil 6. Kompozisyon ilişkisi örneğine ilişkin sınıf diyagramı	33
Şekil 7. ETÇAP anlayışına dayalı karar destek sisteminin kavramsal çerçevesi.....	35
Şekil 8. Orman amenajmanı KDS'nin mimarisi	43
Şekil 9. Bir havzanın su verimini belirleyen faktörler	46
Şekil 10. Orman ekosistemlerinde toprak erozyonu modeli	49
Şekil 11. Orman ekosistemi karbon depolama kaynakları	51
Şekil 12. Simülasyon tabanlı orman amenajmanı planlama modeli temel yapısı	66
Şekil 13. 10 yıllık planlama periyotlarına ayrılmış 30 yıllık planlama yörüngesi örneğı.....	67
Şekil 14. Aynıyaşlı ormanın gençleştirme durumuna göre gelişimi	70
Şekil 15. Meşcerelerde müdahalelere bağılı olarak gerçekleşen geçişlere ilişkin bir örnek.....	71
Şekil 16. En yaşlı meşcereden üretim kuralına göre alanın yaş sınıflarına dağılımının zamana bağılı değışimi.....	72
Şekil 17. Simülasyon modeli için mevcut kullanım durumları	76
Şekil 18. Büyüme modeli sınıf diyagramı	83
Şekil 19. Hasılat tablosu sınıf diyagramı	84
Şekil 20. Bölmecik listesi sınıf diyagramı	86
Şekil 21. Sınırlar ve müdahaleler tablosu sınıf diyagramı	87
Şekil 22. Bakım listesi sınıf diyagramı	87
Şekil 23. Su üretim modeli sınıf diyagramı	88
Şekil 24. Toprak erozyonu modeli sınıf diyagramı	88
Şekil 25. Büyüme modelinin UML mimarisi.....	89
Şekil 26. Simülasyon modeli sınıfı diyagramı	90
Şekil 27. Hedefler sınıf diyagramı.....	91
Şekil 28. Geçişler sınıf diyagramı	92
Şekil 29. Gerçekleşen miktarlar sınıfı diyagramı	92
Şekil 30. Hedefler ve bağılantılı olduğı sınıf diyagramları ilişkisi	92
Şekil 31. Net karbon birikimi hesaplamaya yönelik sınıf diyagramı	93
Şekil 32. Odun ürün çeşitleri sınıf diyagramı.....	95
Şekil 33. Ekonomik veri tablosu sınıf diyagramı	96
Şekil 34. Simülasyon sonuçları sınıf diyagramı	98

Şekil 35.	Simülasyon sınıfı ve bağlantılı sınıf ilişkileri diyagramı	99
Şekil 36.	Doğrusal programlama tabanlı orman amenajmanı planlama sistemi	102
Şekil 37.	Optimizasyon modeli için mevcut kullanım durumları	106
Şekil 38.	a)Rejim tanımları b) rejim atamaları ve c) bakım listesi sınıf diyagramları	111
Şekil 39.	Silvikültürel müdahale rejimleri sınıf diyagramı	111
Şekil 40.	Optimizasyon modeli sınıf diyagramı	113
Şekil 41.	Karar değişkenleri sınıf diyagramı	114
Şekil 42.	Müdahale sınıf diyagramı	114
Şekil 43.	Karar değişkenleri sınıf diyagramı yapısı	115
Şekil 44.	Amaçlar sınıf diyagramı	116
Şekil 45.	Kısıtlar sınıf diyagramı	116
Şekil 46.	Periyodik kısıtlar sınıf diyagramı	117
Şekil 47.	Değişikyaşlı aktüel kuruluşu gösteren bölmecik tablosu sınıf diyagramı...	120
Şekil 48.	Değişikyaşlı meşcereler için optimal kuruluş sınıf diyagramı.....	121
Şekil 49.	Değişikyaşlı meşcereler için büyüme modeli sınıfı yapısı.....	123
Şekil 50.	Değişikyaşlı ormanlarda optimizasyon modeli sınıf yapısı.....	127
Şekil 51.	KararDeğişkenleri ve Katsayılar sınıf diyagramları ve ilişkisi.....	128
Şekil 52.	ETÇAP karar destek sistemi ana penceresi	135
Şekil 53.	ETÇAPSimülasyon modeli başlangıç ana penceresi	136
Şekil 54.	Bölmecik tablosu seçim ve düzenleme ekranı	138
Şekil 55.	Örnek bir tablo yapıları düzenleme ekranı	139
Şekil 56.	Hasılat tablosu seçim ve düzenleme ekranı	140
Şekil 57.	Analiz alanlarının a) işletme sınıfı b) meşcere tipi c) orman fonksiyonu içinde yer alan meşcere tipleri düzeylerinde belirlenmesi örnekleri.....	140
Şekil 58.	Analiz alanlarını ve silvikültürel müdahaleleri düzenleme ekranı.....	141
Şekil 59.	Geçiş tablosu düzenleme ekranı	142
Şekil 60.	Odun ürün çeşitleri tablosu seçim ve düzenleme ekranı	143
Şekil 61.	Ekonomik verileri düzenleme ekranı	144
Şekil 62.	Karbon birikimi tablosu seçim ve düzenleme ekranı	145
Şekil 63.	Orman ekosistemini oluşturan a) ağaç türlerinin b) işletme sınıflarının c) meşcerelerin d) orman fonksiyonlarının kod ve açıklamaları tablo ekranı..	146
Şekil 64.	Simülasyon ayarları ekranı	147
Şekil 65.	Örnek bir hata uyarı penceresi.....	148
Şekil 66.	Gençleştirme ve bakım kesim kuralları belirleme ekranı	148
Şekil 67.	Hedefleri düzenleme örneği	149
Şekil 68.	Kullanıcı tanımlı eta ve alan hedefleri düzenleme ekranı	150
Şekil 69.	Ağaçlandırma hedefleri düzenleme ekranı	151
Şekil 70.	Su üretim ve toprak erozyonu modelleri seçim penceresi.....	152
Şekil 71.	Simülasyon sonuçları ana ekranı	153

Şekil 72.	Simülasyon çıktılarının tablo formatında gösterilme aşamaları	154
Şekil 73.	Simülasyon çıktılarının grafik formatında gösterilme aşamaları	155
Şekil 74.	25 numaralı bölmeçiğe ait simülasyon sonuçları ekranı	158
Şekil 75.	25 numaralı bölmeçiğin 120 yıllık süreçteki a) servet ve b) su üretimi.....	159
Şekil 76.	Ağaç türü düzeyinde simülasyon sonuçları	160
Şekil 77.	Planlama birimi düzeyinde gerçekleşen a) eta miktarları b) NBD miktarları c) gençleştirme ve bakım alanları d) ağaçlandırma alanları	161
Şekil 78.	Planlama birimi düzeyinde gerçekleşen a) göğüs yüzeyi b) su üretimi c) toprak erozyonu miktarları	163
Şekil 79.	Planlama biriminin zamana bağlı a) karbon birikimi b) oksijen üretimi c) dikili servet değişimi	164
Şekil 80.	Orman ekosisteminin a) başlangıç durumundaki b) 30 yıl sonraki c) 60 yıl sonraki d) 80 yıl sonraki e) 100 yıl sonraki f) planlama süresi sonundaki yaş sınıfları dağılımı	165
Şekil 81.	ETÇAPOptimizasyon modeli başlangıç penceresi	166
Şekil 82.	Silvikültürel rejim tanımlamaları ekranı	168
Şekil 83.	Optimizasyon ayarları başlangıç penceresi	169
Şekil 84.	Silvikültürel rejimlerin tahsis edilmesi ekranı	170
Şekil 85.	Orman fonksiyonları ekonomik değerler veri giriş ekranı	171
Şekil 86.	Yardımcı modellerin seçilmesi ekranı	171
Şekil 87.	Amaç fonksiyonu seçim ekranı	172
Şekil 88.	Alan ve eta kontrol politikaları seçme ekranı	173
Şekil 89.	Kullanıcı tanımlı periyodik kısıt tanımlamaları ekranı	174
Şekil 90.	Optimizasyon sonuçları ana ekranı	175
Şekil 91.	Karar değişkenleri tasarımına yönelik katsayıları gösterir tablo görüntü ekranı	179
Şekil 92.	Orman amenajmanı planlama problemi doğrusal programlama modeli yapısının (matrisinin) LINDO programında görüntüsü	180
Şekil 93.	LINDO çözüm sonuçları penceresi	180
Şekil 94.	Odun üretimi çıktılarının a) Bakım, gençleştirme ve toplam eta b) odun ürün çeşitlerinin periyotlara bağlı değişiminin grafik formatında gösterimi	181
Şekil 95.	Eta miktarlarının periyotlara bağlı değişiminin tablo formatında gösterimi ..	182
Şekil 96.	Gençleştirme ve bakım alanlarının zamana bağlı değişimi	183
Şekil 97.	Orman dinamiği bileşenlerinin a) zamana bağlı dikili servet b) zamana bağlı göğüs yüzeyi c) simülasyon süresi sonundaki yaş sınıflarının değişimi	184
Şekil 98.	Odun dışı fonksiyonların a) su üretimi b) toprak erozyonu c) net karbon birikimi d) net oksijen üretimi zamana bağlı değişimi	186
Şekil 99.	Orman fonksiyonlarının a) odun b) su c) toprak d) karbon ve e) oksijen NBD'lerinin zaman bağlı değişimi.....	187

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Orman amenajman planlamasına hizmet etmek amacıyla geliştirilmiş bazı KDS'leri ve özellikleri	16
Tablo 2. Aynıyaşlı ormanlar için bir müdahale reçetesi örneği.....	68
Tablo 3. Örnek bir meşcere tipi (Çzb3) için alternatif müdahale rejimleri.....	69
Tablo 4. Müdahale türü ve sınırlarını seç kullanım durumu aşamaları.....	77
Tablo 5. Geçişleri belirle kullanım durumu aşamaları.....	77
Tablo 6. Üretim kurallarını ortaya koy kullanım durumu aşamaları.....	78
Tablo 7. Hedefleri düzenle kullanım durumu aşamaları.....	78
Tablo 8. Yardımcı modelleri düzenle kullanım durumu aşamaları.....	78
Tablo 9. Modeli çöz kullanım durumu aşamaları.....	79
Tablo 10. Sonuçlara bak ve test et kullanım durumu aşamaları.....	79
Tablo 11. Amenajman plan çıktılarını üret kullanım durumu aşamaları.....	79
Tablo 12. Müdahale rejimlerini belirle ve tahsis et kullanım durumu aşamaları.....	107
Tablo 13. Geçişleri belirle kullanım durumu aşamaları.....	107
Tablo 14. Yardımcı modelleri düzenle kullanım durumu aşamaları	108
Tablo 15. Amaçları ve kısıtlayıcıları belirle kullanım durumu aşamaları.....	108
Tablo 16. Planlama modelini oluştur kullanım durumu aşamaları.....	108
Tablo 17. Planlama modelini çöz kullanım durumu aşamaları.....	109
Tablo 18. Sonuçlara bak ve test et kullanım durumu aşamaları.....	109
Tablo 19. Amenajman plan çıktılarını üret kullanım durumu aşamaları.....	109
Tablo 20. Örnek bir seçme ormanının yapısı.....	124
Tablo 21. Örnek bir seçme ormanının aktüel ve çıkarılan ağaç sayılarının zamana bağlı değişimi.....	126
Tablo 22. Yalnızçam planlama birimindeki fonksiyonlar, işletme amaçları/koruma hedefleri.....	133
Tablo 23. Planlama birimi toplam alan, ağaç serveti ve artımının işletme sınıflarına dağılımı.....	133

KISALTMALAR DİZİNİ

CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
DPT	: Devlet Planlama Teşkilatı
ETÇAP	: Ekosistem Tabanlı Çok Amaçlı Planlama
FRIS	: Orman Kaynakları Bilgi Sistemi
GEF	: Küresel Çevre Fonu
GPS	: Global Positioning System (Küresel Yer Belirleme Sistemi)
GRASİMOD	: Grafiksel Simülasyon Modeli
OGM	: Orman Genel Müdürlüğü
KASİMOD	: Kademeli Simülasyon Modeli
KDS	: Karar Destek Sistemi
SESİMOD	: Seçimlik Simülasyon Modeli
MERAPMO 1	: Meryemana Araştırma Ormanı Planlama Modeli 1
MERAPMO 2	: Meryemana Araştırma Ormanı Planlama Modeli 2
DİE	: Devlet İstatistik Enstitüsü
IUCN	: Dünya Doğayı Koruma Birliği
IUFRO	: Uluslararası Ormancılık Araştırma Örgütleri Birliği
FAO	: Dünya Gıda ve Tarım Teşkilatı
UNEP	: Birleşmiş Milletler Çevre Programı
DSİ	: Devlet Su İşleri
KTÜ	: Karadeniz Teknik Üniversitesi
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Orman ekosistemleri, sürdürülebilirlik ilkesi doğrultusunda planlanıp işletildiği takdirde topluma uzun vadede ekonomik, ekolojik ve sosyo – kültürel ürün ve hizmetler sunan önemli bir doğal kaynaktır. Orman endüstrisinin temel hammaddesini sağlamakla beraber; reçine, sığla, palamut, tohum, çeşitli meyve, yaprak ve ot gibi odun dışı ürünler sunmaktadır. Aynı zamanda, yabani hayvanlara yaşam alanı oluşturmak, su ve toprak koruma, oksijen sağlama, karbon depolama, çeşitli rekreasyon fırsatları sunma, görsel kalite, azot döngüsü ve besin zinciri gibi ekolojik hizmetler vermektedir. Üstelik ormanlar, insanlar için gelir kapısı olmasının yanında onların tarihi, kültürel ve dinsel inançları kapsamında sosyal ve kültürel ihtiyaçlarını da karşılamaktadır.

Günümüzde, orman ekosistemleri ve onlardan en uygun yararlanma konusunda çeşitli ekolojik ve çevresel endişeler kendini hissettirmeye başlamıştır. Orman ekosistemleri, kullanım dışı amaçlar, yanlış ve plansız yararlanmalar ve bunların uzantısında meydana gelen doğal müdahaleler (küresel ısınma, asit yağmurları ve orman yangınları) sonucu; sağlıklarının ve yapılarının bozulmaları, alanlarının azalması, uzun vadede sürekliliğinin sağlanamaması veya korunamaması gibi sorunlarla karşı karşıya kalmıştır. Orman ekosistemlerinin yapı ve kuruluşlarının bozulması ve alanlarının azalması ise beraberinde pek çok sorunu getirmiştir. Hızlı endüstrileşme ve nüfus artışına paralel olarak çevre kirliliğinin artması, çölleşme, su kaynaklarının kalite ve sürekliliğinin tehlikeye düşmesi, biyolojik çeşitliliğin azalması, sel – taşkın –çığ ve heyelan olaylarının artması, asit yağmurları ve sera etkisi gibi sorunlar doğrudan ya da dolaylı olarak ormanların tahrip edilmesi ve yok edilmesinin sonuçları olarak ortaya çıkmıştır.

Özellikle son yıllarda, yukarıda belirtilen ekolojik ve çevresel olumsuzluklar, toplumun çevre konusundaki bilinçlenmesi, doğa ve doğal kaynaklara ilişkin bilgilerin artması ve gelişen teknolojiye bağlı olarak dünya ülkeleri ortak çözüm arayışına girmişlerdir. Çeşitli uluslararası sözleşme ve süreçler doğrultusunda yeniden şekillenen doğal kaynaklardan yararlanma süreci, sürdürülebilirlik kavramının açılımı şeklindeki temel ilke ve prensiplere ya da gösterge ve ölçütlere dayandırılmıştır. Köşe taşlarını, ekolojik ve ekonomik süreklilik oluştururken, yaklaşım tarzı daha akılcı ve bilimsel,

küresel boyutta ortak katılımcı, teknoloji yoğun, bütünleşik, disiplinler arası yaklaşımı ilke edinen ortak davranış şekli olarak ortaya çıkmıştır (Yolasığmaz, 2004).

Orman ekosistemlerinin sürekliliği çeşitli sözleşmelerde uluslar arası bir boyut kazanmıştır. Genel olarak tüm sözleşme ve süreçlerde; ormanların topluma sunduğu ekolojik, ekonomik ve sosyo-kültürel değerler ve bu değerlerin korunması, orman kaynaklarının kapsamı, orman ekosistemlerinin korunması ve sürdürülebilir yönetimi yasal, politik ve kurumsal yapı gibi bir takım özellikler üzerinde durulmaktadır (Durusoy, 2002; Yolasığmaz, 2004). Türkiye, Rio Kararlarının Bölgesel ölçekte uygulanması için başlatılan süreçlerden, hem Pan-Avrupa sürecinde hem de FAO-UNEP Yakın Doğu Süreci içerisinde yer almaktadır. Bu süreçler sonrasında bölgesel düzeyde orman kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı kavramı tanımlanarak, ölçüt ve göstergeler geliştirilmiş, uygulama kılavuzları düzenlenmiştir. Helsinki Konferansı'nın 1. Kararı çerçevesinde başlatılan çalışmalarda ilk adım "Orman Kaynaklarının Sürdürülebilir Planlama ve İşletmeciliği"nin tanımının yapılması olmuştur. Bir dizi çalışmadan sonra bütün Avrupa Ülkeleri Orman Kaynaklarının Sürdürülebilir Planlama ve İşletmeciliğini: *“Ormanların ve orman alanlarının yerel, ulusal ve küresel düzeylerde, biyolojik çeşitliliğini, verimliliğini, kendini yenileme kabiliyetini ve yaşama enerjisini, şimdi ve gelecekte, ekolojik, ekonomik ve sosyal fonksiyonlarını yerine getirebilme potansiyelini koruyacak ve diğer ekosistemlere zarar vermeyecek bir şekilde ve derecede kullanılması ve düzenlenmesi”* şeklinde tanımlamıştır.

Belirtilen gelişmelere paralel olarak dünya ormancılığında orman amenajmanı kavram ve tasarımında da değişimler olmuştur. İnsanların orman kaynaklarından faydalanma şekilleri başlangıçta tamamen odun üretimine yönelik olup orman kaynaklarının ekonomik anlamda kullanımına odaklanmıştır. Bu süreç 1960'lı yıllara kadar sürmüştür. 1960'lardan sonra ise, toplumun ormanlardan beklediği fayda ve fonksiyonlar ortaya çıkan ekonomik koşullara ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak zaman içinde çeşitlenmiş ve değişmiştir. Özellikle ulusal sınırlar tanımayan çevre sorunlarının hayati önemi toplum tarafından fark edildikçe, yaşanabilir çevrenin biricik kaynağı olan orman ekosistemlerinin bu yöndeki katkısı daha iyi anlaşılmış ve toplumların ormanlardan beklediği fayda ve değerlerin yönü ve kapsamı değişmiştir (Asan, 1995a). Bu gelişmelere paralel olarak odun eksenli orman amenajman planları yerini çok amaçlı planlamaya (fonksiyonel) bırakmıştır. 1990'lı yıllardan sonra ise, daha yenilikçi ve doğaya yakın bir planlama anlayışı olan ekosistem tabanlı planlama yaklaşımı ortaya çıkmıştır. Bu gelişmelerin bir sonucu olarak çağdaş orman amenajmanı, ormanların geleceği hakkında

kararları etkileyen ekolojik, ekonomik ve sosyo-kültürel faktörlerin tümünü bütünleştirme gibi zor bir görevi üstlenmektedir. Orman ekosisteminin devamlılığını ve dayanıklılığını sağlamak kaydıyla, toplumun ormanlardan olan her türlü ihtiyaçlarını en uygun şekilde karşılama sanatı olarak da tanımlanabilmektedir (Başkent, 1996).

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

Ormancılığın uluslar arası boyut kazanması, orman kaynaklarının giderek azalması, orman kaynaklarına olan talebin çeşitlenmesi ve artması, orman ekosistemlerinin sürdürülebilirlik düzeyinde çok amaçlı planlanma zorunluluğu, ormanlardan en uygun yararlanma şeklinin belirlenmesine yönelik Karar Destek Sistemlerine (KDS) olan ihtiyacı ortaya koymuştur. 1980'li yıllarda kullanılmaya başlanan KDS, önceleri basit işletme problemlerine çözüm bulmak için tasarlanırken, son yıllarda geliştirilen sistemler orman ekosistem amenajmanı, sürdürülebilir orman işletmeciliği ve planlaması gibi daha zor ve kapsamlı problemlere ve sorunlara çözüm bulmak için tasarlanmaktadır (Reynolds, 2005). Bu konuda özellikle Kanada, Amerika, Finlandiya, Avustralya ve İsveç gibi ormancılık konusunda gelişmiş ülkelerde orman amenajmanı planlamasına yönelik birçok KDS geliştirilmiş ve halen bu konular üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Geliştirilen KDS'leri özellikle karar verme aşamasında (gençleştirme alanları, bakım blokları, ağaçlandırma alanları, gençleştirme ve bakım etası) etkin şekilde kullanılmaktadır. Ancak bu modeller sadece geliştirildiği ülkenin ormancılık koşulları dikkate alınarak düzenlenmiştir. Her bir ülkenin ormancılık politikaları, mevzuatları, mevcut sosyo-kültürel durumları, topoğrafik yapıları ve planlama ilkeleri birbirinden farklı olduğu için KDS'leri ülkenin ormancılık

şartları esas alınarak tasarlanmakta ve geliştirilmektedir. Bu nedenle, geliştirilen bu model yazılımların ülkemizdeki planların düzenlenmesinde doğrudan kullanılması mümkün değildir. Sadece gerekli verilerin elde edilip düzenlenmesi sonucu karar verme aşamasında kullanılabilirlerdir.

Türkiye’de orman amenajman planları, kalkınma planlarının ilk hazırlanmaya başladığı 1963 yılından itibaren 10 yahut 20 yıllık periyotlarla düzenlenmektedir. Günümüze gelinceye kadar envanter ve teknik ormancılık uygulamalarında bir takım gelişmeler olmasına rağmen, odun üretimi eksenli klasik ormancılık anlayışından öteye tam anlamıyla geçilememiştir. Genelde klasik planlama sistemi özelde ise Akdeniz Orman Kullanım Projesi, Münferit Planlama, Fonksiyonel Planlama adları altında model amenajman planlama sistemleri geliştirilmiş ve uygulamaya aktarılmıştır. Hazırlanan orman amenajman planlarında ana amaç, en yüksek odun hâsılatı elde etmek ve bunun sürekliliğini 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; Yolasığmaz vd., 2005a). Özellikle 1990’lı yıllardan sonra dünya’da orman amenajmanında meydana gelişme ve değişimlere ayak uydurmaya çalışan ülkemizde; Biyoçeşitlilik sözleşmesi ve Pan-Avrupa ve Yakın-Doğu süreçlerini benimsemiş, ormancılık anlayışında da bir takım köklü değişimler içerisine girmiştir. Bu bağlamda, orman kaynaklarının sürdürülebilir planlanması ve işletmeciliği ve özellikle biyolojik çeşitliliğin orman amenajman planlarına yansıtılması konusunda ulusal ve uluslar arası destekli projeler desteğinde 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. Bu gelişmelere bağlı olarak, dünyada olduğu gibi Türkiye ormancılığı için de ülkemiz ormancılık politikalarını, amenajman yönetmeliğini, ülkenin sosyo-kültürel yapısını dikkate alan, bilişim teknolojilerinin etkin şekilde kullanıldığı, amenajman planlarını modern planlama yaklaşımına göre düzenleyen bir KDS’ne gereksinim duyulmaktadır.

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. Yararlanmanın düzenlenmesinde Kademeli Simülasyon Modeli (KASİMOD), Seçimlik Simülasyon Modeli (SESİMOD) ve Grafikselle Simülasyon Modeli (GRASİMOD) adı verilen üç adet simülasyon modeli geliştirilmiştir. Köse (1986) tarafından Trabzon Meryemana Araştırma Ormanında MERAPMO 1 (Meryemana Araştırma Ormanı Planlama Modeli 1) ve MERAPMO 2 (Meryemana Araştırma Ormanı Planlama Modeli 2) olmak üzere iki adet planlama modeli amaç programlama yöntemine göre geliştirilmiştir. Gül (1990), Basic programlama dili kullanarak orman amenajman planlarını düzenleyen bir yazılım geliştirmiştir. 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 (2004), 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 geliştirmiştir. Bunlardan ilki 1972 yılında Akdeniz Orman Kullanım Projesi kapsamında geliştirilen makineli üretime dayalı sistemdir. Bir diğer proje, 1998 yılında OGM ile Finlandiya'nın Enso Forest Development Oy. Ltd.'nin ortak çalışması olan Orman Kaynakları Bilgi Sistemi (FRIS) projesidir. Projenin amacı; amenajman planlarının yapılmasında teknolojiye en üst düzeyde yararlanmak ve orman amenajman planlarını bilgisayar destekli düzenlemektir (Sivrikaya, 2008). Proje kapsamında FRIS isimli bir yazılım geliştirilmiştir. Bu program, sadece bilgisayar yazılımı olmaktan öte, geniş bir alana yayılmış bir sistemin kullanıcı arayüzüdür. Arka platformunda CBS uygulamaları ve veri tabanı yönetim yazılımları çalışmaktadır (Sivrikaya, 2008). 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. Bu durum, geliştirilen yazılımının en önemli dezavantajlarından biri olarak karşımıza çıkmaktadır. 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.

Ülkemizde bilimsel ve uygulama ağırlıklı geliştirilen orman amenajmanı planlama sistemleri ve modellerinin birçok katkılarına rağmen birçok eksiklikleri de görülmektedir. Bu modeller; farklı planlama yaklaşımlarını içermemekte, çok amaçlı planlama kavramına uygun değil, sistem tasarımına sahip değil, konumsal veri tabanı (CBS) ile tam uyumlu şekilde plan sürecini kapsamamakta, farklı karar verme teknikleri kullanılamamakta, plan sürecinin başından sonuna kadar olan işlem ve aşamaları gerçekleştirememekte ve mevcut yönetmeliği de pek dikkate almamaktadır. Bu denemelerin çoğu planlama sürecindeki karar verme aşamasına katkı yapmakla birlikte, gerçek anlamda karar vermeyi sağlayabilecek güçlü bir KDS geliştirilememiştir.

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.
- CBS ve yöneylem araştırması tekniklerinden yeterince yararlanılmamakta ve dolayısıyla modelleme teknikleri planlamada kullanılmamaktadır. Bunun bir sonucu olarak, orman ekosistemlerinde koruma ve kullanma dengesi sağlanamamaktadır.
- Uygulamadaki 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

Temelde bu sorunların çözümüne yönelik olarak gerçekleştirilen bu çalışma, sistem yaklaşımı çerçevesinde Ekosistem Tabanlı Çok Amaçlı Planlama yaklaşımı prensiplerini dikkate alan bilişim teknolojileri ve yöneylem araştırması teknikleri ile nesne tabanlı bir Karar Destek Sisteminin tasarımının ve uygulamasının geliştirilmesini hedeflemektedir. Orman amenajmanı KDS tasarımı; CBS tabanlı konumsal verilerin baz alınarak, optimal karar verme teknikleri yardımıyla karar vericilere stratejik ve taktiksel düzeyde seçenekler sunabilecek ve ekonomik analizler yapabilmesine hizmet edecek şekilde gerçekleştirilecektir. Türkiye ormancılık politikası ve sosyo-kültürel koşulları dikkate alınarak hazırlanacak olan orman amenajmanı KDS tasarımı, nesne tabanlı bir programlama tekniği ile bir pilot uygulaması yapılacak ve tasarımın uygunluğunun kontrolü ve faydaları ortaya konulacaktır.

Hazırlanan tez çalışmasının birinci bölümü olan teorik kısmında, orman amenajmanı ve KDS'leri ile doğrudan bağlantılı olan kavramlar tanıtılmıştır. Uygulama ayağının ele alındığı ikinci bölümde, orman amenajmanına yönelik bir KDS'nin geliştirilmesi için gerekli analiz ve tasarım aşamaları, KDS mimarisi ve bileşenleri (veri tabanı kurulması, işletme amaç ve hedeflerinin ortaya konulması, silvikültürel müdahalelerin belirlenmesi gibi) tanıtılmıştır. Simülasyon ve optimizasyon tekniğine dayalı geliştirilen KDS'nin

arayüz programı ile KDS'nin örnek bir planlama birimindeki pilot uygulaması üçüncü bölüm olan Bulgular kısmında ele alınmıştır. Son bölümde ise; ulaşılan sonuçlar, karşılaşılan darboğaz-açmazlar ve bunların aşılmasında izlenen/izlenecek yaklaşım ve yöntemlere değinilmiştir.

1.2. Temel Kavramlar

1.2.1. Ekosistem Tabanlı Çok Amaçlı Planlama (ETÇAP) Yaklaşımı

Ekosistem Tabanlı Çok Amaçlı Planlama anlayışı, 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; Yolasığmaz, 2004; Başkent vd., 2005; Yolasığmaz vd., 2005b):

- Planlama hedefleri ile işletme amaçları ve koruma hedeflerinin ortaya konulması: Orman ekosisteminden beklenen işletme amaç, hedef ve kısıtlayıcı koşulların (bütçe, zaman ve işgücü gibi) belirlenmesi. Orman işletme kararlarını etkileyen en önemli faktör, işletme sahibinin amaçlarıdır. Bu amaçlar ekonomik gelirin maksimizasyonu olduğu gibi orman ekosisteminin biyolojik bütünlüğünün sürdürülmesi ve geliştirilmesi şeklinde koruma hedefleri olarak da olabilmektedir. Burada en önemli husus, işletme amaçlarının ulusal ve uluslar arası amaçlar ve hedefler ile birlikte yasal bir zeminde ve paydaşların da katılımı ile toplumun ihtiyaçlarına karşılık verebilecek şekilde belirlenmesi gerekliliğidir. Dolayısıyla her bir orman ekosisteminden beklenen amaçlar arasında bir denge kurulması esastır.
- Orman ekosistem envanteri: Bu aşamada, orman ekosistemlerinin yapı ve kuruluşunun ortaya konulması ile birlikte, alan, topografya (eğim, bakı ve yükselti),

yetiştirme ortamı ve toprak tipleri, yol ulaşım ağı, su kaynakları, odun hammaddesi kaynakları, yaban hayatı kaynakları, odun dışı ürünler ile diğer ekonomik-ekolojik-sosyal değerler, orman ekosisteminde ki geçmiş ve mevcut işletme faaliyetleri ve orman ekosisteminde geçmişte meydana gelmiş yangın, hastalık, böcek ve aşırı otlamanın etkileri ile ileride meydana gelebilecek olası riskler şeklinde orman ekosistemi tanımlanmaktadır.

- Orman ekosistemlerinin sınıflandırılması: Orman amenajman planının hazırlanmasında hayati öneme sahip olan paydaşların (sivil toplum kuruluşları, devlet organları, meslek odaları ve yerel halk) ortak katılımının sağlanması ve Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemlerinden faydalanmak suretiyle konumsal veri tabanının kurulması ve orman ekosisteminin fonksiyonel ayırımının yapılması gerçekleştirilir.
- Amaç ve orman yapı ve kuruluşu arasındaki bağın kurulması: Orman ekosistemlerinin topluma sunduğu ekolojik, ekonomik ve sosyo-kültürel değerler (fonksiyonlar) doğrudan ormanların yapı ve kuruluşu ile bağlantılı olup, bu bağın ortaya konulması esastır. Burada en önemli husus, ormandan beklenen değerlerin ortaya konularak işletme amaçları ile fonksiyonel olarak ilişkilendirmektir. Yani beklenen her bir fonksiyonun (ürün ve hizmet) birim alandaki üretim/hizmet değerinin mevcut durum ve gelecekteki miktarının ortaya konulmasıdır.
- Orman amenajmanı planlama ilkeleri, uluslar arası gereklilik ve yasal zemine uygun olarak ortaya konur: Burada ulusal ve uluslar arası çağdaş ormancılık prensipleri ve gelişen ve değişen toplum gereksinimleri dikkate alınır. Uluslar arası sözleşmeler, ulusal kalkınma programları ve ormancılık sektör planları gibi yasal araçların belirlenerek planlamaya yansımaları dikkate alınır.
- Her bir koruma-kullanım şekli için uygun silvikültürel müdahale şeklinin belirlenmesi: Orman ekosistemlerinden en uygun yararlanma şekline göre sebep-sonuç ilişkilerini sayısal olarak kavramak gerekir. Burada, karar verme sürecinde silvikültürel bilgi ve yenilikçilik ön plana çıkmaktadır. Çünkü sürdürülebilir orman işletmeciliğinin başarısı, işletme stratejisinin doğal dinamik yapıya uygunluk yeteneğine veya işletme amacına göre doğal süreçleri başarıyla işlemesine bağlıdır. Uygulanan silvikültürel müdahale rejimlerinin orman dinamiğini zamana göre nasıl etkilediğinin kavranması gerekir.

- Uygun planlama tekniğinin seçilerek çok amaçlı faydalanmaya yönelik alternatif plan seçeneklerinin üretilmesi ve bunlar arasından en uygun olanının seçilmesi: Çok amaçlı planlamanın etkin bir şekilde gerçekleştirilmesi için, planlama probleminin yapısına bağlı olarak, en uygun karar verme tekniğinin seçilmesi ve farklı amaç, hedef ve kısıtlayıcı koşullara göre çok sayıda planlama seçeneklerinin üretilmesi gerekir. Türetilen planlama alternatifleri arasından en uygun olanının seçilmesinde yine, karar vericinin gereksinimleri (amaçlar ve tercihler) ve orman ekosisteminin yapı ve kuruluşu dikkate alınmak suretiyle, yine en uygun karar verme tekniği kullanılmak suretiyle en iyi plan seçilmelidir.
- En uygun seçeneğin oluşturduğu plan çıktılarını metin, tablo, grafik ve harita bazında sunulması: Burada kurulan model doğrultusunda her bir alternatifin olası zamansal sonuçları tartışılır ve uygun/uygulanabilir olanı, belirlenen ilkeler/format doğrultusunda plana/yazıya dökülür ve uygulamaya aktarılır.

1.2.2. Hiyerarşik Planlama: Stratejik, Taktiksel ve Operasyonel Planlama

Orman ekosistemleri topluma ve çevreye ekolojik, ekonomik ve sosyo-kültürel açıdan çok önemli olan ürün ve hizmetler sunmaktadır. Orman amenajmanı orman ekosistemlerinin çok amaçlı sürdürülebilir planlaması ve işletmeciliği için bu kapsamda karmaşık ve zor bir faaliyet olarak ortaya çıkmaktadır. Orman amenajmanında amaçların çoğu, zaman ve konum itibarıyla farklı ölçekleri kapsamaktadır (Boyland, 2007). Orman amenajman planlaması, doğada hiyerarşik olan bir karar verme sürecine göre işlemektedir. Bu hiyerarşik yapı stratejik, taktiksel ve operasyonel olmak üzere üç temel düzeye ayrılmaktadır (Weintraub ve Cholaky, 1991; Gunn, 1991; Murray ve Church, 1995; Başkent ve Keles, 2005; Sessions ve Bettinger, 2007).

Stratejik planlama süreçleri onlarca yılı kapsayacak şekilde rekreasyon, yaban hayatı habitatı, su üretimi ve odun üretimi hedefleri gibi uzun dönem amaçların sürdürülebilirliği (elde edilmesi) üzerine yoğunlaşmaktadır. Büyük ölçekli kaynak tahsislerinin yer aldığı uzun dönem amaçlar stratejik düzeyde belirlenir. Zaman, bir planlama birimindeki ağaç türlerine bağlı olarak genellikle baskın ağaç türünün idare süresinin bir veya katı uzunluğundadır (Weintraub ve Cholaky, 1991; Martell vd., 1998; Church vd., 1998; Sessions ve Bettinger, 2007). Taktiksel planlama, orta ölçekli bir zaman çerçevesini içermektedir. Bu düzeyde yöneticiler, stratejik amaçları taktiksel planlama süresi içinde

bu düzeydeki amaçlara dönüştürür. Burada hangi ölçümlerin gerçekleştirileceği ve bu amaçları başarmak için hangi araçların kullanılacağı ortaya konulur. Taktiksel planlama süresi uzunluğu genellikle bir veya iki periyot için kararlaştırılır. Taktiksel planlamada çoğunlukla, kısa bir planlama periyodu için optimal bir plan için ekosistem düzeyinde silvikültür, yol yapımı ve üretim faaliyetleri düzenlenir. Operasyonel planlamada ise, arazi üzerinde detaylı uygulama faaliyetleri yıllık veya mevsimlik olarak planlanmaktadır (Van Raffe, 2000; Başkent ve Keles, 2005; Sessions ve Bettinger, 2007). Üretime yönelik tipik bir operasyonel planlama, bir planlama biriminde belli bir süreyi (yıl, mevsim, dönem gibi) kapsamak suretiyle taktiksel plan doğrultusunda üretime alınan alanlardaki ağaçların kesilmesi, kesilen ağaçların rampalara taşınması ve onların bölmeden çıkarılması ve taşınması gibi faaliyetleri içermektedir (Boylard, 2007). Her bir planlama şekli diğerini hedef göstererek, fonksiyonel ilişkinin kurulmasını somutlaştırmaktadır. İç içe tanımlanmış bu üç planlama şekli birlikte gerçekleştirildiğinde ancak orman amenajman planlama süreci yaşanmış olmaktadır.

1.2.3. Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Kullanımı

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) orman envanteri, orman kaynaklarının izlenmesi, analiz edilmesi, modellemesi ve sunumu gibi pek çok ormancılık uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Ağaç türü, gelişim çağı, alan, tepe kapallığı, meşcere sıklığı, bonitet, toprak tipi ve işletme birimlerinin sınırları gibi konumsal verilerin CBS ortamında veri tabanının kurulması ile birlikte, planlamaya hizmet edecek çok sayıda tematik (konumsal) haritaları üretmek, türetmek ve sunmak mümkündür. CBS ile veriler zamanla güncelleştirilir, değişiklikler kaydedilebilir, analiz edilebilir ve tartışılabilir.

Orman envanteri için veri toplama teknikleri, arazi de yersel ölçümler ile örnekleme alanlarının seçilmesinden topoğrafik haritaların ve uzaktan algılama tekniklerinin kullanılmasına ve küresel konum belirleme sistemlerine kadar değişebilir. Orman envanter verileri toplanıp CBS ortamına girildikten sonra, bu veriler orman amenajmanı planlama uygulamalarında etkili bir şekilde kullanılmaktadır. CBS odun üretim, silvikültür, su koruma alanlarının biçimlendirilmesi, yaban hayatı türleri için gerekli alanların belirlenmesi, rekreasyon fırsatlarının güvenceye alınması, üretimin görsel kalite üzerine etkileri gibi çok sayıda faaliyetlerin gerçekleştirilmesine yardımcı olur. Kısaca, CBS planlamadaki tüm konumsal parametrelerin (yer, coğrafi bitişiklik, büyüklük, uzaklık-

yakınlık, komşuluk gibi) belirlenmesi, değerlendirilmesi ve planlamaya yansıtılmasında etkin olarak kullanılmaktadır.

Orman ekosisteminin konumsal yapısı grafik veya öznitelik gösterimlerle kolaylıkla ifade edilebilir. Birincil amacı konumsal veri sağlama olan CBS'nin en önemli fonksiyonu, grafik veri ile öznitelik verileri ilişkilendirerek coğrafi sorgulamalara çözüm bulma yeteneğinin olmasıdır (Wightman ve Baskent, 1994; Davis vd., 2001). Planlamada CBS, üretim birimlerinin şekli, homojenliği, büyüklüğü, komşuluğu ve konumsal dağılımı itibariyle ekosistemlerinin yapısının sayısal bazda tanımlanmasına yardım ederek konumsal planlamayı kolaylaştırır (Nasset, 1995, 1997). Konumsal veri tabanları sayesinde, belli özneliğe sahip alanlar, örneğin ölü ağaçların miktarı, dikili kuru ağaçların miktarı, değişik ağaç türlerinin alan itibariyle oranları kolaylıkla bulunabilir. Biyolojik çeşitliliği korumak için korunan ve işletilen önemli alanların etrafında koruma zonları oluşturulabilir. Yine CBS fonksiyonları vasıtasıyla, yükseklik, topografya, yollara ve binalara yakınlık, orman örtüsü, toprak haritaları ve iklim gibi mevcut verilerden habitatlar, ekosistem etkileşimleri ve tür zenginliği tahminlerini yapmak mümkündür (Nasset, 1995, 1997). Diğer taraftan, CBS ekolojik bağlantıların farklı ağları aracılığıyla alternatif üretim programlarının hazırlanmasında ve ekolojik olarak önemli habitat parçaları arasında ekolojik koridorların oluşturulmasında kullanılabilir (Kangas vd., 2000). Son olarak, CBS orman amenajmanı planlama faaliyetleri ile ilgili olan tüm haritaların hazırlanması ve gösteriminde son derece önemli bir role ve öneme sahiptir.

1.2.4. Orman Dinamiği

Orman ekosistemlerinin doğal gelişim seyri, sürekli olarak içten ve dışarıdan müdahalelere maruz kalmakta, bu müdahalelerin etkisiyle zamanla yapı ve fonksiyonlarında değişimler/bozulmalar meydana gelmektedir. Orman ekosistemlerine yapılan doğrudan veya dolaylı müdahaleler çoğunlukla silvikültürel müdahalelerden kaynaklanmaktadır. Aynı zamanda orman ekosistemlerinin yapı, kuruluş ve fonksiyonları üzerinde iklimik faktörler, cansız yetişme ortamı koşulları, yangın, böcek ve küçük mikroorganizmalar gibi doğal olaylar veya müdahaleler de önemli etkilere neden olmaktadır.

Orman dinamiği, farklı yetişme ortamlarında ve farklı gelişme çağlarında bulunan çok sayıdaki meşcere tiplerinin oluşturduğu bir orman alanının, bilinçli insan ya da doğal

müdahalelerle zamana ve mekâna göre yapı ve kuruluşunun değişmesini ifade eder. Orman bir biyolojik sistem olup, bir dizi biyolojik sebep – sonuç ilişkilerine göre çalışır. Sebep - sonuç ilişkilerinin bilinmesi ise orman gibi doğal ve karmaşık bir sistemin yönetilmesi için elzemdir. Örneğin, belirli bir zamanda, bir ormanda toplam meşcerelerin yarısı gençlik çağında diğer yarısı da kalın ağaçlık çağında olabilir. İnsan müdahalesinin olmadığı varsayılan bu ormanda yaşlı meşcereler birkaç periyot sonra genç meşcerelere, genç meşcerelerde kendilerini olgun meşcerelere bırakacaktır. Dolayısıyla, zamanla ormanın kuruluşu ve yapısı farklı olacağından sunacağı fonksiyonların miktarı, etkinliği de aynı zamanda faydalanmanın düzeyi de değişecektir. Ayrıca, ormana insan müdahalesi (gençleştirme, bakım, ağaçlandırma, koruya tahvil gibi) ve diğer yangın, fırtına, kar ve böcek gibi doğal olaylar da eklenirse, orman dinamiğinin daha karmaşık bir seyir çizdiği görülür. Çünkü bu dinamiği etkileyen çok sayıda etmen bulunmaktadır. Dolayısıyla orman dinamiğinin öncelikle kavranması gerekmektedir ki, sunabileceği ürün ve hizmet arzının zaman ve mekâna göre isabetli projeksiyonu yapılabilir ve gerçeğe daha yakın, uygulanabilir ve kabul edilebilir planlama ve işletmecilik yapılabilir (Başkent, 1999).

Orman ekosistemlerinin dinamik yapısı ve sunduğu değerler üzerinde etken olan silvikültürel müdahaleler, orman ekosistemlerinin yapı ve kuruluşunu belirleyen ve aynı zamanda faydalanmayı gerçekleştiren araçlardır. Çağdaş anlamda planlamanın yapı taşıdır. Orman ekosisteminin ağaç türü, kapalılık, gelişme çağları, verimlilik, eğim ve bakı gibi faktörlere göre nasıl sınıflandırılacağı, her bir meşcereye ne zaman, kaç tane ve ne tür alternatif müdahalelerin uygulanacağı ve her bir müdahale sonrası meşcere gelişim seyrinin sayısal olarak nasıl belirleneceği, teknik müdahalelerle ilgili önemli planlama ve işletme kararlarını oluşturmaktadır (Başkent vd., 2002b). Planlama yörüngesi boyunca her bir meşcereye uygulanabilecek alternatif müdahaleler mevcut durum, uygulanabilirlik, belirlenen silvikültürel amaçlar ve orman işletme amaçları doğrultusunda belirlenir. Silvikültürel müdahalelerin amacı, işletme amacını eniyileyecek şekilde meşcere gelişimini düzenlemek ve en iyi müdahale setini (rejimi) bulmaktır.

1.2.5. Karar Destek Sistemleri ve Orman Amenajmanında Kullanımı

Karar verme süreci karmaşık insan faaliyetlerinden biridir. Çoğu önemli karar verme süreçlerinde, birbiriyle çelişen veya çatışan faktörler olabileceği gibi, değişik alternatifler arasında çoğunlukla karmaşık bağlantılar ve ilişkiler bulunmaktadır. Kararlar genellikle bir

takım belirsizlik ve risk altında, yeterli veri kaynağı olmadan alınmaktadır. Yine, karar verme çoğunlukla büyük miktarda veri ve işlemlerin analizini zorunlu kılmaktadır. Karar Destek Sistemi, karar vericilere yardım edecek ve onlara değişik alternatifleri değerlendirme yeteneği sunacak bir araçtır.

KDS'lerinin temeli, modeller ve farklı işletme faaliyetlerinin sonuçlarını tahmin etmek ve yorumlamak için tasarlanan modelleme kalıplarıdır. Bu sistemler, modüler araçlar yardımıyla belirli karar alma organları veya kişileri için geliştirilirler. Stratejik, taktiksel ve operasyonel planlara düzeylerinde bir koordinasyon ve eşgüdüm sağlayarak stratejik kararların alınmasına hizmet etmektedirler. Belirli bir probleme özgü olarak geliştirilen KDS'leri, genellikle belirli kararların sonuçlarının değerlendirilmesine yardım eder ve verilen kararın belirlenen amaçları en iyi karşılmasını sağlayabilir. Diğer bir ifadeyle, KDS'leri farklı durumlarda ve farklı alanlarda karar verme sürecine yardım etmek için, teorik araştırmalara konudur ve geliştirilen bu sistemler uygulama alanlarında farklı problemlerin çözümünde kullanılmaktadır.

Bir KDS'nin geliştirilmesinde teori, metodoloji ve yazılım olmak üzere üç adımın izlenmesi gerekli olup, en önemli bileşenini karar vericiler oluşturmaktadır. Geliştirme aşamalarında KDS'nin başarısı ise, kullanılan yazılım ve donanım ile kuvvetli bir şekilde bağlantılıdır (Makowski, 1991, 1994).

Orman amenajmanında geliştirilen ve kullanılan KDS'leri, karar vericiler tarafından en uygun kararların alınması, karar vericinin kendi anlayışları ile bilgisayarların bilgi işleme yeteneklerini bütünleştiren bir modelleme sistemi olarak ortaya çıkmaktadır. Bu sistemler, orman ekosistemleri gibi gerçekte karmaşık olan sistemleri anlamayı kolaylaştırırken, onları bir bütün olarak değerlendirmeyi sağlarlar. Üstelik herhangi bir probleme optimal çözümler bulmakla birlikte, karar vericilerin alternatifler arasından en uygununa karar vermesine yardım ederler. Bunnell ve Boyland (2003) ve Rauscher (1999), KDS'lerinin farklı amaçlara hizmet ettiklerini belirtmektedirler. Bunlar; araştırmaya hizmet etmek, planlamaya rehber olmak, bilgi nakletmek ve planlamanın toplum tarafından değerlendirilmesini kolaylaştırmaktır.

Orman amenajman planlarının yapımına hizmet etmek amacıyla bugün gelişmiş ülkelerde, ormancılık alanında konumsal bilgiyi kullanarak yöneylem araştırması teknikleriyle bütünleştiren KDS'leri geliştirilmekte ve orman işletmelerince kullanılmaktadır. Bunlardan özellikle orman amenajman planlarının hazırlanmasına yönelik olarak geliştirilen KDS'leri Tablo 1' de verilmiş ve her birinin amacı ve özellikleri

kısaca açıklanmıştır. Bu KDS'leri özellikle Amerika, Kanada ve Finlandiya gibi ormancılığı gelişmiş ülkelerde orman amenajman planlarının hazırlanmasında etkili bir şekilde, orman işletmelerinde kullanılmaktadır. Bu sistemler, ormanların sunmuş olduğu pek çok değer/fonksiyonları aynı anda dikkate almakta, farklı optimizasyon ve simülasyon tekniklerini kullanmaktadır. Geliştirilen bu KDS'lerinin büyük bir bölümü çağdaş bilgi sistemleri ve özellikle CBS tarafından desteklenmektedir. Böylece, öznel verileri ile birlikte konumsal verilerin organizasyonu, sürekliliği, ulaşılabilirliği, güncelliği kolayca sağlanmakta ve en önemlisi konumsal analizler ve modellemeler yapılabilen, sonuçta planlamaya uygulanabilir statü kazandırılmaktadır. Üstelik bu KDS'leri zamanla değişen toplum ihtiyaçlarına karşılık vermek üzere güncelleştirilmektedir (Başkent ve Keleş, 2004; Başkent, 2005).

1.2.6. Orman Amenajmanında Modelleme

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

Simülasyon modellerinin aracılığı ile yapılacak silvikültürel müdahalelerin veya doğal olayların orman ekosistemlerinin yapı, kuruluş ve fonksiyonları üzerindeki etkileri büyük bir doğrulukla ve kolaylıkla tahmin edilebilmektedir. Modeller, orman ekosistemlerinin zaman ve mekân eksenindeki davranışlarını anlamaya ve öğrenmeye ve isabetli kararlar almaya yardımcı olurlar.

Tablo 1. Orman amenajman planlamasına hizmet etmek amacıyla geliştirilmiş bazı KDS'leri ve özellikleri

Model Adı & Yazarlar	Modelleme Teknikleri	Ülke	Diğer Özellikleri
TimberRAM (Navon, 1971; Chappelle vd., 1976; Alston ve Iverson, 1987)	Doğrusal Programlama	ABD	Doğrusal programlama tabanlı, odun hammaddesi kaynak tahsisi modelleme sistemidir. ABD ormancılık sektörü tarafından geliştirilmiş en eski doğrusal programlama tabanlı orman amenajmanı planlama modelidir.
MUSYC (Johnson ve Jones, 1980)	Doğrusal Programlama	ABD	Çok amaçlı sürdürülebilir hasılat planlama sistemi. Doğrusal programlama tekniğine dayalı olarak geliştirilmiştir. Bunun yerini çok kısa bir süre sonra FORPLAN ve daha sonra geliştirilen SPECTRUM modelleri almıştır.
FORPLAN (Johnson vd., 1986)	Doğrusal Programlama	ABD	Konumsal olmayan ve üretim planlaması problemleri için geliştirilmiş doğrusal programlama tabanlı bir sistemdir. ABD Ormancılık Birimi tarafından geliştirilmiş ve TimberRAM'e göre daha detaylı bir amenajman plan modelidir. Yaş sınıfları ve strata bazında bir planlama modelidir. Matris kurucu ve rapor yazıcıdan oluşmakta ve ticari matris çözücü yazılımla ilişkilidir. Odun hammaddesi kısıtları, yaban hayatı veya havza bazında su üretimi ile ilgili hedef veya kısıtların modele yansıtılması dolayısıyla çok amaçlı planlama özelliğine sahiptir. Uzun yıllar ABD de ormancılığında orman amenajman planlarının yapımında kullanılmıştır. Farklı versiyonları geliştirilmiştir.
TEAMS (Covington vd., 1988; Wood vd., 1989)	Doğrusal Programlama	ABD	Odun üretimi planlamasına yönelik, farklı senaryoların değerlendirilmesini sağlayan doğrusal programlama tabanlı bir sistemdir. Kullanıcılar tarafından özelleştirilen standartlar ve kılavuzlara uyacak ve belirlenen amaçları başaracak olan yetiştirme ortamına özgü programlar/planlar geliştirmede orman yöneticilerine yardım etmek için tasarlanan taktiksel bir planlama sistemidir. Müdahale alternatiflerinin çıktıları tahmin eder ve grafik, tablo ve haritalar şeklinde sonuçları sunar. Sistem dahilinde orman amenajmanı planlama problemlerine ilişkin matris kurucu görevini üstlenmekte ve yine ticari yazılım olan LINDO matris kurucu program yardımıyla planlama problemlerine çözüm sunmaktadır. CBS yazılımları ile bağlantı kurmak ve plan çıktılarını sayısal olarak görmek mümkündür.

Tablo 1 'in devamı

Model Adı & Yazarlar	Modelleme Teknikleri	Ülke	Diğer Özellikleri
SARA (Scott, 1991)	Doğrusal Programlama	ABD	Planlamaya yönelik, doğrusal programlama tabanlı matris kurucudur. Ticari çarşaf liste olarak isimlendirilen EXCEL gibi Microsoft ürünleri dahilinde, orman amenajmanı planlama problemlerine yönelik, doğrusal programlama tabanlı planlama modelleri geliştirilmektedir. Yine ticari yazılımlar olan LINDO ve CWHIZ gibi matris çözücü programlarla birlikte, problemlere sonuçlar elde edilmekte, sonuçlar ise rapor yazıcı aracılığıyla kullanıciya sunulmaktadır. İstenilmesi durumunda CBS yazılımları ile bağlantı saplanması, doğrusal programlama veri giriş ve çıktıların görsel olarak sunulması söz konusudur. Geniş planlama ölçeği kapsamında, kullanıcıların ekolojik-ekonomik mübadele analizleri yapmasına fırsat vermektedir.
SPECTRUM (Greer ve Meneghin, 2000)	Doğrusal Programlama Amaç Programlama Dinamik Programlama	ABD	FORPLAN'in varisi olup, çözüm sonuçlarına konumsal özellikleri tahsis eden doğrusal programlama sistemidir. Doğrusal programlama, amaç programlama ve dinamik programlama gibi diğer yöntemle araştırması tekniklerini de barındırıyor olması yenilikleri arasındadır. Ancak son derece karmaşık ve USDA planlama sistemine göre hazırlanmış olması kullanılabilirliğini menfi olarak etkilemektedir. Matris kurucu ve rapor yazıcı temel karakteristiktir. C-WHIZ adlı ticari matris çözücü programıyla bütünleşik çalışmaktadır. CBS yazılımı ile bağlantı kurulmak suretiyle planlamaya konumsal özelliklerin katılması mümkündür. Çok sayıda farklı işletme faaliyetleri veya silvikültürel rejimlerin orman ekosistemi ve yaban hayatı gibi diğer orman fonksiyonları üzerindeki etkilerini inceleme fırsatı sunmaktadır.
RELMdss (Church vd., 2000)	Doğrusal Programlama	ABD	SPECTRUM'dan aldığı uzun dönem planlama sonuçlarını kullanarak konumsal orman planlarının yapılmasına hizmet eden doğrusal programlama tabanlı bir modelleme sistemidir. SPECTRUM modelinden planlama problemlerine ilişkin elde edilen çıktılar kullanılmak suretiyle, konumsal analizlerin yapılmasına hizmet etmektedir. Çok sayıda alternatiflerin oluşturulması ve mübadele analizlerinin yapılması mümkündür.
HARVEST (Gustafson ve Crow, 1994, 1999; Gustafson ve Rasmussen, 2002; Gustafson vd., 2006)	Simülasyon	ABD	Meşcere parametrelerinden özellikle yaş sınıflarını dikkate alan, konumsal tabanlı (CBS) ve planlamaya yönelik simülasyon modelidir. HARVEST, çok az miktarda veriye ihtiyaç duyar ve kullanımı kolay olan raster tabanlı bir modeldir. Alternatif üretim stratejilerinin orman yaş sınıfı dağılımı, çekirdek ve kenar habitatların konumsal dağılımı ve son orman ekosisteminin patch dağılımı/yapısı üzerine etkilerini değerlendirmek için geliştirilmiştir. Son yıllarda bu modele farklı yazılımların (SPECTRUM) yansıtılması ile odun üretimine yönelik amenajman planlama modülleri geliştirilmiştir.

Tablo 1 'in devamı

Model Adı & Yazarlar	Modelleme Teknikleri	Ülke	Diğer Özellikleri
LANDIS (Gustafson vd., 2000)	Simülasyon	ABD	İçerisinde odun hammaddesi üretimi bulunan; önemli ekolojik süreçler ve bunların konumsal etkileşimlerini uygun geçerlilikte sürdürerek orman vejetasyonunun yapı/desenindeki uzun dönem değişiklikleri simüle eden bir sistemdir. Raster tabanlı bir modeldir. Yaş sınıfları LANDIS için önemli bir ölçüt olmakta, uzun dönem orman ekosistemi projeksiyonu bu ölçüt üzerinden yapılmaktadır. Farklı silvikültürel müdahaleler altında, meşcereler bir takım ekolojik (meşcere yaşı) ve ekonomik kısıtlara göre kesime alınmaktadır.
LAMPS (Bettinger ve Lennette, 2004)	Simülasyon	ABD	Belirli bir bölge için geliştirilmiş konumsal simülasyon modelidir. Kullanıcılar tarafından alternatiflerin geliştirilmesi ve bunların orman ekosistemlerinin ekolojik ve ekonomik kaynakları üzerindeki etkilerini öğrenmelerini sağlamaktadır. Zaman boyutunda ekosistem yapısındaki değişiklikler ile bu değişikliklerin yaban hayatı ve rekreasyon gibi orman fonksiyonları üzerindeki etkilerini tahmin etmektedir. Sosyo-ekonomik ve ekolojik bilgiler ekosistemdeki faaliyetleri izlemek için kullanılmaktadır. Uzun bir planlama yürügesinde, büyük ölçekli alanlarda, yüksek değişkenlikte orman koşullarında ve tüm arazi sahiplerinin varlığında çalışabilmektedir. Deterministik yapıda simülasyon modeli olup, taktiksel ve stratejik planlar arasında bağ kurabilmektedir. Müdahale alanı büyüklüğü, erteleme süresi ve koruma zonlarına özel müdahale seçenekleri gibi belirli sayıda konumsal özelliklerin kullanımını mümkündür.
JLP/J/MELA (Lappi, 1992; Redsven vd., 2005)	Doğrusal Programlama	Finlandiya	MELA meşcere düzeyinde simülasyon ile meşcere düzeyinde müdahale alternatiflerinin oluşturulması ve doğrusal programlama tabanlı orman düzeyinde planlama modelidir. Ormanların üretim potansiyelinin ne olduğu ve önceden belirlenen amaçları elde etmek için meşcerelerin nasıl işletilmesi gerektiği gibi sorunların çözümlenmesine yardım eden programdır. JLP ve bir değişik versiyonu olan J ise, meşcerelerin farklı müdahale seçenekleri altında artım ve büyüme potansiyelinin belirlenerek, doğrusal programlama tabanlı en iyi çözümün elde edilmesine yardımcı olmaktadır. MELA planlama sistemine gömülü olarak kullanılmaktadır.
MONSU (Pukkala, 2004)	Genetik Algoritma Tavlama Benzetimi Tabu arama Cellular Automato Rastgele Arama	Finlandiya	Ormanlardan çok amaçlı faydalanmak amacıyla geliştirilmiş hesaplama ve planlama programıdır. Odun ve odun dışı ürün ve hizmetleri (mantar ve böğürtlen, rekreasyon, görsel kalite, yaban hayatı) aynı anda hesaplama ve planlamaya dahil etme yeteneğine sahiptir. Model, içerisinde konumsal ve konumsal olmayan özellikleri planlamada bütünleştirebilme özelliğine sahip, farklı modelleme algoritmalarını (tabu arama, tavlama benzetimi, genetik algoritma, rastgele arama ve bunların kombinasyonları) barındıran farklı modüllere sahiptir.

Tablo 1'in devamı

Model Adı & Yazarlar	Modelleme Teknikleri	Ülke	Diğer Özellikleri
MOTTI (Hynynen vd., 2005)	Simülasyon	Finlandiya	Meşcere düzeyinde simülasyon modelidir. Orman işletme faaliyetlerinin meşcerelerin dinamik yapısı üzerine etkilerini değerlendirmeye fırsatı sunmaktadır. Biyokütle üretimi, karbon birikimi ve Biyoçeşitlilik amaçlarını tahmin eden bileşenlere sahiptir. Temel modülü, meşcere düzeyinde simülasyondur ve mevcut orman düzeyinde envanter verileri ile kullanıcı tanımlı ekonomik verileri kullanılmaktadır.
FORMAN GISFORMAN LANDMAN (Wang vd., 1987; Jordan ve Baskent, 1992)	Simülasyon	Kanada	FORMAN, envanter projeksiyon modeli olup uzun zamanlı stratejik plan yapmaya yönelik bir simülasyon modelidir. Müdahalelerin tipini, zamanını ve miktarını kontrol etmeyi sağlarlar. Uzun dönem kestirim yapmayı sağlayan bu model ile birlikte, kestirim süreci belli bir stratejiyi uygular, her bir meşcere/üretim birimi için müdahale zamanı ve miktarını kayıt eder ve orman için performans göstergeleri hesaplar. GISFORMAN, konumsal özellikleri dikkate alarak, odun üretim planlamasına hizmet eden simülasyon modelidir.
WOODSTOCK (Walters, 1993)	Simülasyon Doğrusal Programlama Kombine Optimizasyon	Kanada	Üretim planlama ve odun hammaddesi üretim analizi, yaban hayatı ve orman ekosistemlerinin simülasyonunda kullanılan orman modelleme sistemidir. Meşcere bazında sonuç vermemektedir, konumsal özellikler hariç tutulmuştur. Ancak, bu program ile irtibatlı çalışan ve yine aynı firmanın ürettiği STANLEY programı geliştirilmiştir. Bu program herhangi bir doğrusal programlama tekniği sonucu geliştirilen strata bazlı sonuçları meşcere bazına dağıtabilmektedir. Orman amenajmanı piyasasında ciddi etkileri olan ve geniş kullanım kitlesi barındıran WOODSTOCK/STANLEY programı aynı zamanda CBS ile yanıtılarak SPATIALWOODSTOCK programı geliştirilmiştir. Bu program şu anda çok sayıda geliştirilmiş CBS programlarının yaptığı bazı konumsal işlemleri kendisi yapabilmektedir.
ATLAS (Nelson, 2000; Perdue ve Nelson, 2000; Nelson, 2003)	Simülasyon	Kanada	Orman düzeyinde üretim tabanlı simülasyon modelidir. Orman yollarını ve temel üretim birimlerini konumsal olarak ele almaktadır. Üretimi düzenleyici konumsal olmayan kısıtlardan, müdahale alanı büyüklüğü kısıtları ve üretim birimleri arasındaki komşuluk kısıtlarına kadar çok sayıda amaçlar/hedefler veya kısıtlayıcılar modele dahil edilebilir. Meşcereler veya poligonlar en yaşlıdan kesmek gibi belirli kesim önceliklerine göre, kullanıcı tarafından belirlenen hedefler doğrultusunda kesilme suretiyle çalışmaktadır. Model sonuçlarını görsel olarak izlemek ve değerlendirmek, orman yollarının planlamaya dahil edilmesi önemli avantajlarıdır.

Tablo 1'in devamı

Model Adı & Yazarlar	Modelleme Teknikleri	Ülke	Diğer Özellikleri
SFMM (Davis, 1999)	Doğrusal Programlama	Kanada	Stratejik düzeyde orman işletme alternatiflerinin planlanması ve analizini sağlamaktadır. Konumsal olmayan bir modeldir. Doğrusal planlama tabanlı olup, model çözüm sonuçları konumsal üretim tahsisini sağlama yeteneğine sahip olan STANLEY konumsal planlama yazılımı ile bağlantı kurulmak suretiyle, bir ölçüde konumsal model olma özelliğini taşıyabilmektedir. Kanada'nın belirli bir bölgesinde kullanılmak amacıyla geliştirilmiştir. Meşcerelerin hasılat ve büyümesine teşkil edecek envanter verilerine ilaveten, yaban hayatı sürekliliği ve biyoçeşitlilik ile doğrudan ilişkili sayısal performans ölçütleri geliştirilerek çok amaçlı planlama özelliğini muhafaza etmektedir.
ECHO (MMFA, 2001)	Doğrusal Programlama Tavlama Benzetimi	Kanada	Farklı zamansal ve konumsal ölçeklerde, tüm modelleme tekniklerini (simülasyon, optimizasyon ve kombine optimizasyon) kullanan ekosistem tabanlı konumsal bir karar destek sistemidir. Bu amaçla geliştirilmiş ve birbiriyle bağlantılı MODEL A, MODEL B ve MODEL C olmak üzere hiyerarşik yapıda üç modüle sahiptir. Aynı zamanda bir matris kurucu özelliğine sahip olup, ticari matris çözücü programla bağlantısı bulunmaktadır. Doğrusal programlama ve kombine optimizasyon tabanlı planlama modelleri aracılığıyla, konumsal ve konumsal olmayan çıktıları ifade eden orman/meşcere karakteristilerinin farklı işletme faaliyetleri altındaki dinamik yapısını karşılaştırma imkanı sunmaktadır.
HABPLAN (NCASI, 2006)	Doğrusal Programlama Tavlama Benzetimi Genetik Algoritma	Kanada	Hem konumsal hem de konumsal olmayan planları yapılabilmektedir. Aynı anda stratejik ve taktiksel plan yapma özelliği mevcuttur. Binlerce poligon ve her bir poligona yüzlerce işletme rejimi uygulama imkanı vermektedir. Poligon bazında çalışması en uygun şekilde konumsal planlama yapma imkanı sunmaktadır. Tavlama benzetimi ile genetik algoritma modelleme yapısına benzeyen ve metropolis olarak adlandırılan bir çözüm algoritmasına sahiptir. Bununla birlikte, sistem içerisinde doğrusal programlama modülü de içermek suretiyle, konumsal tabanlı planlama problemlerinin çözümünün, doğrusal programlama tabanlı planlama problemleri çözüm çıktıları ile karşılaştırma imkanı sunmaktadır.
AVVIRK (Hobbelstad ve Hofstad , 1988)	Simülasyon	Norveç	Farklı işletme ve yatırım rejimleri altında, hasılat ve ekonomik çıktıları hesaplayan stratejik düzeyde planlama modelidir. Deterministik simülasyon modelidir. Kullanıcı tarafından yapılan zonlama sonucu oluşan meşcereler temel üretim birimi olarak alınmakta, orman envanter verileri ve kullanıcı tarafından belirlenen amaç ve hedeflere bağlı olarak, uzun bir planlama yörüngesi boyunca yatırım, gelir ve karlılık analizlerinin gerçekleştirilmesini sağlamaktadır.
SAGALP (Chen ve Gadow, 2001)	Doğrusal Programlama Tavlama Benzetimi Genetik Algoritma	Almanya	Kullanıcı tarafından girilen ortak bir veri tabanı aracılığıyla, çok sayıda basit orman amenajmanı planlama problemlerine çözüm bulmak amacıyla geliştirilmiş bir sistemdir. Doğrusal programlama, tavlama benzetimi ve genetik algoritma modüllerini içermekte olup modüller bir yapıya sahiptir.

Zamana göre ormanın dinamik yapısını tanımlayan bu modeller, orman amenajman planlarının biyolojik olarak geçerliliğini de etkilemektedir. Karar verme sürecinde alternatifler oluştururken, müdahaleler karşısında orman ekosistemlerindeki değişikliklerin izlenmesi, orman ekosistemlerinin sunduğu değerlerin zamana göre seyrinin takip edilmesi ve dolayısıyla en iyi ve uygun planların yapılmasında farklı modelleme teknikleri kullanılmaktadır. Bu tekniklerin her birinin kendine has avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Modelleme tekniklerinin orman amenajmanında kullanılmasında çok sayıda alternatiflerin türetilmesi ve bunlar arasından en iyisinin seçilmesi en önemli avantajını oluşturmaktadır. Planlamanın içeriğine ve özelliğine göre Ekosistem tabanlı çok amaçlı planlama da simülasyon, optimizasyon ve kombine optimizasyon teknikleri kullanılmaktadır.

1.2.6.1. Simülasyon Modelleri

Simülasyon, teoriksel yada gerçek fiziksel bir sisteme ait neden sonuç ilişkilerinin bir bilgisayar modeline yansıtılmasıyla, değişik koşullar altında gerçek sisteme ait davranışların bilgisayar ortamında izlenmesini sağlayan bir modelleme tekniğidir. Bir simülasyon modeli, temel olarak “ne-eğer” (“what-if”) analizlerinin yapılmasını sağlayan bir araçtır. Kullanıcısına değişik tasarım ve işletim stratejilerinin genel sistem performansı üzerindeki etkisini gösterir (Başkent, 2004). Simülasyon, deterministik ve stokastik olarak ikiye ayrılır. Deterministik simülasyon, bir sistemin gelecekteki durumunun mevcut bilgilerden hareketle ortalama olarak tahmin edilebileceğini varsayar. Stokastik bir simülasyon modeli ise bütün tahminlerin belirsizliğini açık bir şekilde kabul eder. Örneğin, bir ağacın veya meşcerenin yıllık artımı, hava hallerindeki tahmin edilemeyen değişiklikler nedeniyle değişebilir. Diğer bir ifadeyle, zamanla ortaya çıkacak olayların belirli olasılık dahilinde olabileceği savı ya da gerçeği üzerine kurulur.

Simülasyon, ormanın dinamik yapısının modellenmesinde önemli bir yer teşkil eden sezgisel bir yaklaşımdır ve karmaşık matematiksel kuramlardan uzaktır. Öncelikle, ormanın mevcut kuruluşu tanımlanır, işletme amacı belirlenir, potansiyel teknik müdahale yahut işletme tekniklerinin meşcereye 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 (periyot) verilecek kararlar diğer periyotlardaki muhtemel etkisi kestirilmeden alınmaktadır (Başkent, 2004).

Simülasyon modelleri, karar vericilere çok büyük esneklikler sağlamaktadır. Modellerin geliştirilmesi, kullanımı ve elde edilen sonuçların yorumlanması oldukça kolaydır. Orman ekosistemleri gibi dinamik yapısının anlaşılması çok uzun bir zaman gerektiren sistemlerin ortaya konulması, izlenmesi ve neden-sonuç ilişkilerinin belirlenmesine yardımcı olurlar. Herhangi bir sistemin bir bütün olarak incelenmesine fırsat sağlarlar. Diğer bir önemli özelliği ise, karar vericilerin alternatifler üretmesine ve bu alternatifler arasından en iyi olanlarını seçmesine yardımcı olmasıdır. Ancak, bu yaklaşım tarzı, karmaşık problemlerin çözümünde yetersiz kalmaktadır. Alternatif stratejilerin geliştirilmesini sağlamalarına rağmen, tek başlarına bir çözüm üretmezler ve genellikle simülasyon modellerine ilişkin programların geliştirilmesi zordur. Doğrusal programlama, amaç programlama ve tamsayı programlama teknikleri gibi matematiksel anlamda sınırları belirlenmiş bir çözüm algoritmasına sahip değildirler. Simülasyon yöntemi zaman içerisindeki periyotlar-arası mübadeleyi ele almakta yetersiz olduğu için optimal bir çözüm üretmez. Ayrıca birden fazla amacın eniyilemesinde simülasyon modelleri yetersiz kaldığından etkin değildirler. Oysaki, orman amenajmanında birden fazla amaç yer almaktadır; bunların bir çoğu birbiriyle çelişmekte, konumsal özellik içermektedirler ve genellikle optimal ya da optimale yakın çözümler gerektirmektedirler (Başkent, 2004).

1.2.6.2. Optimizasyon Modelleri

Optimizasyon teknikleri, bir yahut birçok amacı içeren optimal çözümler sunmakta ve karar vericiler tarafından doğal olarak daha cazip görünen modelleme teknikleridir. Optimizasyon tekniklerinin önemli özellikleri; planlamayı bir bütün olarak ele alması, çözüme sistematik yaklaşması ve optimal (en iyi) çözümü garantilemesidir. 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 bir alternatif müdahale listesi hazırlanır. Modelleme tekniği ise, hazırlanan bu listeden belirlenen amacı yahut amaçları eniyileyen tek bir seçeneği çözüm olarak belirler. Optimizasyonda dikkat edilecek önemli husus,

planlayıcının potansiyel 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). Optimizasyon tekniklerinin sunduğu duyarlılık analizi ile problem kapsamında zamanla meydana gelebilecek risk ve fırsatların plan çıktıklarına etkileri, etkin bir şekilde incelenebilmekte ve karar yelpazesi genişletilebilmektedir.

Orman amenajmanı planlama problemlerinin çözümünde en çok kullanılan optimizasyon teknikleri Doğrusal Programlama (DP), Amaç Programlama (AP) ve Tamsayı Programlama (TP) olarak göze çarpmaktadır. Doğrusal Programlama; amaç fonksiyonu ve kısıtlayıcıların doğrusal fonksiyonlar olarak yer aldığı problemlerin çözümü için kullanılan bir modelleme tekniğidir. Doğrusal programlama modelinde yer alan kısıtlayıcılar eşitlik veya eşitsizlikler şeklinde olabilir. Doğrusal programlama tabanlı modellerde, tek ve öne çıkan bir amaç eniyilenirken (ekonomik gelirin eniyilenmesi veya en yakın mesafenin bulunması gibi), diğer amaçlar (periyodik olarak eşit eta üretimi, su üretiminin veya toprak kaybının belirli bir hedefte tutulması gibi) kısıtlayıcılar olarak modele dâhil edilir. DP modelinin ETÇAP içerikli farklı ormancılık uygulamalarını, Parades ve Brodie (1988), Hof ve Baltic (1990), Nalli vd. (1996), Rowse ve Center (1998), Gül (1998), Strange vd. (1999), Hof ve Bevers (2000), Eid vd. (2001), Keleş (2003), Zhou ve Gong (2003), Yolasığmaz (2004), Keleş vd. (2005a), Keleş ve Başkent (2006), Keleş ve Başkent (2007), Keleş vd. (2007) çalışmalarında görmek mümkündür.

Amaç Programlama; birden fazla amacın yer aldığı karar verme durumlarında kaynakların en uygun tahsisini yerine getiren bir modelleme tekniği olarak öne çıkmaktadır. Genellikle orman kaynaklarının çok amaçlı planlanmasında birden fazla amaç söz konusu olup, çoğunlukla bu amaçlar birbiriyle çelişmekte veya çatışmaktadır. Örneğin, odun üretimi amacının ana amaç olduğu ormanlarda, toprak kayıpları artmakta veya Biyoçeşitlilik olumsuz yönde etkilenebilmektedir. Oysaki günümüzde, orman ekosistemlerinin sunmuş olduğu değerlerden en uygun karışımın sağlanması temel amaçtır. Bu kapsamda amaç programlama, birden fazla amacı aynı anda dikkate alabilmektedir. Amaç programlama karar vericinin her bir amaç için belirli bir hedef belirlemesine izin

vermektedir. Planlama modelinin çözümü, bu hedeflerden olan sapmanın en aza indirilmesidir. Amaç programlama, doğrusal programlama modelinin farklı bir versiyonu olmasına rağmen, doğrusal programlama ile kıyaslandığı takdirde bazı üstünlük ve eksiklik/yetersizliklere sahiptir. Farklı birimlere (m^3 , ha, ton, TL) sahip olan birden fazla amacın amaç fonksiyonunda yer alması, istisnai durumlar hariç (mutlak/katı kısıtlayıcıların modele eklenmesi gibi) mutlaka uygun bir çözümün elde edilmesi bu tekniğin önemli üstünlükleri olarak ortaya çıkmaktadır. Ancak, amaç programlamada her bir amacın öncelik ve ağırlığının belirlenmesi önemli bir aşamadır. Bunların açık ve kesin bir doğrulukta ve duyarlılıkta belirlenmesi ise oldukça zor olup, farklı çok ölçütlü karar verme tekniklerinin (Analitik Hiyerarşi Süreci gibi) kullanılmasını gerektirmektedir. Dolayısıyla, her bir amacın diğer amaca göreceli üstünlüğü ve önceliği tam olarak belirlenmediği sürece AP tekniğinin kullanılması yerinde gözükmemektedir. Bu durumda, değiştirilmiş doğrusal programlama tekniğinin kullanılması öne çıkmaktadır. AP tekniğinin ETÇAP uygulamaları Bartomeu ve Romero (2001), Mısır (2001), Diaz-Balterio ve Romero (2003), Keleş vd. (2005b) çalışmalarında görülmektedir.

Tamsayılı Programlama; orman ekosistemlerinden ekosistem tabanlı çok amaçlı planlama kimi durumlarda farklı problemler nedeniyle tam olarak sağlanamamaktadır. Günümüzde, konumsal özellikler karar vericilerin planlamada dikkate alması gereken önemli konulardır. Örneğin müdahale alanlarının büyüklükleri, yaban hayatı koridorlarının oluşturulması, komşu meşcerelerin veya kesim alanlarının belirli süreler kapsamında ertelenmesi örnek olarak verilebilir. Yine, çoğu durumlarda; örneğin üretime alınacak meşcere alanları, satın alınacak malzeme miktarı veya çalıştırılacak işçi sayısı gibi kaynak tahsislerinde değişkenlerin tamsayılı olması gerekir. Çünkü doğrusal programlama tabanlı planlama problemlerinin çözümü sonucunda elde edilen ondalıklı değerlerin (3,5 işçi gibi) gerçek hayatta uygulanması bir hayli zordur. Bu problemleri ise tamsayılı programlama veya onun değişik versiyonları (örneğin karışık tamsayı programlama) ile aşmak mümkündür. Tamsayılı programlama modelleri genelde üç ana sınıfa ayrılmaktadır. Bunlar; tüm değişkenlerin tamsayılı değer aldığı tamsayılı doğrusal programlama, bazı değişkenlerin tamsayılı bazılarının sürekli değerler aldığı karışık tamsayılı programlama ve kaynakların sadece bir değişkene atandığı 0–1 tamsayılı programlamadır. Orman amenajmanında tamsayı programlamayı gerektiren durumlar genelde üretime alınan meşcere alanlarının zamana göre bölünmemesidir. Doğrusal programlama tekniğinin ürettiği bölünebilir sonuç tamsayı programlama ile giderilebilmektedir. Ancak, bu

durumda problemin boyutu ve çözüm süresi artmakta ve zamanla çözülemez durum oluşmaktadır. TP tekniğinin ETÇAP uygulamalarını Hof vd. (1994), Cox ve Sullivan (1995), Bevers ve Hof (1999), McDill ve Braze (2000), Keleş vd. (2005c), Nieuwenhuis ve Tiernan (2005) ve Tiernan ve Nieuwenhuis (2005) çalışmalarında görmek mümkündür.

1.2.6.3. Kombine Optimizasyon Modelleri

Farklı içerik ve yapıdaki problemlerin çözümünde en uygun karar destek sistemlerinin yahut karar verme tekniklerinin kullanılması yöneylem araştırması disiplinin bir gereğidir. Karmaşık problemlerin; zaman, alternatif hareket biçimleri ve mekan boyutunda ele alındığında bütünsel yapı sergiledikleri görülecektir. Bu tip problemlerde, problem boyutu arttıkça karar seçenekleri sayısı exponansiyel hatta faktöriyel olarak büyük rakamlara ulaşmakta ve dolayısıyla bütün seçeneklerin değerlendirilmesi mümkün olamamaktadır. Sadece odun üretimi amacı ve tek işletme tekniği esas alınsa bile, planlama probleminin boyutu exponansiyel olarak hızla artmaktadır. Her bir alternatifi matematiksel olarak modellemek birçok durumda imkansız olduğundan, doğrusal programlama ve amaç programlama gibi deterministik-tanımsal algoritmalar yahut matematiksel programlamalar bu büyüklükteki problemleri çözmekte yetersiz kalmaktadır (Başkent, 2004). Özellikle konumsal planlama problemlerinde, özellikle biyolojik çeşitliliğin planlamaya dahil edilmesi gerektiği ve doğrusal olmayan ilişkilerin bulunduğu büyük ölçekli planlama problemlerinin çözümünde günümüzde kombine optimizasyon teknikleri kullanılmaktadır (Başkent ve Keleş, 2005). Bunlardan en önemlileri Monte Carlo tamsayılı programlama (Nelson ve Brodie, 1990), tavlama benzetimi (Başkent ve Jordan, 2002), tabu arama (Bettinger vd., 1997), genetik algoritma (Bettinger vd., 2002), Threshold Accepting (Pukkala ve Heinonen, 2006), Cellular Automata (Mathey vd., 2007) ve dinamik programlamadır (Hoganson ve Borges, 1998). Son zamanlarda geliştirilmiş ve kullanılmakta olan bu teknikler pek çok avantaja sahiptir. Çok kısa zaman ve maliyette çok sayıda uygun çözüm bulma fırsatı sunarlar. Bu tekniklerin faydaları sadece büyük ölçekli çok periyotlu planlama problemlerini çözmek olmayıp, problemlerin formüle edilmesinin matematiksel optimizasyon tekniklerinin aksine çok basit olması ve esnekliği diğer avantajlarıdır (Baskent ve Keles, 2005). Komşuluk kısıtlarının ve erteleme sürelerinin planlamaya dahil edilmesi (O'Hara vd., 1989; Nelson ve Brodie, 1990; Daust ve Nelson, 1993; Lockwood ve Moore, 1993; Murray ve Church, 1995; Hoganson ve Borges, 1998;

Richards ve Gunn, 2000; Baskent vd., 2000), yaban hayatı koşullarının planlamaya dahil edilmesi (Bettinger vd., 1997; Bettinger vd., 1998; Bettinger vd., 1999; Moore vd., 2000; Liu vd., 2000; Bettinger vd., 2003; Nalle vd., 2004), orman yollarının planlamaya dahil edilmesi (Nelson ve Brodie, 1990; Murray ve Church, 1995; Weintraub vd., 2000; Richards ve Gunn, 2000), kombine optimizasyon tekniklerinin ekosistem tabanlı çok amaçlı planlamadaki önemli kullanım alanlarıdır. Bu ve benzer avantajlarının yanı sıra, en iyi sonucun garantilenememesi kombine optimizasyon tekniklerinin matematiksel (örneğin doğrusal programlama) programlama tekniklerine göre en önemli dezavantajlarından biridir. Diğer bir ifadeyle kombine optimizasyon teknikleri optimale yakın sonuçların elde edilmesini sağlarlar.

1.2.7. Nesne Tabanlı Programlama

Orman amenajman planlarının modelleme tekniği ile hazırlanması için bir programlama tekniğine ihtiyaç vardır. Geleneksel düz ve sıralı programlama (örneğin, FORTRAN, BASIC) tekniklerinin kullanılmasında, çok özellikli ve fonksiyonlu problemlerin programlamasında bir hayli büyüyen program kodlarının yönetimi imkansız hale gelmektedir. Karmaşık durum alan programlara yeni bir özelliğin eklenmesi, programın taşınması ve güncellenmesi gibi olağan etkinlikler geleneksel programlama tekniklerinde bir hayli zordur. Bunun yerine günümüzde nesne tabanlı tasarım ve programlama teknikleri kullanılmaktadır.

Nesne tabanlı bakış açısı, bütün verileri ve üzerinde yapılan işlemleri bir ekosistemde yaşayan canlıların birbirleri ya da çevreleri ile olan etkileşimleri olarak görmektedir. Nesne tabanlı bakış açısında iletişim olgusu esastır ve her bir nesneyi etrafındaki nesnelere ilişkiye getirilerek tanımlanır. Bu türdeki yaklaşımlara bütüncül yaklaşım denilmektedir. Bütüncül yaklaşımı, çözümlenmeden uygulamanın bakımına kadar her yerde ve anda uygulamak mümkündür. Bütüncül yaklaşımla birlikte gelen ilave işlemler ise (Güngören, 2005):

- Probleme ait belirgin soyutlamalar
- Gerçek dünya nesnelere simgeleyen kavramsal nesnelere
- Evrimci ve adımca geliştirme
- Nesne tabanlı programlama tekniği ile uyumlu geliştirme
- İlerde yeni ve değişen gereksinimlere uyum göstermek için geliştirme

- Yeniden kullanabilmek için geliştirme

Nesne tabanlı programcılığın çıkış noktası doğa olup, gerçek dünyadaki somut nesnelerin, bir yazılımın sunmuş olduğu soyut modelde birer karşılığının olması esasına dayanmaktadır. Bu karşılıklara da nesne adı verilmektedir. Yani nesne tabanlı programlama ile birlikte gerçek dünyadaki varlıklar ile bu varlıkların yer aldığı ilişkilerin bire bir modellenmesi ve bu modele göre kodların yazılmasıdır (Köseoğlu, 2004; Güngören, 2005). Nesnelere belirli temel işlevlere sahip yapı taşlarının bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Bunlara aynı zamanda nesnelerin özellikleri adı verilmektedir. Nesnelerin sahip olduğu yapı taşlarının özelliklerin değiştirilmesi ise nesnelerin farklılaşmasına neden olmaktadır (Köseoğlu, 2004; Güngören, 2005).

Nesne tabanlı programlamada öncelikle, üzerinde işlem yapacağımız nesnelerin oluşturulması ve tanınması gerekir. Nesnelerin programda nasıl oluşturulacağı dilden dile farklılık gösteren ve önemli bir teknik bir detaydır. Ancak her durumda, nesnenin oluşturulması için bir plana ihtiyaç vardır. Bu plana sınıf adı verilir. Sınıf, ortak özellikleri ve davranışları olan nesnelerin söz konusu ortak özelliklerini ve ortak işlevlerini barındıran soyut bir kavramdır. Yani bir sınıf temel olarak bir tanımdır. Bir özellik ve işlev yığını sunar ve bu yığına topluca erişmemiz için bize birer isim verir. Bu ismi taşıyan nesnelere bu yığındaki özellik ve işlevlere sahip olurlar. Bu ilişkiyi nesne sınıfa aittir diyerek açıklarız. Tanıma öbür ucundan bakarsak eğer bir nesne bir sınıfta tanımlanan özellik ve davranışlara sahipse de o sınıfa aittir. Sınıf nesne ilişkisinde sıklıkla kullanılan bir diğer deyim de bir nesnenin ait olduğu sınıfın bir öbeği olmasıdır. Bir nesne ise kısaca, uygulama çalışırken bellekte ya da başka bir kayıt ortamında (dosya, veri tabanı vs) bulunan ve ait olduğu sınıfın tanımladığı davranış biçimlerine uyan bir örnektir (Güngören, 2005).

Nesne tabanlı programlamayı önemli ve avantajlı kılan ve aynı zamanda sıralı-yapısal programlamadan ayıran bir takım önemli özellikleri bulunmaktadır. Bunlar (Köseoğlu, 2004; Güngören, 2005):

- Miras Alma (inheritance): Bir sınıfa ait özellikler veya işlemlerin yeni sınıflar tarafından bire bir aktarılması olarak açıklanabilir. Bununla birlikte, yeni sınıf eski sınıftan aldığı özellik ve işlemlere sahip olmakla birlikte ek olarak kendisi de özellikler ve işlemler tanımlayabilir, miras aldığı özellik ve işlemleri değiştirebilirler. Böylelikle çok biçimlilik için bir kapı açılırken kod paylaşımı da sağlanır. Örneğin hayvanlar adlı bir sınıf ve bu sınıftan türetilmiş vahşi hayvanlar ve evcil hayvanlar adlı alt sınıflar türetildiğini varsayalım. Bu durumda vahşi hayvanlar ve evcil hayvanlar alt

sınıfları hayvanlar sınıfının tüm özellik (tür adı, göz rengi gibi) ve metodlarına (yemek, üremek gibi) kalıtım yoluyla sahip olur. Böylelikle kod tekrarı önlenmiş olur. Diğer taraftan vahşi hayvanlar avlan (), evcil hayvanlar ise eğit () gibi canlılar sınıfından farklı olarak farklı metotlara da sahip olabilmektedir.

- **Kapsülleme (encapsulation):** Diğer bir ifadeyle veri saklama anlamına gelmektedir. Bu özellik, programcılara istediği değişken ve fonksiyonları saklama, istediklerini farklı kullanıcılara açma fırsatını vermektedir. Böylece, geliştirilen sınıfları kullanan programcılar, asla kullanmayacakları öğeleri görmeyecek ve olası karmaşıklıklar önlenmiş olacaktır. Ayrıca tasarlanan işlemlerin daha basit olması ve bu sayede daha kolay uygulanabilir olması sağlanacaktır. Örneğin herhangi bir izleyicinin televizyondan film ya da dizi izlemesi için kumandanın ilgili tuşuna basması yeterlidir. Kumandanın nasıl çalıştığı, televizyonun uydu veya antenlerle nasıl bağlantı kurduğu, televizyonun nasıl çalıştığı, televizyondan görüntü ve sesin nasıl geldiği gibi özellikleri bilmesi gerekmemektedir.
- **Çok Biçimlilik (polymorphism):** Bu özellik, aynı fonksiyonun farklı sınıflarda farklı şekillerde davranabilmesini sağlar. Örneğin, farklı geometrik şekillerin (dikdörtgen, küp, kare, küre gibi) alan veya hacimlerinin tek bir metotla hesaplanması çok biçimlilik özelliği ile gerçekleştirilebilmektedir.

1.2.8. Birleşik Modelleme Dili (UML- Unified Modeling Language)

Günümüzde, hemen her alanda yazılım ihtiyacı artmıştır ve artmaya da devam etmektedir. Yazılım teknolojisi buna paralel olarak gelişmekte ve yazılan programların karmaşıklığı ve zorluğu giderek artmaktadır. Dolayısıyla yazılıma olan ihtiyacın artmaya ve yazılım geliştirme sürecinin karmaşıklaştığı şu dönemde, yazılacak programların iyi bir kod organizasyonuna sahip olması gerekmektedir. Bunun için en iyi çözüm yolu ise, yazılacak yazılımın kaliteli ve standart bir modelleme ile analiz ve tasarımının yapılmasıdır. Analiz ve tasarım aşamasının kaliteli olması, geliştirilecek yazılımla ilgili ileride doğabilecek birçok problemin çıkmasına engel olacaktır. Burada ise UML bir kurtarıcı olarak ortaya çıkmaktadır. UML bir programlama dili olmayıp, daha çok nesneye dayalı programlama dilleri için uygun bir diyagram çizme ve modelleme aracıdır. Bir bakıma geleneksel programlamada olan algoritma kurma ile eşdeğerdir. Nesne tabanlı sistemlerin incelenmesi ve tasarımında standart olarak kullanılmakta olan bir modelleme

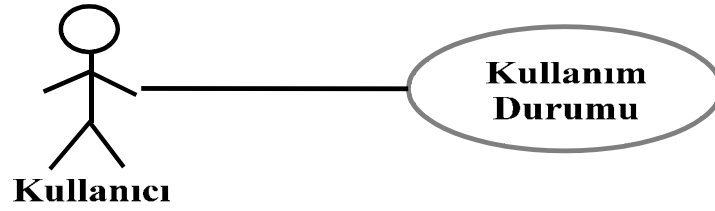
dili olup, özellikle görsel öğeler açısından zengindir (Algan, 2002). UML bir modelleme dili olduğu için yazılım geliştirme ilgisi olan herkesin kullanılmasına uygun sembolleri vardır. Müşteri ile olan iletişimden programcılar arasındaki iletişime kadar her düzeyde soyutlamaya olanak veren görsel ve de anlaşılması kolay şekilleri vardır. Yani nesne tabanlı analiz ve tasarım sürecinin her aşamasına hitap eder. Bununla birlikte UML, modellemeden sonra çıkacak olan sistemin nesne tabanlı teknolojiler ile kurulacağı gibi bir varsayıma sahip olup bu oldukça önemli bir husustur (Güngören, 2005).

UML ile yazılım tasarımının modellemesi beraberinde pek çok faydayı getirmektedir. Bunlar (Algan, 2002):

- UML ile hazırlanmış bir yazılım daha az maliyetli, etkili ve uzun ömürlü olur.
- Program kodlanmaya başlamadan önce UML ile birlikte geniş ölçüde analiz ve tasarımı yapılmış olacağından kodlama işi çok daha kolay olacaktır.
- Programda ortaya çıkabilecek beklenmedik hatalar minimum seviyede olacaktır.
- Düzgün ve tam anlamıyla tasarım yapılması ile tekrar kullanılabilen kodların sayısı artacak ve böylece program geliştirme maliyetleri düşecektir.
- UML diyagramları ile birlikte programların hazırlanması, programın tamamını kapsayacağı için fazla bellek kullanımı engellenmiş olacaktır.
- UML ile belgelendirilmiş kodları düzenlemek daha kolay ve az zaman alacağından, programın kararlılığı artacaktır.
- UML ile projeler çoğunlukla parçalara ayrılıp parçalar arasında ilişki kurulduğu için, ortak çalışılan projelerde programcıların iletişimi daha kolay hale gelecektir.

UML, analiz ve tasarım aşamalarında kullanıcılara pek çok diyagram seçenekleri sunmaktadır. Bunlar kullanım durumu diyagramları, sınıf diyagramları, nesne diyagramları, durum diyagramları, etkinlik diyagramları, işbirliği diyagramları, ardışık etkileşim diyagramları, bileşen diyagramları ve yaygınlaştırma diyagramlarıdır. UML içerisinde yer alan bu diyagramların her birinin kendine has özellikleri, avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Ancak her biri, farklı kullanıcıların yani analizci veya tasarımcıların isteklerine ve sahip oldukları işe göre tercih edilmektedir. Bir yazılım analiz ve tasarım aşamasında bunlardan bir veya birkaçı kullanılabilir. Bu çalışma kapsamında KDS tasarımı yapılırken kullanım durumu diyagramları ve sınıf diyagramlarından faydalanılmıştır. Bu iki diyagrama ilişkin açıklayıcı bilgiler aşağıda verilmiştir (Rumbaugh, 1999; Algan, 2002; Liang, 2003; Köseoğlu, 2004; Budakoğlu, 2007).

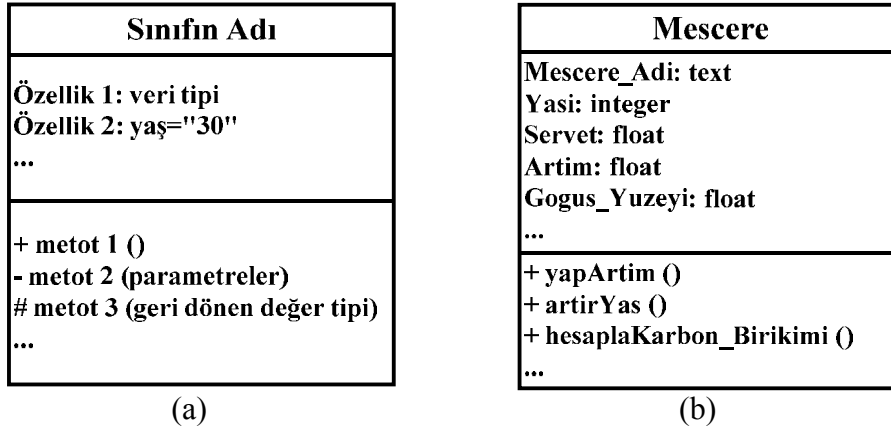
- **Kullanım Durumu Diyagramları:** Kullanıcı gereksinimlerin modellenmesinde kullanılmaktadır. Kullanım durumu diyagramları temel olarak sistemin ve kullanıcıların fonksiyonlarını tanımlamak için kullanılır. Yazılımın davranışının bir kullanıcı gözüyle incelenmesi bu diyagramlar yardımıyla yapılmaktadır. Aktörler (sistemin kullanıcısı veya etkileşimde olan kişi veya diğer sistemler) ve kullanım durumlarından oluşmaktadır. Kullanım durumu Şekil 1’de görüldüğü gibi elips şeklindedir. Her bir durum bir kullanıcı tarafından başlatılan çeşitli olaylardan meydana gelmektedir. Kullanıcıların (aktörler) altında ise kullanıcıların adı (örneğin sistem yöneticisi) bulunmaktadır. Kullanım durumu ile kullanıcı arasındaki ilişki Şekil 1’de ki gibi düz bir çizgi şeklindedir. Farklı kullanıcı durumları arasında ise içirme, genelleme ve eklenti şeklinde karşılıklı ilişkiler bulunmaktadır.



Şekil 1. Kullanım durumu diyagramı

- **Sınıf Diyagramları:** Sınıf diyagramları, bir kullanım durumunun derinlemesine açıklanması ve sistemin ayrıntılı tasarımını tanımlamak için kullanılır. Yani, yazılımın durağan yapısının modellenmesinde kullanılmaktadır. Bir sınıf ise benzer özellikler ve ortak davranışlara sahip nesnelere oluşmaktadır. Hayvanların omurgalı, omurgasız, memeliler, kuşlar gibi gerçek dünyada sınıflandırılmasına benzer şekilde, yazılımları geliştirirken de bir takım benzer özelliklere ve davranışlara sahip gruplara ayrılmaktadır.

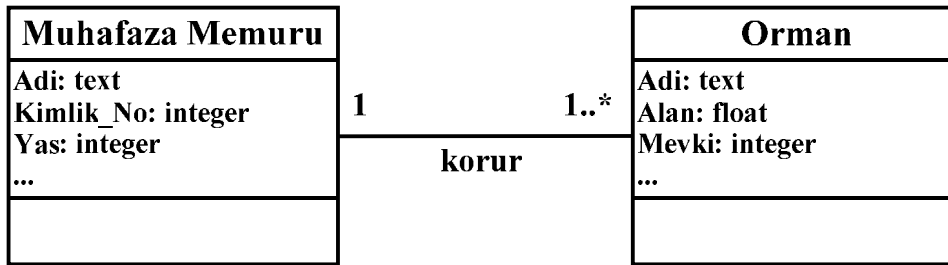
Bir sınıfın genel yapısı ve bir örneği Şekil 2’de verilmiştir. Şekil 2a’ da görüldüğü gibi bir sınıf diyagramında şeklin en üstünde sınıfın adı, ortasında sınıfa ait olan özellikler (değişkenler) ve en alt kısmında ise sınıfın yapmakta olduğu veya yerine getirmekte olduğu metotlar (fonksiyonlar) yer almaktadır. Her bir özellik veya değişken sayı (float, integer gibi), text, boolean, para (currency) gibi veri türlerini içerebilmektedir. Şekil 2b’de ise, meşcere adlı bir sınıf ile bu sınıfa ait özellikler (yaş, servet, artım gibi) ve metotlar (yapArtım, artirYas gibi) görülmektedir.



Şekil 2. Sınıf diyagramı taslağı (a) ve bir örneği (b)

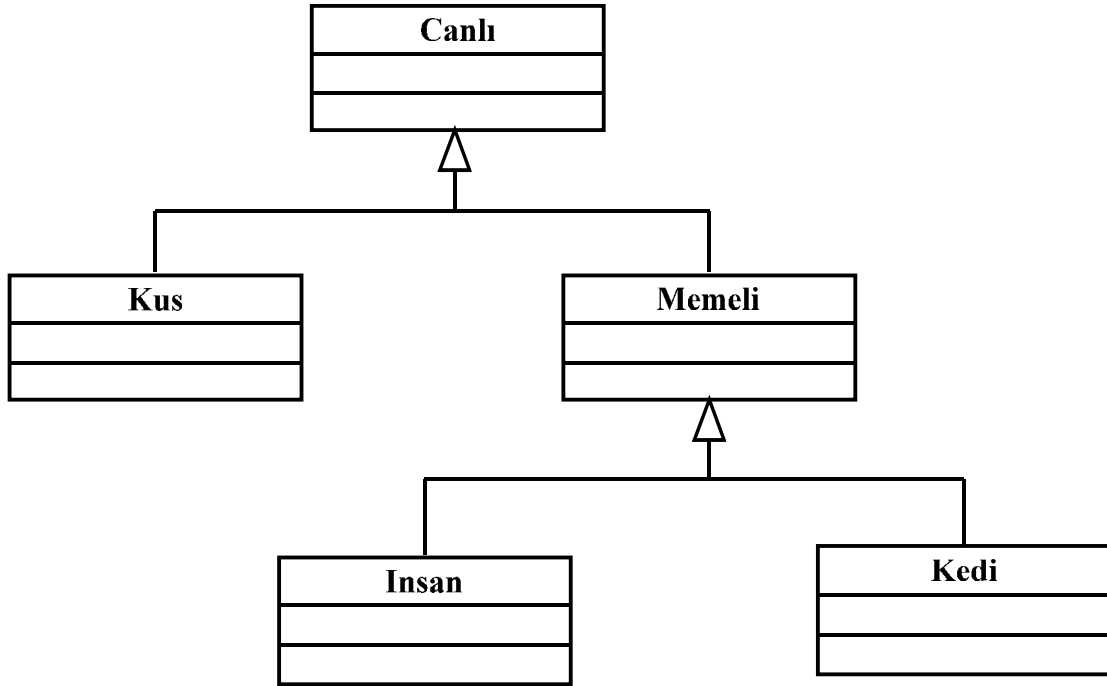
Metotlar ise bir takım bilgileri kullanmak suretiyle belirli görevleri yerine getirmekte ve sınıfın en önemli bileşenlerini oluşturmaktadır. Hem metotların hem de özelliklerin kullanım alanlarını belirleyen üç çeşit kapsülleme düzeyi bulunmaktadır. Bunlar bütün sınıflara açık olan public (+ işareti ile gösterilir) düzeyi, sadece ilgili sınıfa ve kendisinden türeyen sınıfların kullanımına açık olan protected düzeyi (# işareti ile gösterilir) ve sadece ilgili sınıfın erişebileceği private düzeyidir (- işareti ile gösterilir).

Sınıflar arasındaki ilişkiyi göstermek için iki sınıf arasında düz bir çizgi çizilir. Örneğin “Muhafaza Memuru” ve “Orman” isminde iki sınıfımızın olduğunu düşünelim (Şekil 3). Muhafaza Memuru sınıfından türetilen bir memur Orman sınıfından türetilen bir orman arasında koruma ilişkisi vardır. Muhafaza Memuru ve Orman sınıfları arasında bire-bir veya çok ilişkisi bulunmaktadır. Bir muhafaza memuru bir veya birden fazla ormanı koruyabilir. Bununla birlikte sınıflar arasında bire-bir veya çok(1 - 1..*) ilişkisi olabileceği gibi bire – çok (1 - *) veya bire-bir (1 – 1) şeklinde ilişkiler söz konusu olabilmektedir.



Şekil 3. Birbiriyle ilişkili sınıf diyagramları örneği

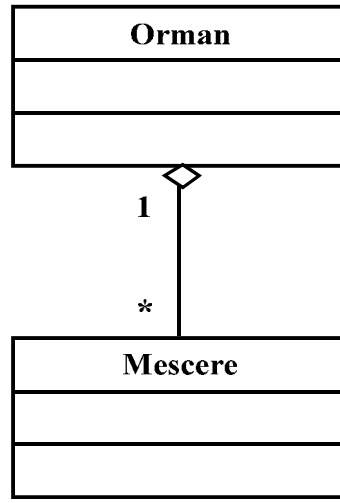
Nesne tabanlı programlamanın önemli bir avantajı daha önce açıklandığı gibi miras almadır (inheritance). Miras alma ile birlikte ortak özelliklere sahip olan nesnelere tek bir sınıfta toplanmakta, diğer sınıflar ise yeni özellikler eklenmek suretiyle temel sınıftan türetilmektedir. Böylece özellikle programcılar açısından kod tekrarları önlenmiş ve gelecekte ortaya çıkabilecek yazılım bakım gereksinimleri kolaylaşacaktır. Şekil 4’de Canlı temel sınıfından (parent class) “Kus” ve “Memeli” adlarında yavru sınıflar (sub-class) ve Memeli sınıfından da “İnsan” ve “Kedi” adında yavru sınıflar oluşturulmuştur. Burada Kus ve Memeli sınıfları Canlı sınıfının sahip olduğu tüm özellikler ve metotlara, İnsan ve Kedi sınıfları ise hem Canlı hem de Memeli sınıfının sahip olduğu özellik ve metotlara sahiptir. Sonuçta programcılar nesne tabanlı programın sunmuş olduğu böyle bir yapı ile her bir sınıftan farklı nesnelere (örneğin İnsan sınıfından Ahmet adında bir nesne) türetebilmektedir.



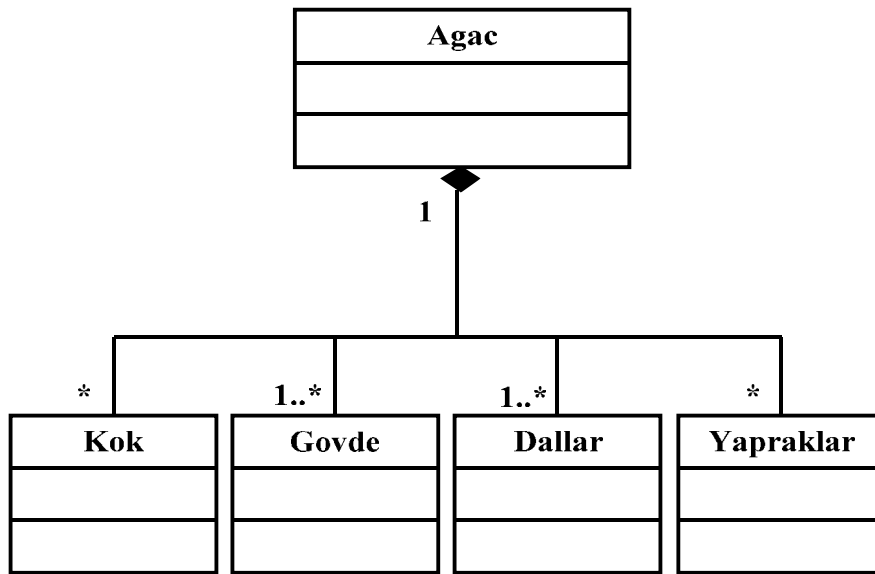
Şekil 4. Miras alma (Inheritance) örneğine ilişkin bir sınıf diyagramı örneği

Sınıf diyagramlarında diğer önemli bir konu, sınıflar arasındaki birleştirme (aggregation) ve kompozisyon (composition) olarak adlandırılan iki tür özel ilişkidir. Bunlardan birleştirme ilişkisi, bazı sınıfların birden fazla parçadan oluştuğu anlamına gelmektedir. Örneğin bir “Orman” sınıfı birden fazla “Mescere” sınıfından oluşmaktadır.

Birleştirme ilişkisi bütün parça yukarıda olacak şekilde ve bütün parçanın ucuna içi boş bir elmas yerleştirilerek gösterilir (Şekil 5). Birleştirme ilişkisinde her bir parça ayrı birer sınıftır ve her biri tek başlarına anlam ifade ederler. Kompozisyon (composition) ilişkisinde ise bütün parça oluşturulduğunda diğer alt parçalarında aynı anda oluşturulması gerekir. Örneğin bir “Ağaç” sınıfı oluşturulurken aynı zamanda “Kök”, “Gövde”, “Dallar” ve “Yapraklar” sınıflarının da oluşturulması gerekir. Bunlar tek başlarına bir anlam ifade etmezler. Gösterim şekli ise içi dolu elmas çubuk şeklindedir. Şekil 6’da kompozisyon ilişkisi görülmektedir.



Şekil 5. Birleştirme ilişkisi örneğine ilişkin sınıf diyagramı



Şekil 6. Kompozisyon ilişkisi örneğine ilişkin sınıf diyagramı

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

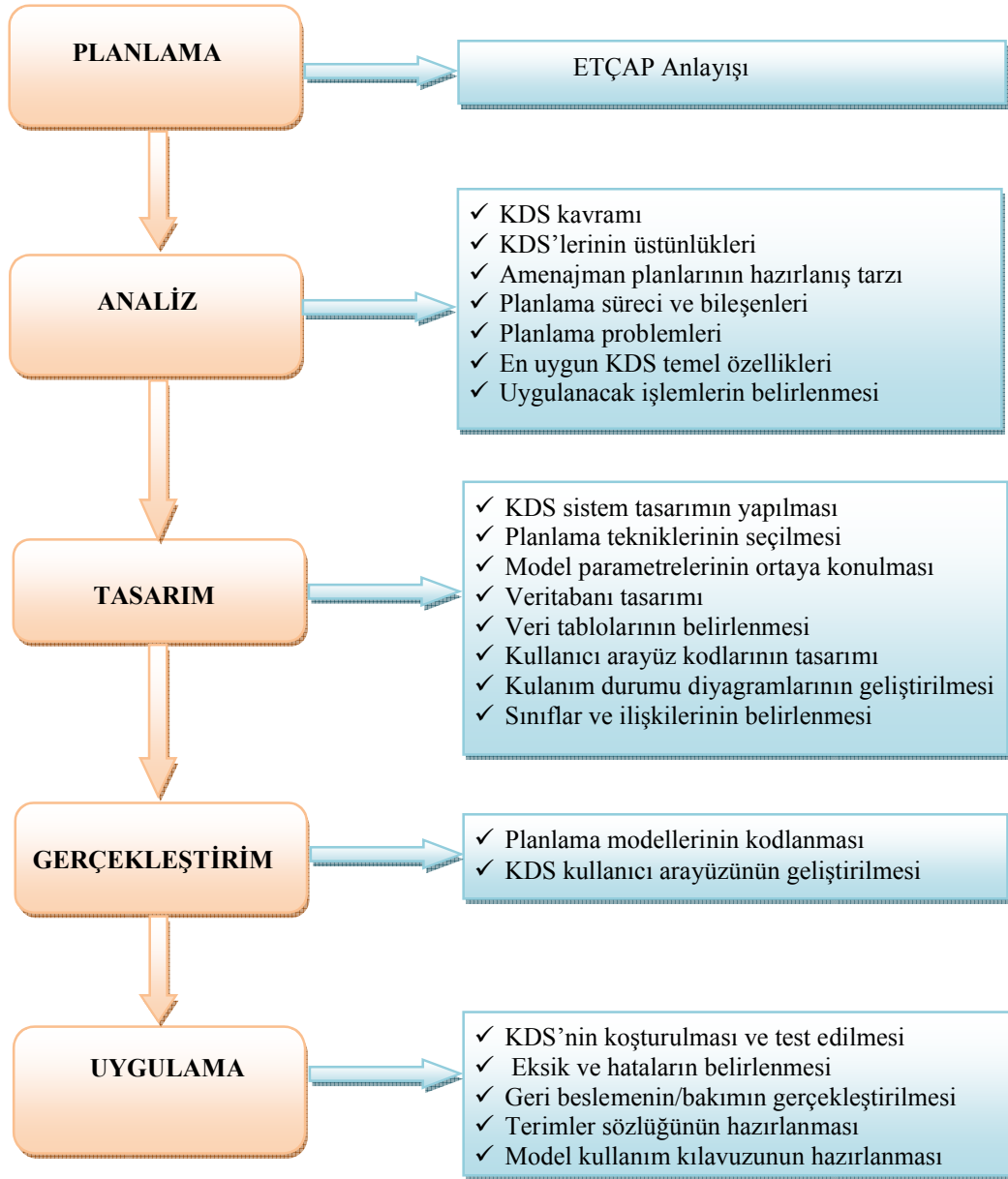
2.1. Kavramsal Çerçeve

Çalışmanın temel amacı, ekosistem tabanlı çok amaçlı planlama anlayışı kapsamında orman amenajman planlarının hazırlanmasına yönelik bir karar destek sisteminin ve ilgili yazılımının geliştirilmesidir. Dolayısıyla tez çalışmasının kavramsal çerçevesi, bir KDS geliştirme aşamaları olan planlama, analiz, tasarım, gerçekleştirim ve uygulama ana başlıkları altında değerlendirmek mümkündür (Şekil 7).

Planlama aşaması, KDS'nin dayandığı temel prensiplerin veya teorilerin belirlendiği aşamadır. Bu çalışmada ETÇAP olarak adlandırılan amenajman planlama anlayışı temel alınmış ve KDS bu doğrultuda geliştirilmiştir. Ormancılıkta ETÇAP plan yapımı süreci temel olarak, arazide yapılan envanter çalışmalarıyla başlayıp büro çalışmalarıyla sonuçlanmaktadır. ETÇAP 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 karşılaştırılması, en uygun planlama tekniğinin seçilmesi ve amenajman plan çıktılarının elde edilmesi şeklindedir.

Analiz aşamasında, Türkiye'de uygulanmakta olan orman amenajman planlama problemleri ve bu problemlere çözüm olabilecek bir KDS'nin temel özellikleri belirlenmiştir. Bunun için öncelikle, KDS kavramı açıklanmış ve dünyada orman amenajman planlamasına yönelik olarak geliştirilmiş KDS'lerin özellikleri ortaya konulmuştur. Daha sonra, Türkiye'de uygulanan orman amenajman planlama sistemi ile bu sistemin eksiklikleri ortaya konulmuş ve Türkiye ormancılık koşullarına uygun olabilecek bir KDS'nin neler içermesi gerektiği belirlenmeye çalışılmıştır.

Tasarım aşamasında, ETÇAP anlayışına yönelik geliştirilen KDS'nin sistem tasarımı yapılmıştır. Bu doğrultuda öncelikle KDS temel bileşenleri belirlenmiştir. Buradan hareketle, öncelikle veri tabanı tasarımı yapılmış ve daha sonra seçilen planlama modellerinin (simülasyon ve optimizasyon) kullanım durum diyagramları ve sınıf diyagramları aracılığıyla fiziksel tasarımı gerçekleştirilmiştir. Aynıyaşlı ormanlar için simülasyon ve optimizasyon (doğrusal programlama), değişikyaşlı ormanlar için ise sadece optimizasyon modeline yönelik tasarım yapılmıştır.



Şekil 7. ETÇAP anlayışına dayalı karar destek sisteminin kavramsal çerçevesi

Hem simülasyon hem de optimizasyon modelinde, aynıyaşlı ve değişikyaşlı meşcerelerin zamana ve müdahalelere bağlı dinamik yapısının modellenmesi amacıyla, bir büyüme modeli tasarımı yapılmıştır. Bununla birlikte KDS içerisinde geliştirilen simülasyon ve optimizasyon modellerinin kullanıcılar tarafından rahat ve kolay bir şekilde kullanılması amacıyla bir arayüz tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Gerçekleştirim aşamasında, aynıyaşlı ormanların planlanması için tasarımı yapılmış olan simülasyon ve optimizasyon modellerinin kodlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Kodlama işlemi nesne tabanlı tasarım ve programlama ilkelerine göre yapılmıştır. Bu

doğrultuda KDS nesne tabanlı bir programlama dili olan Delphi programlama dili ile kodlanmıştır. Daha sonra, KDS ve bu sistem içerisinde bulunan simülasyon ve optimizasyon modellerinin arayüzleri yine aynı programlama dili ortamında oluşturulmuştur.

Son aşama olan uygulama aşamasında ise, aynıyaşlı ormanlar için geliştirilen simülasyon ve optimizasyon modelleri, örnek bir planlama biriminde test edilmiştir. Test sırasında ortaya çıkan problemler giderilmiştir. Yine kullanıcıların orman amenajmanı, modelleme ve KDS gibi kavramları daha iyi anlamalarına hizmet etmek amacıyla bir terimler sözlüğü oluşturulmuştur.

2.2. Karar Destek Sisteminin Geliştirilmesi

Bir KDS/yazılım geliştirme süreci genel olarak dört temel aşamadan oluşmaktadır. Planlama aşamasında temel hedefler söz konusu geliştirilecek yazılım ile ilgili olarak, personel ve yazılım-donanım gibi gereksinimlerinin belirlendiği, bu tür bir projenin olurluk çalışmasının yapıldığı ve proje planının oluşturulduğu aşamadır. İkinci aşama olan çözümlenme (analiz) aşaması; yazılımın işlevleri ile gereksinimlerin ayrıntılı olarak çıkarıldığı aşamadır. Bu aşamada temel olarak mevcut sistemde var olan işlemler incelenir, temel sorunlar ortaya çıkarılır ve yazılımın çözümlenebileceğine karar verilir. Bu süreçte temel amaç, sistemdeki iş ve işlemlerin belirlenmesi ve doğru olarak algılanıp algılanmadığının ortaya konulmasıdır (Arifoğlu ve Doğru, 2001). KDS geliştirme sürecinde üçüncü aşama olan tasarım aşaması ise, çözümlenme aşamasından sonra belirlenen gereksinimlere karşılık verecek yazılım ya da bilgi sisteminin temel yapısının oluşturulması çalışmalarıdır. Bu çalışmalar, mantıksal tasarım ve fiziksel tasarım olmak üzere iki gruba ayrılır. Mantıksal tasarımda, önerilen sistemin yapısı; fiziksel tasarımda ise yazılımı içeren bileşenler ve bunların ayrıntıları belirlenir. Dördüncü adım olan gerçekleştirim aşamasında ise; tasarım aşaması biten yazılımın kodlama, sına ve kurma çalışmalarının yapıldığı aşamadır (Arifoğlu ve Doğru, 2001). Buradan hareketle, bu tez çalışmasında esas olarak yapılan çalışmalar, dört ana alt bölüme ayrılmış ve bu kapsamda değerlendirilmiştir.

2.2.1. Planlama

2.2.1.1. Yazılım ve Donanım

Bu çalışmada, KDS'nin geliştirilmesi amacıyla veri tabanının kurulması, KDS modüllerinin geliştirilmesi, KDS arayüz programının geliştirilmesi için Pentium IV 1700 MHz işlemci, 1024 MB RAM, 80 GB HardDisk ve 512 MB Ekran kartına sahip HP dizüstü kişisel bilgisayar kullanılmıştır. Çalışma kapsamında yapılan tüm işlemler, Windows XP Professional işletim sisteminde gerçekleştirilmiştir. KDS'nin geliştirilmesinde kullanılan yazılımlar aşağıda öz bir biçimde açıklanmıştır.

MS Access: Microsoft Access, bir veri tabanı yönetim programıdır ve belirli bir nesne ya da özneyi tanımlayan birleştirilmiş bilgilerin bir toplamı olarak tanımlanan veri tabanları oluşturmak, kullanmak ve geliştirmek için kullanılır. Oldukça basit yapısı ve sunduğu geniş fonksiyonlar ile basit veri tabanlarından gelişmiş bilgi sistemlerine çeşitli uygulamalar geliştirmek için uygun bir altyapı sunmaktadır. Farklı uygulamalar kullanarak geliştirilen veri tabanları ile Microsoft Access altında çalışmaya devam edilebilmekte veya burada oluşturulan veri tabanları farklı dosya biçimlerinde saklanabilmektedir. Kullanım kolaylığı ile amatör kullanıcılar için bir başlangıç noktası teşkil eden program, sunduğu SQL gibi standart çalışma araçları ile de profesyonel kullanıcıların çalışmalarını kolaylaştırmaktadır.

Konumsal verilerin önemli bir bileşeni olan öznitelik veri grubun yönetimi için bir Microsoft Office paketi içerisinde yer alan MSAccess kullanılmıştır. Bu veri tabanı yönetim programı, Windows işletim sistemli hemen her bilgisayarda bulunması, kolay kullanılabilir ve elde edilebilir olması ve ilişkisel veri tabanı modeline uygunluğu gibi önemli nedenler itibarıyla tercih edilmiştir.

Delphi 2006: Delphi programlama dili nesne yönelimli bir programlama dilidir. Turbo Pascal dilinin görsel sürümü denilebilir. Nesne, sınıf, kalıtım, fonksiyon, Kapsülleme ve çok biçimlilik gibi temel nesne yönelimli programlama tekniklerini içeren güçlü ve esnek bir programlama dilidir. Hiçbir geliştirme ortamında olmayan Visual Component Library adı verilen çok büyük bir bileşen kütüphanesi bulunmaktadır. Grafik çizmek, elektronik posta göndermek, ağ üzerindeki makinelere erişmek, Explorer ağacı görüntüsü vermek, ses dosyalarını çalmak, veri tabanında yer alan bilgilere erişmek, internet protokolleri kullanmak, değişik dosya formatlarını okuyabilmek gibi pek çok iş için Delphi hazır bileşenler sunmaktadır (Köseoğlu, 2004).

Borland yazılım firması tarafından geliştirilmektedir. Win32 ve .net platformları üzerinde yazılım geliştirmeye imkan sağlar. GNU/Linux platformu üzerinde geliştirme imkanı sağlayan Kylix isimli bir sürümü de bulunmaktadır. Delphi programlama dili nesne yönelimli bir dil olduğu için eklenen bütün nesnelerin (Formlar da dahil) kodlarını otomatik olarak oluşturur. Bu kodları "Unit" ler içerisinde barındırır. Delphi programlama dilinin önemli avantajları şunlardır (Köseoğlu, 2004):

- Diğer nesne yönelimli programlama dillerine göre çok daha geniş bir bileşen/nesne kütüphanesine sahiptir
- Çok güçlü bir dil olmasının yanında kullanımı çok kolay bir dildir
- Delphi ile yazılan programlar, Windows yüklü tüm bilgisayarlarda herhangi bir platformun yüklenmesine gerek duymadan çalışabilmektedir

Smart Draw ve MS Visio: Microsoft Office Visio ve Smart Draw, tasarımcıların karmaşık bilgileri görselleştirmesini, keşfetmesini ve diğerlerine iletmesini kolaylaştıran çizim ve diyagram oluşturma yazılımlarıdır. Analiz ve tasarım aşamalarında farklı türde diyagramların (akış çizelgeleri, kullanım durumları, sınıf diyagramları) çizilmesine yarayan görsel modelleme araçlarıdır. Bu çalışmada, orman amenajmanı KDS tasarımı için kullanılan UML diyagramlarının çizilmesinde MS Visio ve Smart Draw programları kullanılmıştır.

ArcGIS Desktop 9.1: ArcGIS™ Desktop; ArcView® 9.x, ArcEditor™ 9.x ve ArcInfo™ 9.x ürünlerinin birleşimidir. Arc/GIS konumsal veri yönetimini sağlayan güçlü bir CBS yazımlı olup; harita otomasyonu, konumsal veri dönüşümü, veri tabanı yönetimi, harita çakıştırma, konumsal analiz, etkileşimli görüntüleme ve sorgulama, grafik ve öznitelik veri girişi ve düzeltme, adres haritalama ve kodlama, ağ analizi, etiketleme ve topoğrafik analiz işlemlerinde etkin çözümler sunmaktadır (Yomralıoğlu, 2000).

Bu çalışmada oluşturulan konumsal veri tabanında yer alan ve sistemin denenmesi için kullanılan grafik veriler, ArcGIS 9.1 programıyla sayısallaştırılarak elde edilmiştir. Bunun için belirlenen grafik veriler A0 boyutlu tarayıcılar yardımıyla bilgisayara resim formatında alınmış ve ArcGIS 9.1 programı kullanılarak sayısal hale dönüştürülmüştür. Sayısallaştırılmış grafik verilerin topolojik özelliklerine ait tablolar, sözü edilen program tarafından otomatik olarak oluşturulmaktadır. Dolayısıyla kullanıcı ya da tasarımcının bu tablolara müdahale etme şansı yoktur. Ancak grafik verilere ait alan, uzunluk, çevre ve nesne tanımlama kodları kullanıcı ya da tasarımcının müdahale edebileceği ilişkisel veri tablolarında farklı bir dosyada kaydedilmektedir. İşte bu tablolar üzerinde grafik veriye

doğrudan bağlı bazı öznelik veriler için yeniden alan tanımlaması yoluna gidilmiştir. ArcGIS programı bu projede, ilgili bir planlama birimine ait tüm grafik verilerin (nokta, çizgi, alan detaylı haritalar) sayısallaştırılması, topolojilerin kurulması, planlama ile bu verilere bağlı fakat sürekli değişmeyen verilerin veri tabanı tasarımı ve nihayetinde konumsal veri tabanının kurulması ve yine konumsal analizlerin yapılabilmesi için kullanılmıştır.

LINDO ve LINGO: Lindo System Inc. Şirketi tarafından üretilen ve yöneylem araştırması tekniklerinden doğrusal, doğrusal olmayan, tamsayılı ve stokastik matematiksel modelleri çözen ticari bir yazılımdır. Windows ortamında çalışması en büyük avantajlarından biridir. LINGO genelde matris çözücü bir program olup, kurulan (formüle edilen) matematiksel modelleri çözmek, duyarlılık analizi yapma fırsatları sunmak ve çözüm sonuçları için rapor oluşturmak gibi karar vericilere pek çok fayda sağlayabilen bir yazılımdır. Bu çalışmada, matris şekline dönüştürülmüş matematiksel modellerin hızlı çözümü ve duyarlılık analizi için LINDO ve LINGO matris çözücü programlar kullanılmıştır.

2.2.2. Sistem Analizi

Türkiye’de orman amenajman planlarının hazırlanmasına hizmet edecek bir karar destek sistemi, öncelikle Türkiye’nin ormancılık politikası ve sosyo-ekonomik koşullarına uygun olarak tasarlanmalıdır. Temel amaç; hiyerarşik planlama ve sistem yaklaşımı çerçevesinde konumsal bilgi sistemleri, yöneylem araştırması teknikleri ve nesne tabanlı tasarım ve modelleme teknikleri kullanarak, modüler yapıda ekosistem tabanlı çok amaçlı planlamaya yönelik bir KDS geliştirmektir. Bu bölümde, bir KDS geliştirmek için mevcut gereksinimler ve sistemin mevcut yapısı/akışı sunulmaktadır. Buradan hareketle; Türkiye’de amenajman planlarının hazırlanmasına hizmet edecek bir KDS’ inin tasarımı şu ilkelere bağlı yapılmalıdır;

- Orman ekosisteminin tüm bileşenleri bir bütün olarak değerlendirilebilmeli (Bütünsel Yaklaşım Tarzı)
- Farklı yapıdaki orman işletme şekillerini (aynıyaşlı ve değişikyaşlı) kapsamalıdır.
- Hiyerarşik planlama yapısı izlenmeli; uzun vadeli stratejik planların yapımı simülasyon ve doğrusal programlama veya amaç programlama ile ve bu planların kısa vadeli taktiksel versiyonu ise tabu arama veya tavlama benzetimi algoritması gibi

kombine optimizasyon teknikleriyle gerçekleştirilmelidir. Böylece, hiyerarşik yaklaşımı ve değişik yöneylem araştırması tekniklerinin kullanılması ile birlikte planlamaya esneklik getirilmiş ve sistem işleyişi daha kolay kavranmış olacaktır.

- KDS'nde odun hammaddesi üretiminin yanı sıra odun dışı orman ürünlerinin üretimi, su ve toprak koruma, rekreasyon ve biyoçeşitlilik koruma gibi amaçlara yer verilmelidir.
- Tıraşlama kesimi, siperde kesim, seçme kesimi, dikim, sıklık bakımı, aralama kesimleri gibi farklı silvikültürel müdahale etkinliklerini kapsamalıdır. Her bir müdahalenin biyolojik, ekolojik ve ekonomik sonuçlarını tahmin etme imkanı sunmalıdır.
- Yangın, böcek ve rüzgar dibi doğal olaylar veya müdahalelerin stokastik olarak planlamaya dahil edilmesine imkan sağlamalıdır. Her bir doğal olayın ormanın dinamik yapısı ve çıktıları üzerine etkilerini tahmin etmek fırsatı sağlamalıdır.
- Değişik hasılat ve büyüme modellerinin kullanımı ile meşcerelerin zamana bağımlı değişimlerini sayısal bazda tanımlanmasına izin vermeli.
- Yazılımın iskeleti, CBS ile Yöneylem Araştırması tekniklerinin bir birleşimden oluşmalıdır.
- Planlamada konumsal özelliklere (şekil, büyüklük, konumsal dağılım) yer verilmelidir.
- Konumsal veri tabanının oluşturulması, CBS yazılımlarından bağımsız olmalı, ancak şartların elverişli olmadığı durumlarda bu yazılımlara başvurulmalıdır.
- Yazılım modüller bir yapıya sahip olmalıdır. İstenildiğinde, meşcerelerin artım ve büyümesini hesaplayan yazılımlar (modeller), yangın davranışını tahmin eden yazılımlar, görsel kaliteyi değerlendiren yazılımlar, yaban hayatı modelleri ve konumsal analizler yapabilen modellerin bütünleştirilmesine fırsat verebilmelidir.
- Yazılım kodlama aşamasında; tüm işlemler Nesne Tabanlı Sistem Analizi yaklaşımı ilkeleri dâhilinde yine bir Nesne-Tabanlı Programlama dili ile gerçekleştirilmelidir. Böylece, modelin yazılımı, kullanımı ve güncelleşmesi daha sistemli ve kolay olacaktır.
- Modele kullanım kolaylığı getirmek amacıyla bir arayüz programı eklenmelidir. Arayüz, kullanıcı dostu olacak şekilde tasarlanıp karar vericinin sorunlarına cevap verecek şekilde geliştirilmelidir.

- KDS amenajman planı çıktılarını tablo, metin, grafik ve haritalar şeklinde sunabilmelidir. Türkiye ormancılık politikası gereği geliştirilen orman amenajman planlama yönetmeliği ilkelerine uygun şekilde plan dökümü ortaya konulmalıdır.

2.2.3. Sistem Tasarımı

Orman amenajmanı planlama kavramı KDS tasarım açısından ele alındığında genelde beş önemli bileşenden meydana geldiği görülmektedir.

- Planlama probleminin ve sistemin belirlenmesi (amaç, kapasite, kaynak vb tüm parametrelerin belirlenmesi, verilerin toplanması)
- Temel üretim birimleri (örneğin meşcere) için alternatif müdahale seçeneklerinin belirlenmesi ve meşcere gelişiminin (simülasyon) ortaya konulması
- Planlama modelinin oluşturulması (amaç, kısıtlayıcı koşullar, hedefler, kurallar vs) ve geçerliliğinin sağlanması
- Modelin çözülmesi
- Sonuçların test edilmesi ve en uygun planlama alternatifin uygulamaya aktarılması

Orman amenajmanı planlamasına yönelik bir KDS'nde, ilk aşamada, orman ekosisteminin yapı ve kuruluşunun ortaya konulması, ilgili tablo veya verilerin elde edilmesi ve sisteme girilmesi işlemlerinden oluşan veri tabanı bileşeni yer almaktadır. İkinci aşamada ise, odun üretimi ile birlikte planlamada yer alacak diğer orman fonksiyonları ve ekonomik modellerin yer aldığı yardımcı modeller yer almaktadır. Bu yardımcı modellerin planlama sistemindeki rolü, orman fonksiyonlarının planlamaya sayısal olarak yansıtılmasıdır. Böylelikle karar vericiler, odun üretimi ile birlikte diğer odun dışı ürün ve hizmetlerin zamana bağlı değişimlerini sayısal veya ekonomik değerler itibarıyla görebilecek ve daha isabetli kararlar alabileceklerdir. Orman ekosistemini oluşturan analiz alanlarına¹ (işletme sınıfı, orman fonksiyonu alanları, meşcereler vs) uygulanacak silvikültürel müdahale rejimlerinin (doğal veya silvikültürel müdahale dizini/seti) belirlenmesi, amaçların ve bu amaçları sınırlandıran kısıtlayıcı koşulların ortaya konulması, hedeflerin belirlenmesi, ürün ve hizmetlerin zamana bağlı olarak üretim politikalarının geliştirilmesi planlama stratejileri bileşenini oluşturmaktadır. Planlama

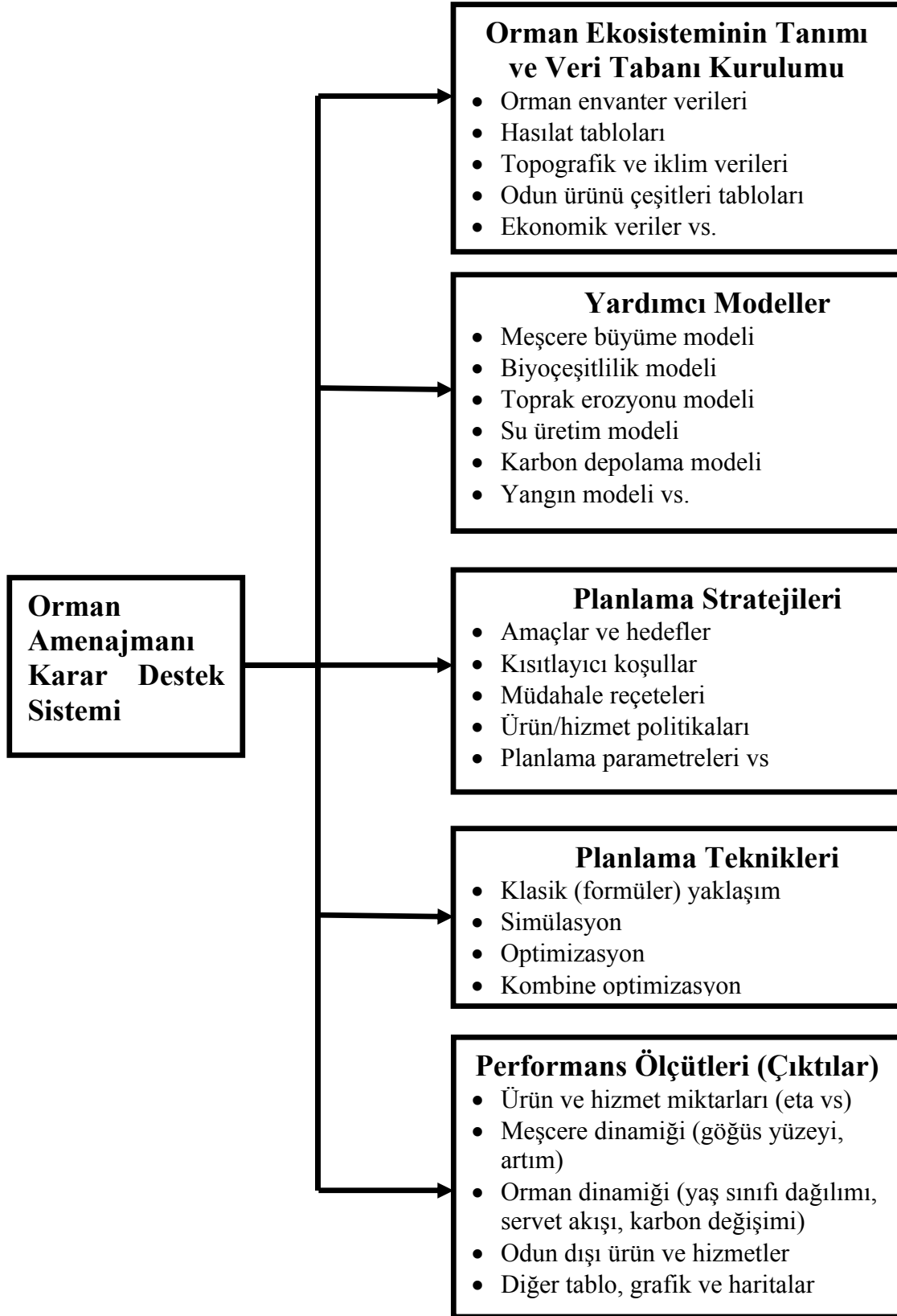
¹ Analiz alanı; orman ekosistem özellikleri, işletme amaçları ve planlama faaliyetlerine göre belirlenen ve planlamada analiz ve karar verme aracı olarak kullanılan temel orman parçaları olarak tanımlanabilir. Diğer bir ifadeyle analiz alanları, silvikültürel işlem birimleridir. Bu bir planlama biriminin tamamı olabildiği gibi, işletme sınıfı, meşcere tipleri, fonksiyonlar ve hatta bölmeciklerde olabilir.

stratejileri belirlendikten sonra probleminin çözümüne ve geçerliliğin sağlanmasına yönelik alternatif modelleme tekniklerinin yer aldığı planlama teknikleri bileşeni yer almaktadır. KDS'nin son bileşenin ise, alternatif planlama stratejilerinin çözüm sonuçlarının (çıktılarının) metin, harita, tablo veya grafik olarak sayısal olarak belirlendiği ve karar vericilerin bu stratejileri değerlendirmesine ve en uygun alternatifi seçmesine yardım edecek performans göstergeleri bileşeni bulunmaktadır. Bu önemli beş bileşen, bu çalışmada geliştirilen KDS sistem mimarisinin genel yapısı olup, bu yapı aynı zamanda çağdaş orman amenajmanı planlama felsefesine karşılık vermektedir (Şekil 8).

2.2.3.1. Orman Ekosisteminin Sayısal Olarak Tanımlanması ve Veri Tabanı Kurulumu

Simülasyon ve optimizasyon tabanlı planlama yazılımı için, sosyo-kültürel verilerle birlikte grafik ve öznel verilerden oluşan konumsal veri tabanlarına gereksinim vardır. Orman ekosistemlerinin uzun dönem analizi için en önemli kısımlarından biri, uygun veri tabanlarının geliştirilmesidir. Veriler; ölçüm ve gözlemlerin yapıldığı envanter çalışmaları, alanın geçmişteki durumuna ilişkin harita ve diğer verileri içeren tarihi kayıtlar, hava fotoğrafları, uydu görüntüleri ve sözlü-birebir görüşme kayıtlarından elde edilmektedir. Orman amenajmanı planlama modelinin geliştirilmesinde kurulacak veri tabanında olması gereken veriler aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

- Planlama birimi içindeki ve civarındaki sosyo-kültürel ve ekonomik durumu gösterir veriler (nüfus özellikleri, piyasa fiyatları, göç durumu, geçim kaynakları vs)
- Planlamaya konu orman ekosisteminin alanı, konumu ve topografik yapısı
- Alanın toprak özellikleri ile yüklediği fırsatlar ve kısıtlamalar
- Planlanan veya var olan ulaşım ağı altyapısının tanımlanması
- Orman alanındaki su kaynaklarının tanımlanması
- Orman alanındaki odun hammaddesi kaynaklarının tanımlanması: geleneksel orman envanter verileri (alan, ağaç serveti, artımı vb), odun ürünleri tanımlamaları, hacim ve artım gibi meşcere parametrelerinin mevcut durumu ve gelecekteki miktarlarının projeksiyonu
- Orman alanındaki yaban hayatı kaynaklarının tanımlanması; besin kaynakları, su kaynakları, genel gruplar veya belirli yaban hayatı türleri için mevcut vejetasyon örtüsünün tanımlanması



Şekil 8. Orman amenajmanı KDS'nin mimarisi

- Orman alanındaki odun dışı orman ürünlerinin durumu; rekreasyon-estetik değerler, mineral kaynakları, mantarlar, yosunlar ve tıbbi ve aromatik bitkilerin tanımlanması
- Orman alanındaki geçmiş ve mevcut etkinliklerin zamansal durumu; üretim, yangın, hastalık, böcek ve aşırı otlatmanın etkileri ve ilerde olası risklerin dökümü

Orman amenajmanı planlamasına yönelik KDS’nde, orman ekosistemlerinin hiyerarşik sınıflandırılmasında Türkiye’de mevcut olan ve planlama sürecinde kullanılmakta olan ayırım öğeleri dikkate alınmıştır. Diğer bir ifadeyle, planlama birimi, işletme sınıfı, taslak ana ve yardımcı orman fonksiyonları, meşcere tipleri, bölme ve bölmecik gibi orman sınıfları dikkate alınmaktadır. Orman envanter verilerinin geliştirilmekte olan amenajman KDS’ne girilmesinde ve işlenerek kullanılabilir hale getirilmesinde, Sivrikaya (2008) tarafından klasik planlamaya yönelik geliştirilen yazılım kullanılmıştır. Bu veri tabanı, simülasyon ve optimizasyon tabanlı olarak geliştirilen KDS modülleri tarafından kullanılabilir şekilde düzenlenmiştir. Dolayısıyla KDS için gerekli konumsal orman veri tabanı, doğrudan kullanıcının envanter verilerini sisteme girmesine ve alternatif planlar üretmesine hizmet edecek şekilde tasarlanmıştır. Konumsal veri tabanında yer alan veri/bilgi ve özellikleri şöyledir.

- Orman ekosisteminin sınıflandırılması (işletme sınıfı, fonksiyon veya meşcere tipleri ayırımı) ve yüksek çözünürlüklü konumsal verilerin temininde; uydu görüntüleri, hava fotoğrafları ve bunlarla birlikte dereler, yollar, topografya, vejetasyon gibi CBS katmanlar kullanılır.
- Örnekleme alanlarından alınan envanter (alan, ağaç serveti ve artımı, yetiştirme ortamı, odun dışı orman ürünleri vs) verilere ilişkin kurulan veri tabanı.
- Orman ekosistemini oluşturan meşcerelerin gelişiminin ve yapılacak silvikültürel ve doğal müdahalelere bağlı olarak topluma sunacağı değerlerin sayısal olarak belirlenebilmesi için modeller kullanılmaktadır. Örneğin, meşcere parametrelerinin uzun dönem gelişiminin tahmin edilmesinde “büyüme ve artım modelleri”, karbon dengesinin belirlenmesinde ise “karbon modelleri” planlama yazılımının diğer önemli veri tabanı bileşenleridir. Yine ekonomik analiz için gerekli ekonomik veriler ve gelir-gider-NBD gibi hesaplamalar ekonomik modeller kapsamında değerlendirilebilir. Bu modellerin her birinin çalışması ve ihtiyaç duyulan veri seti-çıktıları üretmesi için birtakım ham verilere (örneğin meteorolojik ve nüfus verileri) gereksinim duyulabilmektedir.

- Orman arazisi sahiplerinin işletme amaçlarına/hedeflerine, ağaç türlerinin idare sürelerine, aralama ve gençleştirme rejimlerine, koruma zonlarının oluşturulması gibi bir takım kararların alınması için ölçümler, analizler ve görüşme/mülakatların yapılması ve sonuçta bir takım verilerin elde edilmesi.

Bu açıklamalar ışığında, tasarım aşamasında öncelikle, KDS'nin önemli bir altlığı olan veri tabanı tasarımı yapılmıştır. Bu kapsamda, veri tabanında yer alacak ve KDS tarafından kullanılacak grafik, öznitelik ve diğer veri tabloları belirlenmiştir. Daha sonra veri gruplarında belirtilen tablolar için tablo deseni ve tanıtımı kullanılarak veri tablosunun fiziki veri yapıları belirlenmiştir. Bu tablolar bir bakıma kullanıcılar için bir veri tablosu kullanım kılavuzu karakterindedir. Sistem tasarımında, grafik ve öznitelik veri gruplarının belirlenmesi ve bu veri gruplarındaki tablo desenlerinin ortaya konmasından sonraki aşama ise, tablolar arasındaki ilişkilerin belirlenmesidir. Bu amaçla, bu çalışmada, ilişkisel veri tabanı modeli kullanılmıştır. İlişkisel veri tabanı modelinin kullanımının kolay olması, rahat anlaşılabilmesi, kayıt tabanlı olması nedeniyle ormancılıktaki verilerle uyuşması ve yaygın olması, söz konusu veri tabanı işletim sisteminin bu çalışmada kullanılmasında etkin rol oynamıştır.

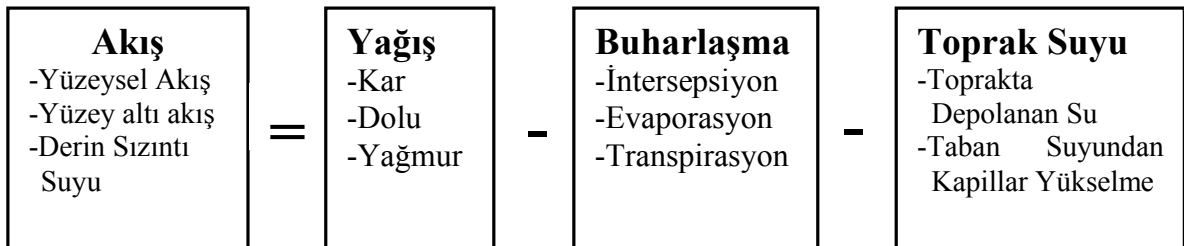
2.2.3.2. Yardımcı Modeller

Ekosistem tabanlı çok amaçlı planlama esasına dayalı bir KDS'nde orman ekosistemlerin sunmuş olduğu odun dışı orman fonksiyonlarının (ürün ve hizmetler) amenajman planlarına yansıtılmasında, bu fonksiyonların sayısal olarak ortaya konulması gerekmektedir. Odun dışı ürün ve hizmetlerin amenajman planlarına yansıtılmasındaki en kolay yol ise, her bir orman fonksiyonunun orman yapısı, yetiştirme ortamı ve özellikle meşcere parametreleri ile ilişkiye getirilmesidir. Örneğin ormanların su üretimi ve toprak koruma fonksiyonları ile meşcerelerin göğüs yüzeyi ve ağaç sayısı arasında, karbon depolama ve oksijen üretimi ile meşcere serveti arasında istatistiksel olarak oldukça kuvvetli ilişkiler bulunmaktadır. Orman fonksiyonlarının amenajman planlarına yansıtılması konusunda hem yabancı araştırmacılar hem de tarafımızdan yapılan bilimsel çalışmalar değerlendirilmek suretiyle bazı orman fonksiyonlarının (su üretimi, toprak koruma, karbon birikimi, oksijen üretimi, odun üretimi ekonomik modeli, odun ürünü çeşitleri modeli) sayısal olarak nasıl ortaya konulacağı ve amenajman planlarına nasıl yansıtılacağı aşağıdaki alt bölümlerde açıklanmıştır.

2.2.3.2.1. Su Üretim Modeli

Ormanlık havzalar, yeryüzünde mevcut kullanılabilir suyun oldukça büyük bir bölümünün temel kaynağını oluşturmaktadır (Görecelioğlu, 1993). Ormanlar, su ekonomisini düzenleme, su verimi sürekliliğini sağlama, taşkınları önleme, içme suyunun kalite ve miktarını yükseltme ve her çeşit su kaynağı ve tesislerini koruma yönünden gördüğü hizmetler nedeniyle değerlendirildiğinde önemli bir ekolojik fonksiyona sahiptir (Asan ve Şengönül, 1987). Diğer taraftan, ormanlık alanlarda yer alan dereler ve göller gibi sulak alanlar, farklı bitki ve hayvan türlerinin çeşitliliğini ihtiva etme, karada ya da suda yaşayan farklı bitki ve hayvan türlerine habitat oluşturma gibi önemli hizmetler de sunmaktadırlar.

Ormanlarla kaplı bir su havzası, su üreten bir fabrika görevi üstlenmektedir. Bu fabrikada girdi; yağmur, kar, dolu gibi şekillerde havza üzerine düşen yağışlarla şekillenirken, çıktı ise; havza çıkışından akan su ile ifade edilmektedir (Özhan ve Gökbulak, 2001). Ormanlık havzaların su verimi genel itibariyle, sisteme giren ve sistemden çıkan su miktarları arasındaki denge olarak tanımlanmaktadır (Şekil 9). Daha açık bir ifadeyle, bir havzanın su verimi, havza üzerine düşen yağış, intersepsiyon, gövdeden akış, infiltrasyon, yüzeysel akış, transpirasyon ve evaporasyon gibi faktörlerin karşılıklı etkileşimleri ile şekillenmektedir (Asan ve Şengönül, 1987; Asan, 1999).



Şekil 9. Bir havzanın su verimini belirleyen faktörler

Su verimini (diğer bir ifadeyle su bilançosu olarak adlandırılabilir) gösteren bu eşitlikteki terimlerin her biri, çeşitli doğal faktörlerin etkisi altında meydana gelen hidrolojik dolaşımın yapı taşlarını oluşturmaktadır. Şekil 9’da görüleceği üzere, bir ekosistemin su ekonomisinin gelir kısmı yağışlar olup, gider kısmını buharlaşma, akış ve toprak suyu rezervleri oluşturmaktadır. Buharlaşma terimi intersepsiyon, evaporasyon ve transpirasyon süreçleri ile meydana gelen su kayıpları olup, bunların hepsi birlikte “toplam

buharlaşıma” deyimi şeklinde ifade edilmektedir. *Akış* terimi ise, yüzeysel akış, yüzey altı akış, derin sızıntı suyu olmak üzere üç çeşit su kaybını ihtiva etmektedir. Toprak Suyu terimi toprakta depolanan su ile taban suyu kapillar saçağı ile sağlanan su miktarlarının toplamını ifade etmektedir (Çepel, 1993).

Bir havzanın su verimini etkileyen faktörleri; atmosferik etmenler, havza parametreleri ve arazi kullanma biçimi olmak üzere üç ayrı sınıfta toplamak mümkündür. Atmosferik etmenlerden (ışık, sıcaklık, nem, yağış, rüzgar) yağış, yani fabrikanın (su havzası) su girdisi değiştirilememekte ve bu nedenle sabit kalmaktadır. Havza parametreleri olarak nitelendirilen coğrafik konum, alan, yükselti, eğim, şekil, bakı ve jeolojik yapı değiştirilememekte ve bunların su verimi üzerindeki etkileri genellikle sabit kalmakta, toprak (toprak tipi, toprak tekstür ve strüktürü, derinliği, organik madde miktarı) ise uygulanan işlemlere bağlı olarak su verimi üzerinde olumlu ya da olumsuz etkilere sahip olmaktadır. Bir arazinin, orman, mera, tarım alanı veya yerleşim alanı (arazi kullanım türü) olarak kullanılması durumunda ise üretilen su miktarı çok farklı olabilmektedir. Bu kullanımlar arasında yer alan orman ekosistemleri ise, insanların işletme ve planlaması ile su veriminin değiştirilmesinde en etkili yol olarak gözükmektedir (Özhan ve Gökbulak, 2001). Orman ekosistemlerinin bir havzadaki su verimi üzerindeki bu etkisi ağaç türü, ağaç sayısı, göğüs yüzeyi, tepe boyutu, meşcere sıklığı, meşcere orta ve üst boyu, meşcere yaşı, kök tipi ve yoğunluğu ve yaprak miktarı gibi meşcere özelliklerine bağlı olarak değişmektedir.

Ormanlık havzalarda vejetasyonun uzaklaştırılması ya da odun üretimi faaliyetlerinin su bilançosu elemanlarında ve yahut da yıllık su verimi üzerine olan etkilerinin değerlendirilmesi için genellikle karşılaştırmalı havza çalışmaları yapılmaktadır (Stednic, 1996). Yapılan bu çalışmalarda, duyarlılık dereceleri farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları, su ekonomisini genel anlamda niteleme için kullanılan arazideki gözlem, inceleme ve tahmin yöntemidir. Bazıları ise belirli yetişme ortamlarının yerel su ekonomisini, yarı nicel olarak belirlemeyi amaçlayan çalışmalarda kullanılan yöntemlerdir (Çepel, 1993; Çepel, 1995). Diğer bir ifadeyle, bir ekosistemin su verimi; sisteme giren su ile alanda çeşitli yollarla harcanan ve depo edilen su arasında bir dengenin olduğu esasına dayanan su bütçesi yöntemine ilişkin denklemler, bir bölge veya havza içerisine yerleştirilen meteoroloji istasyonlarındaki ölçümlerden elde edilen verilere dayanarak geliştirilen yöntemler veyahut ta iklim verilerinden yararlanan Thornthwaite, Penman,

Jensen-Haise gibi ampirik formüller yardımıyla hesaplanabilmektedir (Özyuvacı, 1976; Özhan, 1982; Çepel, 1995).

Bu çalışma kapsamında geliştirilen simülasyon ve optimizasyon tabanlı orman amenajmanı planlama modellerinde, ormanların su üretim fonksiyonu, daha önce Türkiye'nin birkaç planlama biriminde geliştirilmiş su üretim modellerinin kullanımı ile gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen su üretim modellerinin kim tarafından, ne zaman ve nerede geliştirildikleri aşağıda verilmiştir.

$$S\ddot{U}=(6.1599-0.0632*GY)*10^3 \text{ (Keleş, 2003, Gümüşhane Karanlıkdere) (R}^2= 0.83, SE= 0.28) \quad (1)$$

$$S\ddot{U} = (475.181 * e^{-0.0232 * GY})*10 \text{ (Yolasığmaz, 2004 – Artvin Merkez) (R}^2= 0.68, SE= 0.22) \quad (2)$$

$$S\ddot{U}=(1.3946-0.0233*GY)*10^3 \text{ (Mısır, 2001 – Trabzon Maçka) (R}^2= 0.98, SE= 0.53) \quad (3)$$

$$S\ddot{U}= 1797.97 * e^{-0.0196*GY} \text{ (Mumcu, 2007 – Ardahan Yalnızçam) (R}^2= 0.505, SE=0.19) \quad (4)$$

Burada $S\ddot{U}$ su üretimi miktarını (ton/ha/yıl), GY meşcere göğüs yüzeyini (m^2/ha) ve e ise doğal logaritma tabanı (2.71828) ifade etmektedir.

2.2.3.2.2. Toprak Erozyon Modeli

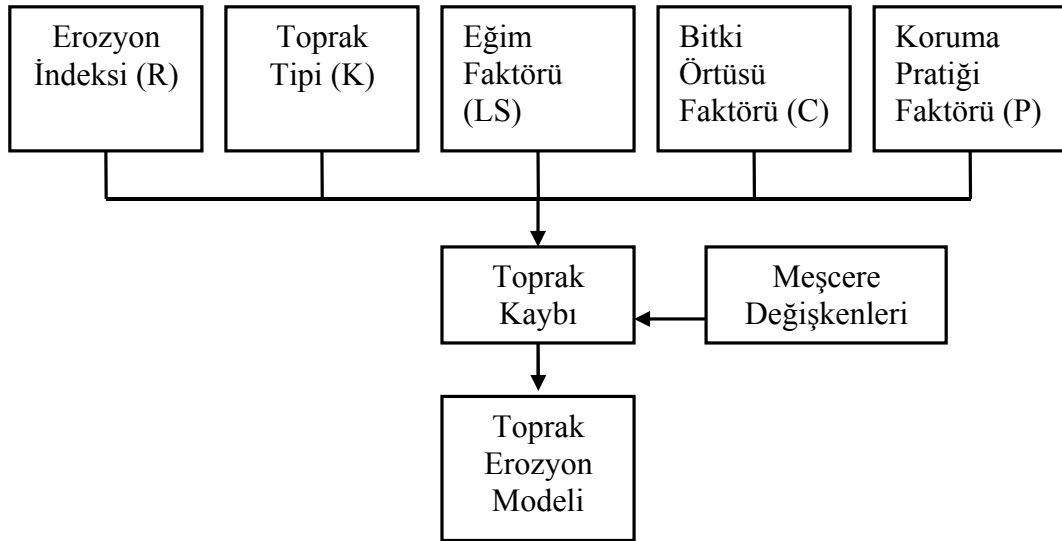
Orman ekosistemlerinin toprak koruma fonksiyonu kısaca; ormanların toprağı sıkı bir şekilde tutarak taşınmasını önleme, toprak kaymalarına ve çığlara engel olma, kumulları tespit etme gibi esas itibariyle su ve rüzgar erozyonuna karşı gördüğü koruyucu hizmetler olarak tanımlanabilir (Asan ve Şengönül, 1987). Diğer bir ifadeyle; ormanlar yüzeysel akışı engellemek suretiyle, bundan kaynaklanacak aşınma işlemini oldukça azaltır. Kök sistemi aracılığıyla toprağın mekanik olarak yerinde sağlamlaşmasını sağlar ve toprak kaymalarını engeller. Rüzgar hızını kesmek suretiyle toprağın aşınarak taşınmasını ve belirli yerleri örtmesini önler. Özellikle sığ toprağa sahip alanlarda toprak yüzeyinin çatlamasını ve taşınmasını önler. Kar kaymalarını ve çığ oluşumunu engelleyerek bu sayede oluşması muhtemel toprak erozyonunu engeller. Yine yağmur damlalarını ince zerrecikler halinde parçalayarak, bunların toprak yüzeyindeki vuruş şiddetini ve dolayısıyla toprak aşınmasını ve taşınmasını azaltır (Eraslan ve Şad, 1993; A.P.K., 2000). Diğer taraftan, ormanlar toprak erozyonunu azaltmak suretiyle su kaynaklarında meydana

gelebilecek sediment birikimini önlemekte ve yine topraktaki organik ve inorganik maddelerin kaybını azaltarak toprak verimliliğinin azalmasını engellemektedir.

Ormanların toprak koruma fonksiyonun orman amenajman planlarına dahil edilmesinde, genellikle toprak erozyonu kavramı ön plana çıkmakta ve toprak erozyonu miktarları sayısal olarak belirlenerek planlara yansıtılmaktadır. Genellikle her bir orman parçasının toprak erozyonu potansiyelleri topografik, edafik ve vejetasyon özelliklerine ait belirli faktörlerin kombinasyonlarının bir araya getirilmesi suretiyle tahmin edilmektedir. Bu amaçla orman envanter çalışmalarında meşcere parametrelerinin belirlendiği orman envanteri ile birlikte, toprak erozyonu değerlerinin belirlenmesi için bir takım topografik değişkenler ve toprak analizlerinin yapılması gerekmektedir (Şekil 10).

Toprak erozyonu değerlerinin tahmin edilmesinde, bilimsel çalışmalarda genellikle Ünlversal Toprak Denklemi kullanılmaktadır (Mısıır, 2001; Karahalil, 2003; Yolasığmaz, 2004). Bu denklem aynı zamanda ormanların toprak koruma değeriinin sayısal olarak belirlenmesinde gerekli olan faktörlerin büyük bölümünü içermektedir. Bu denklem:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \quad (5)$$



Şekil 10. Orman ekosistemlerinde toprak erozyonu modeli

Burada A, toprak kaybı miktarı (ton); R, Yıllık Ortalama Erozyon İndeksi; K, erodobilite faktörü; S, eğim (%); L, yamaç uzunluğu (m.), C bitki örtüsü faktörü ve P ise erozyon koruma pratiği faktörünü ifade etmektedir.

Denklemdaki eğim (S) ve yamaç uzunluğu değişkenleri (L) değerleri konumsal veri tabanından elde edilir. Sayısal değerlerin üretilmesinde çoğunlukla CBS aracılığıyla ve gerekli yazılımlar yardımıyla türetilen üç boyutlu sayısal arazi modellerinden yararlanılmaktadır. Erozyon indeksinin (R) belirlenmesinde yağış miktarı, yağış sıklığı ve yağışın kinetik enerjisi önemli değişkenlerdir. Bitki örtüsü faktörü (C), vejetasyon örtüsü kapallılığını ifade etmek için kullanılan değerlerdir. Toprakların erodobilitesi (K) büyük ölçüde toprağın içyapısını oluşturan fiziksel ve kimyasal özelliklerden kaynaklanmaktadır. Buradan hareketle, çalışma alanı için alınmış toprak örneklerinin analizi yardımıyla elde edilen kil, toz ve kum oranları, organik madde oranı, permeabilite ve toprak yapısından yararlanılmak suretiyle toprak erodobilite faktörü (K) belirlenmektedir. Koruma pratiği faktörü (P) ise toprak erozyonunu önleme pratiklerinin etkisini dikkate alan parametredir.

Bu çalışma kapsamında geliştirilen simülasyon ve optimizasyon tabanlı orman amenajmanı planlama modellerinde, ormanların toprak erozyonu değeri, daha önce Türkiye'nin birkaç planlama biriminde geliştirilmiş toprak erozyonu modellerinin yansıtılması suretiyle gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen toprak erozyonu modellerin kim tarafından, ne zaman ve nerede geliştirildikleri aşağıda verilmiştir.

$$TK = 30.437 * e^{-0.0488 * GY} \text{ (Yolasığmaz, 2004, Artvin Merkez) (R}^2= 0.55, SE=0.69) \quad (6)$$

$$\ln TK = 2.553079 - 0.0650 * GY \text{ (Karahalil, 2003, G. Hane Karanlıkdere) (R}^2= 0.67, SE=0.51) \quad (7)$$

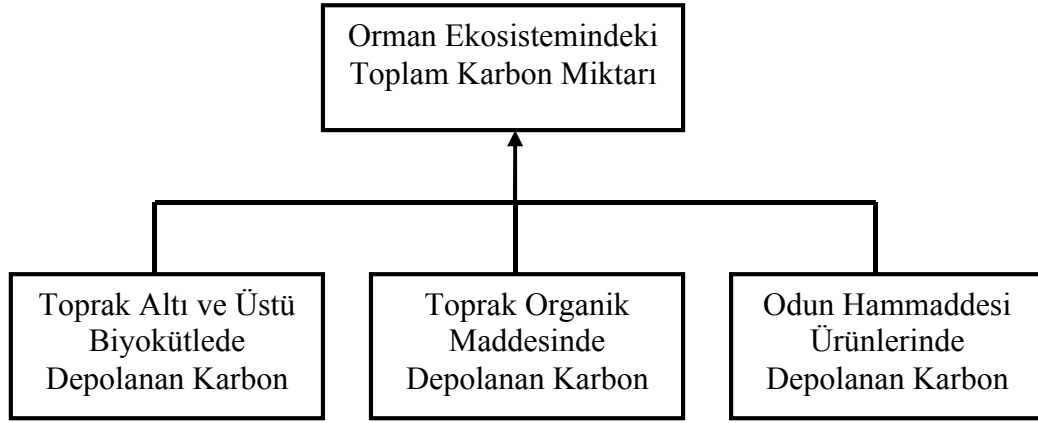
$$TK = 2.614432 - 0.043277 * GY \text{ (Mısır, 2001, Trabzon Maçka) (R}^2= 0.76, SE=0.41) \quad (8)$$

Burada *TK* toprak kaybı (erozyonu) miktarını (ton/ha/yıl), *GY* meşcere göğüs yüzeyini (m²/ha) ve *e* doğal logaritma tabanını (2,71828) ifade etmektedir.

2.2.3.2.3. Karbon Birikimi Modeli

Orman ekosistemleri temel olarak biyokütleleri ve topraklarında karbon biriktirmektedir. Bunlar ise toprak üstü biyokütle, toprak altı biyokütle, ölü örtü, dikili kuru, toprak organik ve inorganik maddesinde biriktirilen karbon olarak alt bileşenlere ayrılmaktadır ve bunlar karbon bütçesi hesaplamalarına temel teşkil etmektedirler (Lim vd., 1999; Ney vd., 2002; Kaipainen vd., 2004; Lal, 2005).

Herhangi bir zamanda bir orman ekosisteminde depolanan toplam karbon miktarı; canlı biyokütle, orman toprağı ve odun hammaddesi ürünlerinde depolanan karbon içeriklerinin toplamı olarak tahmin edilmektedir (Şekil 11). Bu bileşenlerin hesaplanması ile birlikte, bir ormandaki karbon stokları ve akışları hesaplanabilmektedir.



Şekil 11. Orman ekosistemi karbon depolama kaynakları

Orman toprakları dünyada çok geniş alanlar kaplaması nedeniyle, küresel karbon döngüsünde oldukça önemli rol oynamaktadırlar. Tüm topraklar belirli miktarda karbon içermektedir. Bu genellikle topraktaki organik maddenin çürümesiyle oluşur. Çünkü organik maddenin çok az bir kısmı (%5) topraktaki organizmalar tarafından tutulur (Bateman ve Lovett, 2000). Toprakta biriktirilen karbon miktarı; toprak türleri ve yapısı, arazi kullanım değişimi, iklim, ağaç türü, işletme şekli ve ölü örtünün kimyasal yapısı arasındaki karmaşık ilişkilere bağlı olarak değişmektedir (Pussinen vd., 1997; Lal, 2005). Orman amenajmanı çalışmalarında çoğunlukla orman toprağında depolanan karbon miktarı dikkate alınmamaktadır. Burada toprakta depolanan karbonun dinamik yapısının çok uzun zaman sürecinde değişikliğe uğramasından kaynaklanmaktadır. Orman işletme faaliyetlerinin özellikle ormanın toprak üstü ve altı biyokütlesini etkilemesi nedeniyle, genellikle orman biyokütlesinde ve odun ürünlerinde depolanan karbon miktarları oldukça önem arz etmektedir.

Orman ekosistemleri yaprakları, gövdeleri, dalları ve kökleri ile birlikte ölü örtü, diri örtü ve alt tabakada yer alan ölü ve kuru ağaçlarda büyük oranlarda karbon depolama kapasitelerine sahiptir (Ney vd., 2002). Orman ağaçları (aynı zamanda diğer bitkiler) belirli bir periyot içerisinde büyüme ile birlikte biyokütle artımı yaparlar ve burada fotosentez

olayı ile atmosferdeki karbondioksiti biyokütlelerinde bağlarlar. Bununla birlikte, orman ekosistemleri yeşil yaprakları ile karbonhidrat ürettiği fotosentez olayı ile atmosferden depoladıkları CO₂'in bir kısmını solunum ile tekrar atmosfere vermektedir (Song ve Woodcock, 2003). Yine orman ağaçları, ekosisteme yapılan doğal ve yapay müdahalelere bağlı olarak kesim, kuruma ve ölme sonucu bir miktar biyokütleyi kaybetmektedirler. Bu müdahalelerin bir sonucu olarak; kökler, dikili veya devrik gövdeler, dallar, üretim artıkları ve üretim sonucu elde edilen odun hammaddesi ürünlerinin kullanımı neticesinde, daha önce biyokütle içerisinde depolanmış olan CO₂ yavaş bir şekilde atmosfere geri bırakılmaktadır. Bu açıklamalar ışığında, orman biyokütlesinde belirli periyotlarda meydana gelen karbon dengesi (Cb_t) aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$Cb_{t+1} = Cb_t + Ks (Ba_t - Dk_t - \dot{U}a_t - \dot{U}_t - Nk_t) \quad (9)$$

Burada, Ks biyokütleyi karbona dönüştüren sabit katsayı (genellikle 0.5 olarak alınmaktadır), Ba_t t periyodundaki biyokütle artımını, Dk_t t periyodundaki doğal kurumayı, $\dot{U}a_t$ t periyodundaki yaprak, dal ve köklerden oluşan üretim artıklarını, \dot{U}_t t periyodundaki üretimi ve Nk_t ise t periyodundaki üretime bağlı olarak meydana gelen kurumayı ifade etmektedir. Orman biyokütlesinde depolanan karbon miktarının hesaplanmasında orman envanteri veri tabanı çok önemlidir. Bunlar; alan, orman tipi, orman yaşı, yetiştirme ortamı durumu, müdahale istatistikleri (üretim veya doğal müdahaleler), dikim gibi işletme faaliyetleridir. Ayrıca, her bir orman tipinde var olan her bir yapraklı ve ibrelili biyokütle hesabı için, yapraklar, dallar, ticari gövdeler, alt ticari gövdeler, ince kökler ve kalın köklerin hesaplanması gerekmektedir (Liu vd., 2002). Bu tür veriler ilgili meşcere veya ağaç türleri için geliştirilmiş hasılat ve büyüme modelleri, meşcere biyokütle tabloları ile doğal ve yapay müdahalelere ilişkin tutulan envanter kayıtlarından alınabilmektedir (Masera vd., 2003; Huston ve Marland, 2003).

Orman ekosistemlerinde yapılan üretim faaliyetleri ve bu faaliyetler sonucu elde edilen odun ürünlerinin kullanılması karbon döngüsü üzerinde oldukça önemlidir. Üretim sonucu elde edilen eta, odun ürünü çeşitleri itibariyle belirlenmektedir. Bu ürünler kullanımdan kalkıncaya kadar karbonu içlerinde tutmakta ve belirli bir ayrışma oranıyla/fonksiyonuyla atmosfere tekrar bırakılmaktadırlar (Pussinen vd., 1997). Üretim sonucu meydana gelen kısa ömürlü odun ürünlerinin tüketimi, uzun ömürlü ürünlerin ise çürümesi sonucu atmosfere karbon emisyonu yayılmaktadır. Yayılma hızı odun ürünlerinin

çeşitlerine göre farklı olabilmektedir. Odun hammaddesi yakacak olarak kullanıldığında ya da kâğıt gibi kısa dönem amaçlar için kullanıldığında anında bir CO₂ salınımı meydana gelirken, kaplamalık veya kerestelik gibi uzun dönem amaçlı odun ürünlerinden meydana gelen salınım yavaş ve uzun bir dönemde gerçekleşmektedir. Ancak, farklı odun ürünleri yaşam süreleri bitmeden başka kullanımlara da dönüşebilmektedir. Başka bir deyişle, bir geri dönüşüm söz konusu olabilmektedir. Kullanımdan kalkan kimi odun ürünleri ise enerji üretimi amacı ile yakılmak sureti ile kullanılabilen ve karbon emisyonu bir anda olabilmektedir. Bir kısım ürünler ve ürün artıkları ise atık alanlara bırakılmak sureti ile karbon emisyonunun çok yavaş bir şekilde gerçekleşmesi sağlanabilmektedir. Çünkü atık alanlarda, elden çıkarılan ürünler çok yavaş ayrışır ve atmosfere yayılır. Bu nedenlerden dolayı, üretim ve odun ürünlerinden meydana gelen emisyon miktarının karbon bütçesi hesaplamalarına dahil edilmesi oldukça önemlidir (Lim vd., 1999).

Orman ekosistemlerindeki karbon bütçesinin hesaplanmasında tüm bütçe elemanlarının sayısal olarak hesaplanması gerekmektedir. Ancak özellikle diri ve ölü örtü ile orman toprağında depolanan karbona ilişkin yeterli ve doğru bilginin olmaması, toprakta depolanan karbonun dinamik yapısının çok uzun zaman sürecinde değişikliğe uğraması ve orman işletme faaliyetlerinin özellikle ormanın toprak üstü ve altı biyokütlesini etkilemesi nedeniyle, orman amenajmanı planlama çalışmalarında genellikle orman ağaçlarına ilişkin biyoküttelede depolanmakta olan karbon dengesi kullanılmaktadır. Dolayısıyla, bir orman ekosisteminin net karbon birikimi orman ekosistemlerindeki girdi (büyüme) ve çıktı (odun üretimi, ayrışma) arasındaki fark olarak tahmin edilmektedir (Pussinen vd., 1997).

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

$$CB_t = [\gamma(V^t - V^{t-1} + H_t) - CE_t] \quad (10)$$

Burada, γ , odun biyokütlesindeki 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.

Net karbon birikimi değerinin hesaplanması için öncelikle orman ekosistemini oluşturan her bir ağaç türü için biyokütle miktarlarının hesaplanması gerekmektedir. Her bir ağaç türüne ilişkin toprak altı ve toprak üstü biyokütlenin hesaplanmasında, literatürden elde edilen denklemler veya sabit katsayılardan faydalanılabilir (Asan, 1995b; Asan vd., 2002). Bu kapsamda, her bir ağaç türünün sahip olduğu serveti taze ağırlıktaki biyokütleyle dönüştürecek katsayılar belirlenmelidir. Meşcerelerin sahip olduğu uzun dönemdeki servet miktarları orman envanter verileri ve hasılat tablolarından faydalanılmak suretiyle tahmin edilmektedir. Yine meşcerelerin biyokütle miktarlarının belirlenmesine yönelik, uygun regresyon denklemi ile geliştirilmiş tablolardan faydalanmak söz konusudur. Toprak altı biyokütle miktarı ise çoğunlukla toprak üstü biyokütlenin belirli bir oranda çarpılması suretiyle belirlenmektedir. Daha sonra taze ağırlıkta hesaplanan biyokütle miktarları yine önceden kararlaştırılmış dönüşüm faktörleri yardımıyla fırın kurusu ağırlıktaki biyokütleyle dönüştürölmektedir. Son olarak, toplam fırın kurusu ağırlıktaki biyokütle uluslar arası bazda kabul görmüş 0.5 sabit katsayısı (kullanıcının isteğine ve yetişme ortamı koşularına göre değişebilir) ile çarpılarak biyokütlerde depolanan karbon miktarı hesaplanmaktadır. Örneğin, Asan vd. (2002) Türkiye ormanlarının karbon depolama miktarlarının hesaplanması için belirli katsayılar belirlemişlerdir. Yapraklı ve ibrelili ağaç türlerinin taze toprak üstü orman biyokütlesinin hesaplanmasında dikili serveti taze ağırlıktaki biyokütleyle dönüştüren sırasıyla 1.25 ve 1.2 katsayılarını kullanmışlardır. Taze ağırlıktaki biyokütle miktarlarını fırın kurusu ağırlığa dönüştürmek için yapraklı ağaç türleri için 0.64 ve ibrelili ağaçlar için 0.473 katsayılarını önermişlerdir. Kök (toprakaltı) biyokütlesi ise, toprak üstü biyokütle değerlerinin belirli dönüşüm faktörleri ile çarpılmasıyla elde edilmiştir. Bu katsayılar yapraklılar için 0.15 ve ibreliler için 0.20 olarak belirlenmiştir. Son olarak, toplam fırın kurusu ağırlıktaki biyokütle 0.45 (Türkiye ormanlarına özgü tahmin edilmiş) katsayısı ile çarpılarak biyokütlerde depolanan karbon miktarı hesaplanmıştır.

Karbon emisyon miktarlarının hesaplanmasında ise öncelikle her bir periyotta elde edilen üretim miktarlarının odun ürünü çeşitlerine dönüştürölmeli gerekmektedir. Her bir odun ürünü çeşidi miktarı, ağaç türleri için daha önceden oluşturulmuş odun ürünü çeşitleri tablosundan yararlanılarak tahmin edilmektedir. Burada diğer önemli bir husus ise, her bir odun hammaddesinde depolanan karbonun ne kadar bir zamanda atmosfere bırakılacağıdır ki bu kapsamda her bir ürün tipi için yıllık ayrışma oranlarının belirlenmesi (diğer bir yol ise yaşam sürelerinin belirlenmesi) önemlidir. Her bir üründe daha önce depolanmış olan

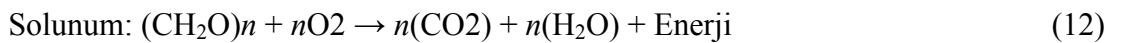
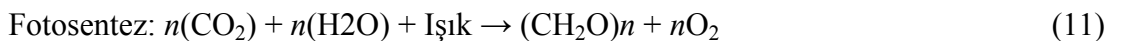
karbon miktarı o ürünün yıllık ayrışma oranına göre zaman sürecinde atmosfere yayılacaktır. Örneğin, Keleş ve Başkent (2006), Keleş ve Başkent (2007), Keleş vd. (2007) ve Başkent vd. (2008) odun ürünlerinden atmosfere yayılacak karbon miktarını hesaplamak için literatür çalışmalarından her bir ürün için elde ettikleri yaşam sürelerini kullanmışlardır. Bu çalışmalarda yaşam süreleri tomruk ve tomruktan elde edilecek ürünler için 50 yıl, maden direği için 40 yıl, sanayi odunu için 15 yıl, yakacak odun, kök ve üretim artıkları için ise bir periyot (10 yıl) olarak belirlenmiştir. Bu ürünlerin birincil kullanımı sonrasında tekrar dönüşümünün olmayacağı ve emisyonların yaşam süreleri boyunca yavaş bir süreçte atmosfere yayılacağı varsayılmıştır.

2.2.3.2.4. Oksijen Üretim Modeli

Oksijen (O₂) üretimi, orman ekosistemlerin topluma sunmuş olduğu pek çok çevresel değerlerden bir tanesidir. Orman ağaçları oldukça önemli olabilecek miktarlarda O₂ üretmektedir. Ancak, oksijen üretimi karbon depolama, biyoçeşitlilik koruma, toprak koruma ve hava kirliliği gibi diğer orman değerleri ile kıyaslandığı zaman önem derecesi itibarıyla daha alt sıralarda yer almaktadır. Bunda ise, atmosferdeki O₂ miktarının az bir kısmının orman ekosistemleri tarafından üretilmesi, mevcut oksijen miktarının önemli bir ekolojik problem olmaması ve atmosferdeki O₂ içeriğinin genellikle sabit kalması etkili olmaktadır (Nowak vd., 2007).

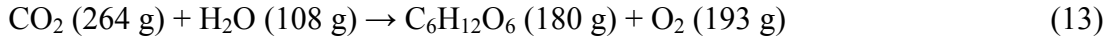
Ormanlar sera gazı etkisi ve küresel ısınmanın azalmasına neden olan karbon gazının depolanması ile insanoğlunun varlığı için gerekli olan oksijen üretimine neden olmaktadır. Orman ekosistemleri, fotosentez olayı ile havadaki CO₂'i emerek ve su, ışık ve topraktaki ihtiyaç duydukları elementleri kullanarak kendileri için gerekli besinleri sağlamakta, onu biyokütleyle çevirmekte ve bu süreçte canlıların ihtiyaç duydukları O₂ üretmektedir.

Orman ekosistemlerinden kaynaklanan net O₂ üretimi, fotosentez ile üretilen O₂ miktarından solunum ile tüketilen O₂ miktarı arasındaki farktan faydalanmak suretiyle hesaplanmaktadır (Nowak vd., 2007).



Bitkiler tarafından fotosentez ile birlikte depolanan karbondioksit miktarı yıl boyunca solunum ile serbest bırakılan CO₂ miktarını aştığı takdirde, bitkiler karbon biriktirirler. Bu aynı zamanda, net karbon birikimine sahip olan ağaçların net oksijen üretimi anlamına gelmektedir. Üretilen O₂ miktarı atom ağırlıklarına bağlı olarak karbon birikiminden faydalanılarak tahmin edilmektedir. Orman ekosistemlerinde meydana gelen biyokütle artımı ile birlikte daha fazla CO₂ uzaklaştırılacak ve daha fazla oksijen üretilecektir. Aksi bir durum olarak ise, ormanlık alanların azalması ve tahrip edilmesi ile birlikte ayrışma süreçlerine bağlı olarak atmosfere CO₂ salınacak ve O₂ tüketilecektir (Nowak vd., 2007).

Orman tarafından gerçekleştirilen oksijen üretim miktarının sayısal olarak hesaplanmasında fotosentez olayına ait kimyasal reaksiyona ait denklem ve bu denklemde yer alan CO₂, glikoz, su ve O₂ bileşenlerinin atomik ağırlıklarından faydalanılmaktadır.



Bu denkleme göre, orman ağaçları 162 gr kuru materyal üretirken, 264 gr CO₂ tüketmektedir. Yine bu tepkime sonucunda 193 gr oksijen açığa çıkmaktadır. Daha açık bir ifadeyle, 1 gr kuru materyal üretmek için 1.63 gr CO₂ ihtiyaç olmakta ve sonuçta 1.2 gr oksijen atmosfere salınmaktadır. Sonuçta orman ekosistemleri tarafından gerçekleştirilen net O₂ 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).

$$\text{Net O}_2 \text{ üretimi (kg/yıl)} = \text{net C birikimi (kg/yıl)} * (32/12) \quad (14)$$

2.2.3.2.5. Odun Ürün Çeşitleri Modeli

Orman ağaçları kesildikleri zaman, belirli standartlara göre bölünmek suretiyle odun çeşitlerine ayrılmaktadır. Bu ürünler olduğu gibi kullanılacağı gibi, işlenmek suretiyle farklı amaçlar için de kullanılabilir. Odun ürünü çeşitleri niteliklerine ve boylarına göre; tomruk, maden direği, sanayi odunu, sırik ve çubukluk odun ve yakacak odun olarak ayrılabilir. Her bir odun ürünü çeşidinin ekonomik değeri yine her bir ürünün kalitesine ve boyutlarına göre değişiklik göstermektedir.

Ülkemizde, kızılçam, sarıçam, göknar, ladin, sedir, kayın ve meşe gibi önemli asli ağaç türleri için, odun ürünü çeşitlerinin belirlenmesine yönelik odun ürünü çeşitleri tabloları (modeller) geliştirilmiştir (Sun vd., 1977). Bu tablolarda, her bir ağaç türünün göğüs çapına göre sahip olduğu servetin, odun ürünlerine dağılımları oransal olarak gösterilmektedir. Diğer taraftan, meşcere yaşının da bu tabloların geliştirilmesinde kullanılması mümkündür. Dolayısıyla her bir ağaç türünün belirli yaş veya çaptaki servetinden hareketle, o yaş ve çaptaki odun ürünleri oranları ile servet değerinin çarpılması suretiyle; tomruk, maden direği, sanayi odunu ve yakacak odun gibi ürün miktarlarını sayısal olarak ortaya koymak mümkündür.

Bununla birlikte, meşcere hacminin odun ürünü sınıflarına göre dağılımının belirlenmesi ile meşcerelerin üretimi ile birlikte odun hammaddesinden elde edilecek para değerinin hesaplanması mümkündür. Her bir ürünün ekonomik değerinin belirlenerek orman amenajman planlarında sayısal olarak belirlenmesinde ise, ilgili işletmenin ekonomik bilançolarından faydalanılmaktadır. Ancak bu tür bir hesaplama genel bir hesaplama şekli olmakta, odun ürün çeşitlerinin ürün kalitesi itibarıyla ayrımının yapılamaması ve bu doğrultuda ekonomik değerinin hesaplanamaması dolayısıyla bir eksiklik söz konusu olabilmektedir.

2.2.3.2.6. Odun Üretimi Ekonomik Modeli

Orman amenajman planlarına ekonomik verilerin dahil edilmesi durumunda, odun hammaddesi üretiminden elde edilecek gelirler ve bu üretim sürecinde gerçekleşen her türlü giderlerin sayısal olarak belirlenmesi gerekmektedir. Bu tür ekonomik veriler ise, ilgili planlama biriminin ait olduğu işletme müdürlüğünün işletme bilançolarından sağlanmaktadır. Odun hammaddesine yönelik olarak geliştirilecek bir ekonomik modelde bulunması gereken temel bileşenler gelirler ve giderler olup, bunlar ayrıntılı olarak aşağıda irdelenmiştir (Ok, 1997; Türker, 2000).

Gelirler: Toplam üretim hacminin ürün çeşitlerine (tomruk, maden direği, sanayi odunu ve yakacak odun) dağılımı meşcere yaşına veya çapına bağlı olarak % ifade edilmelidir. Bu ürünlere ilişkin satış fiyatlarının (piyasa, tahsis veya pazarlıklı satış) ortalaması alınmak suretiyle ortalama fiyatlar belirlenir. Birim satış fiyatlarının ve üretilen miktarların çarpılması suretiyle satış gelirleri ve dolayısıyla gelirler hesaplanabilir.

Giderler: Giderler, üretim giderleri, tarife bedeli, satış gideri ve tevzi giderlerden oluşmaktadır. Üretim gideri, hasat ve taşıma masraflarından meydana gelmekte olup

Üretim birimi başına hesaplanmaktadır. Tevzi giderler, genel idare giderleri, orman bakım giderleri ve amortisman giderlerinden oluşmakta ve üretim birimi başına hesaplanmaktadır. Tarife bedeli, ormandaki dikili ağaç servetinin bir metrekpnn değerine tarife bedeli denilmektedir. Bu değer, ağaç servetinin mevcut değeri olmaktadır. Diğer bir ifadeyle, bu değer, ağacın o andaki maliyet değeri ya da kesim değeri olarak düşünülebilir. Üretim birimi başına hesaplanmaktadır. Diğer bir gider olan satış gideri ise, orman işletmesinin o yıl içinde elinde bulundurduğu ürünleri satmak için katlandığı giderlerin, satılan ürün miktarına bölünmesiyle, metreküp başına ortalama değer olarak bulunabilmektedir. Üretim birimi başına hesaplanmaktadır.

Yukarıda verilen giderlerden başka bir de ağaçlandırma gideri bulunmaktadır. Bu gider aynı zamanda kültür masrafları olarak da adlandırılabilir. Meşcere tesis etme ve devam ettirme amacıyla gerçekleştirilen masraflardır. Boş bir arazide, meşcere ya da orman tesis etmek amacıyla, ağaçlandırma yapılması, bu işlem içinde; saha temizliği, toprak işlemesi, fidan temini, alanın koruma altına alınması ve gençlik bakımı için yapılan masraflardır. Birim alan için hesaplanmaktadır.

Orman ekosistemlerinin odun hammaddesine yönelik ekonomik değişkenlerinin amenajman planlarına yansıtılmasında dikkate alınacak önemli bir husus, geniş kapsamda bölme ve dar kapsamda bölmeciklerin konumsal özelliklerinin dikkate alınması gereğidir. Konumsal zellikleri dikkate almayan bir planlama modelinde ekonomik veriler planlamaya dahil edilirken her bir bölmeden elde edilecek gelir ve giderlerin hesaplanmasında konumsal parametreler dikkate alınmamaktadır. Oysaki bir ormanın temel üretim birimleri olan bölmeler veya bölmeciklerin konumu ekonomik verilerin daha doğru ve güvenilir hesaplanmasında oldukça önemlidir. şöyle ki, her bir bölmenin konumu ile doğrudan bağlantılı olan eğim, yükselti, diri örtü durumu, kayalık alan durumu, yıllık yağış, sürütme mesafesi, kullanılan sürütme tekniği, yol tipi, bölmelerin yola ve depoya olan uzaklığı gibi parametreler, her bir bölmenin kesme, sürütme ve taşıma masraflarının farklı olmasını doğurmaktadır. Ancak stratejik (uzun dönem) orman amenajman planlamasında bu durum genelde göz ardı edilmekte ve konumsal özellikler taktiksel (orta) ve operasyonel (kısa) dönem planlamalarda dikkate alınmaktadır. Dolayısıyla gelir ve giderleri doğrudan etkileyen konumsal özellikler dikkate alınmamakta ve her bir bölme için gelir ve giderler ortalama olarak alınmakta, her bir meşcereden üretilen eta ve dikili servet değerleri temel değişken parametreler olmaktadır. Gelir ve giderlere ilişkin her türlü verilerin genel düzeyde ve ortalama olarak alınmasının bir nedeni, işletme bilançolarından

alınan ekonomik verilerin detaylı olmamasından kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte, her türlü gerekli ekonomik veri ve bilgilerin olduğu koşullarda, CBS yardımıyla oluşturulan bölmecek düzeyindeki orman veri tabanları aracılığıyla ayrıntılı ekonomik modellerin geliştirilmesi yine mümkün olabilecektir.

Net Bugünkü Değer: Orman işletmelerinde idare süresi oldukça uzundur. Bu süre içinde, değişik dönemlerde ürün elde edilmekte, buna karşılık harcamalar yapılmaktadır. Çeşitli dönemlerde elde edilen ürün ve harcamaların karşılaştırılabilmesi için, bunların, temel olarak kabul edilen bir zamandaki değerlerinin bulunması gerekir (Türker, 2000). 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).

$$NBD = \sum_{n=1}^m \frac{B - C}{(1 + r)^n} \quad (15)$$

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.

2.2.3.2.7. Odun Dışı Orman Fonksiyonlarına İlişkin Ekonomik Modeller

Orman ekosistemlerinden odun üretimi dışında değişik bitkisel kaynaklı (örneğin tıbbi ve aromatik bitkiler, mantar, süs bitkileri, yaprak, ot, hayvan yemi) ve hayvansal kaynaklı (örneğin av hayvanı, deri, boynuz, bal, ilaç) odun dışı ürünler elde edilebilmektedir. Bu ürünler somut ürünler olup, her bir ürünün parasal değerini hesaplamak kısmen de olsa mümkündür. Bu ürünlerin ekonomik değeri tam olarak

belirlenememesine rağmen, özellikle kırsal kesimlerde fakirliğin azaltılmasında ve halkın refahının artırılmasında oldukça önemlidir. Diğer taraftan ormanlar, bir takım hizmetler sunmaktadır. Bunlar biyoçeşitlilik koruma, rekreasyon, oksijen üretimi, karbon depolama, hava temizleme, su kalitesini artırma, toprak erozyonunu önleme gibi hizmetlerdir.

Aslında, ormanlar tarafından sağlanan tüm fonksiyonların ekonomik bir değeri olup her biri aynı zamanda ekonomik bir değer ifade etmektedir. Odun hammaddesinin piyasası olduğu için ekonomik değerinin tahmin edilmesi kısmen kolay olmasına rağmen, çoğu önemli orman fonksiyonunun (hizmetler) piyasası olmadığı için ekonomik bir değeri yokmuş gibi algılanmaktadır. Hâlbuki orman fonksiyonlarına hak ettikleri ekonomik değer yüklendiği zaman, çoğu kesim tarafından orman ekosistemlerine bakış açısı köklü biçimde değişecektir. Örneğin, odun dışı orman fonksiyonlarına ekonomik bir değer yüklenmesi ile birlikte, arazi kullanım kararları kesinlikle değişecektir. Ormanların sunmuş olduğu ve ekonomik olarak ifade edilmeyen orman fonksiyonlarının parasal karşılığının tahmin edilmesi ise çok zor olup, günümüzde bu konular üzerinde bilimsel çalışmalar hızla artmaktadır (Pearce, 2001).

Su Üretimi: Ormanlar su koruma fonksiyonuna sahip olup; sediment birikimi ve besin maddesi kayıpları itibariyle tarımsal ürünlerde meydana gelen zararın belirlenmesi, suyun kalitesini artırmak için yapılacak harcamalar, sulama suyunun ürünler üzerinde yaptığı etki, balıkçılık üzerindeki olumlu etkisi gibi faktöre göre havza korumanın ekonomik değeri hesaplanabilir (Pearce, 2001). Orman ekosistemleri suyu temizler ve böylelikle kalitesini artırır. Örneğin İsviçre’de, orman ekosistemlerinde uzanan kanallar boyunca elde edilen toplam suyun, %38’ine müdahale edilmemektedir. 1 m³ suyun müdahale maliyetinin 0.20 İsviçre Frangı olduğu düşünüldüğünde, herhangi bir müdahale gerektirmeyen ve çoğunluğu ormanlık havzalardan elde edilen suyun kullanımı ile yılda yaklaşık 64 milyon \$ maliyet tasarrufu sağlamaktadır. Orman ekosistemlerinin selleri önlemek için korunması aynı zamanda birçok avantajları beraberinde getirir. Koruma ile birlikte, biyoçeşitlilik korunur, yüksek kaliteli odun üretimi gerçekleştirilir, düzenli avlanma ve turizm ile birlikte ek bir gelir yaratılabilir (Enderlein ve Bernardini, 2005).

Orman ekosistemlerinden üretilen suyun birim fiyatının belirlenmesinde Rowse ve Center (1998) ve Keleş (2003), öncelikle ormandan elde edilen suyun kullanım alanlarını kendi ülke koşullarına göre belirlemişlerdir. Bunları içme-kullanma, endüstri ve tarım amaçlı olarak üç gruba ayırmışlar ve suyun her bir kullanım için ekonomik değerini ilgili kurum veya kuruluşlardan temin etmişlerdir. Daha sonra, her bir kullanım için belirlenen

oranlar ve birim fiyatların ağırlıklı ortalamalarını almak suretiyle, suyun birim fiyatını tahmin etmişlerdir.

Toprak Erozyonu: Toprak erozyonu genellikle doğrudan ve dolaylı olmak üzere iki farklı etkiye sahiptir. Toprak erozyonunun ekonomik açıdan değerlendirilmesinde bu iki etki ayrı olarak değerlendirilmektedir. Toprak erozyonu ekonomik değerinin belirlenmesinde “İkame Maliyetleri” yöntemi kullanılmaktadır (Saastamoinen, 1994). Toprak erozyonunun doğrudan maliyetinin hesaplanmasında bir takım değişkenler söz konusudur. Toprak erozyonu ile birlikte, toprak bitki besin elementleri azalmakta, toprağın su tutma kapasitesi azalmakta, kökler için mevcut toprak derinliği azalmakta ve dolayısıyla toprak verimliliği azalmaktadır. Neticede ormanın sağlayacağı verim azalmaktadır. Yine arazinin terk edilmesi gibi bir durum ortaya çıkabilmektedir. Bunlar aynı zamanda toprak erozyonunun ekonomik açıdan yaptığı etkilerdir. Taşınan materyalin geriye dönüşüm maliyeti, bitki besin maddelerinin yenileme maliyeti, ormanda üretimde meydana gelen kayıpların maliyeti, tarımsal üretimde meydana gelen kayıpların maliyeti gibi bazı “ikame maliyetleri” hesaplanmak suretiyle toprak erozyonunun doğrudan maliyeti (dolayısıyla ekonomik değeri) hesaplanabilir. Örneğin Karahalil (2003) ve Yolasığmaz (2004), bir ton toprağın ekonomik değerini, toprak üretim maliyeti üzerinden gitmek suretiyle tahmin etmişlerdir. Bunun için üretici firma olan fidanlıkların, toprağı satın alma, yükleme ve taşıma, toprak içerisine katılan her türlü kimyasal maddeler (organik ve inorganik) ile birlikte toprağın elde edilmesi için yapılan harcamalarını dikkate almışlar ve birim ton başına toprağın ekonomik değerini belirlemişlerdir.

Toprak erozyonu ile birlikte, erozyon sonucu oluşan sediment göl, baraj, nehirler gibi su depolarına taşınmakta ve bu alanların depolama kapasitesini azaltmakta veya habitat karakteristiklerini bozmaktadır. Tüm bu olumsuz etkiler aynı zamanda ekonomik etkilere sahip olup, toprak erozyonunun dolaylı maliyetleri olarak adlandırılır. Toprak erozyonunun diğer sektörler (sanayi, hizmet, tarım) üzerinde yaptığı olumsuz ekonomik etkiler, piyasa ürün ve hizmetlerine yapılan zararlar, sermaye üzerine etkiler, rekreasyonel ve turizm ile bağlantılı refah üzerine yaptığı etkilerin ekonomik sonuçları tahmin edilmek suretiyle, toprak erozyonunun dolaylı ikame maliyeti (dolayısıyla ekonomik değeri) hesaplanabilir.

Karbon Depolama ve Oksijen Üretimi: Orman ekosistemleri atmosferdeki karbondioksit gazını biyokütlelerinde tutmak ve fotosentez olayı ile atmosfere oksijen gazı salmak suretiyle, önemli gaz düzenleyici fonksiyonlara sahiptir. Ormanlarda depolanan karbonun bir değerinin olmasına rağmen, ekonomik değeri “0” olarak alınmaktadır. Ancak

son yıllarda, özellikle uluslar arası yapılan anlaşmalarda küresel ısınmanın bir sonucu olarak orman ekosistemleri tarafından tutulan karbonun ekonomik bir değerinin olduğu ve bunun hesaplanma yöntemlerinin araştırıldığı görülmektedir. Karbonun birim değeri genellikle karbon emisyonunun neden olmuş olduğu harici zarar (tarımsal üretimin azalması veya deniz seviyesinin yükselmesi gibi), emisyonun kontrol edilmesi için yapılan maliyetler veya emisyon kontrolü ile sağlanan faydanın belirlenmesi ile tahmin edilebileceği gibi emisyonlar üzerine yüklenen masraflar (örneğin karbon vergileri) ile tahmin etmek mümkündür (Strange vd., 1999). Örneğin Başkent vd. (2008) yaptıkları bir çalışmada bir birim karbonun ekonomik değerini, atmosferdeki karbon emisyonunun kontrol edilmesi için yapılan maliyetlere göre hesaplanmış 20 \$ değerini kullanmışlardır.

Atmosferde orman ekosistemleri tarafından üretilen oksijen gazının birim ekonomik değerinin belirlenmesi üzerine önemli sayılabilecek bir bilimsel çalışma olmamasına rağmen, Başkent vd. (2008) tarafından bir yöntem ortaya konulmuştur. Bu yöntemle göre bir birim oksijen gazının fiyatı, oksijeni gaz olarak üreten çok sayıda üretici firmaların bir birim oksijen gazını üretme maliyetlerinin ortalaması alınmak suretiyle belirlenmiştir.

2.2.3.3. Planlama Stratejileri

Orman amenajmanı bir karar verme sanatı olup, geleneksel anlamda orman amenajmanı kavramı değerlendirildiğinde orman amenajmanı kararları ormanlardan odun hammaddesi üretimine yönelik kaynakların çıkarılmasına yoğunlaşmaktadır. Bu süreçte orman amenajmanı bir takım sorulara cevap aramaktadır. Bunlar: Hangi alanlar odun üretimine konu olacak? Ne kadarlık bir alan odun hammaddesi üretimine tahsis edilecek? Hangi alanlar üretime alınacak ve hangi alanlar doğal gelişim seyrine bırakılacak? Üretime veya korumaya alınacak meşcerelere hangi tür silvikültürel müdahaleler uygulanacak? Günümüzde ise geleneksel orman amenajmanı felsefesi değişmiş ve neticede planlama ve işletme ile ilgili endişeler, fırsatlar ve darboğazlar çeşitlenmiş ve artmıştır. Özellikle büyük bir bölümü kamuya ait olan orman ekosistemlerinde, odun hammaddesi üretimine yönelik klasik orman amenajmanı, ekosistem tabanlı çok amaçlı orman amenajmanı yönünde değişikliğe uğramıştır. Bunun en önemli nedenleri ise, ekosistem sağlık ve bütünlüğü, biyolojik çeşitlilik, çok amaçlı faydalanma ve sürdürülebilir orman işletmeciliğidir. Bu değişiklik ise beraberinde bir takım soru veya sorunların ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bunlar: Hangi alanlar odun dışı orman ürün ve hizmetlerine tahsis edilecektir? Hangi orman fonksiyonundan ne kadar ürün veya hizmet üretilecek veya sağlanacaktır? Hangi

alanlar yaban hayatı veya biyoçeşitlilik korumaya ayrılacaktır? Hangi ağaç türleri karışımı ve gelişim çağları ile birlikte habitatlar oluşturulacaktır? Doğal ve silvikültürel müdahalelerin seyirlerini nasıl taklit ederiz ya da modelleyebiliriz? Orman ekosisteminde mevcut ekosistem, tür veya genetik çeşitliliğin sürekliliğini nasıl sağlayabiliriz? İnsanların çeşitlenen ve giderek artan taleplerini karşılarken koruma amaçlarını nasıl başarabiliriz? Farklı işletme amaçlarına bağlı olarak en iyi orman ekosistem yapı ve kuruluşu nedir ve bu yapı ve kuruluşu orman ekosistemini nasıl getirebiliriz? Ormandan sürdürülebilir bir şekilde faydalanmak için uluslar arası ve ulusal düzeydeki yasa veya prensipleri uygulamaya nasıl aktarabiliriz? şeklinde çok sayıda sorular çıkarmak mümkündür.

Yukarıda verilen klasik ve modern orman amenajmanı yaklaşımları birlikte değerlendirildiğinde, orman amenajmanında planlama stratejileri, bir planlama biriminden beklenen farklı amaçlar, hedefler, kısıtlayıcı koşullar, meşcerelere uygulanacak doğal ve yapay müdahaleler ile en uygun planlama tekniğinin seçilmesi gibi “kararlar dizisi” nden oluşmaktadır. Daha açık bir ifadeyle, bir planlama stratejisi tanımlanırken, ormanın gelecekteki arzu edilen durumu, ekonomik kaynakların düzenlenmesi, plan çıktılarının kontrolü ve silvikültürel müdahalelerin düzenlenmesi anlaşılmaktadır.

İşletme amaçları doğrudan kavrandığı gibi dolaylı olarak da belirlenebilir. Amaç; en yüksek odun üretimi, en yüksek biyokütle, en uygun ürün çeşidi kombinasyonu, en uygun biyoçeşitlilik, en uygun su üretimi, optimal ziyaretçi sayısı, kar maksimizasyonu, maliyet minimizasyonu olduğu gibi net bugünkü değer maksimizasyonu da olabilir. Sayısal olarak değerlendirilmesi mümkün olmayan hizmet tabanlı amaçlar dolaylı olarak belirlenebilir. Örneğin biyolojik çeşitliliğin sağlanabilmesi için; öncelikle değişik ekosistemlerin alanlarının ve konumsal dağılımlarının ölçümü, tür çeşitliliğine yönelik olarak tür sayısı ve türlerin konumsal dağılımının tespit edilmesi, türler içinde ve arasında genetik çeşitliliğin ölçülmesi gerekir. Ancak burada önemli olan husus, orman işletme amaçlarının sayısallaştırılmasının yanı sıra, gerçekleştirilebilirliği, geçerliliği ve uygulanabilirliği ortaya konulmalıdır (Başkent vd., 2002b).

Giderek artan ürün ve hizmetlerin birçoğu çelişeceğinden belirlenen hedeflere tam olarak ulaşmak mümkün olamamaktadır. Bunun için en uygun yaklaşım beklenen değerleri kesintisiz sunabilecek bir hedef orman yapısının sayısal olarak tanımlanmasıdır. İşletme teknikleri ya da silvikültürel müdahaleler orman yapı ve kuruluşunu belirleyen ve aynı zamanda faydalanmayı gerçekleştiren araçlardır. Bu anlamda planlamanın yapı taşlarıdır. Planlama alanının tür, kapalılık, gelişme çağları, verimlilik, toprak eğimi gibi faktörlere

göre nasıl sınıflandırılacağı, her bir meşçereye ne zaman, kaç tane ve ne tür alternatif müdahalelerin uygulanacağı ve her bir müdahale sonrası meşçere gelişim seyrinin sayısal olarak nasıl belirleneceği teknik müdahalelerle ilgili önemli planlama kararlarını oluşturmaktadır. Planlama yörüngesi boyunca her bir meşçereye uygulanabilecek alternatif müdahaleler mevcut durum, uygulanabilirlik, belirlenen silvikültürel amaçlar ve orman işletme amaçları doğrultusunda planlayıcı tarafından belirlenmektedir. Alan hazırlığı, plantasyonla dikim, dolgu dikimi, gübreleme, siperde ekim, temizleme, ayıklama, aralama, tek ve çok aşamalı gençleştirme olmak üzere farklı teknik müdahaleler meşçerelerin mevcut durumu ve istikbaldeki durumu itibariyle uygulanabilirlik şartları çerçevesinde bir dizi reçete-rejim şeklinde belirlenirler. Bu durumda yüzlerce muhtemel kombinasyon oluşacaktır. Ancak kurulacak planlama modeli işletme amacını eniyileyen müdahale rejimini belirleyecektir (Başkent vd., 2002b).

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

A Planlama Stratejisi:

- Planlama yörüngesi 100 yıl ve periyot genişliği 10 yıldır.
- Her bir analiz alanına sadece tıraşlama kesimi uygulanabilmekte, bakım kesimleri uygulanmamaktadır.
- Planlama birimi kızılçam ağaç türünden oluşmakta olup, minimum kesim yaşı 40 ve maksimum kesim yaşı 70 yıldır.
- Amaç odun üretiminden elde edilecek NBD'nin eniyilenmesidir. Iskonto oranı %3'tür.
- Alan kontrolü politikası vardır. Yani planlama yörüngesi sonunda her bir yaş sınıfından eşit miktarda alan olması hedeflenmektedir.
- Periyotlar arasında %10 dalgalanma oranı altında eta kontrolü politikası hedeflenmiştir.
- Her bir periyotta 200 ha alanın ağaçlandırılması hedeflenmektedir.

2.2.3.4. Planlama Teknikleri

Ekosistem tabanlı çok amaçlı planlamada, orman ekosistemlerinden en iyi şekilde faydalanmak için farklı planlama teknikleri kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında,

simülasyon ve optimizasyon (doğrusal programlama) tabanlı orman amenajmanı planlama modelleri geliştirilmiştir.

2.2.3.4.1. Simülasyon Modeli

2.2.3.4.1.1. Simülasyon Modelinin Genel Özellikleri

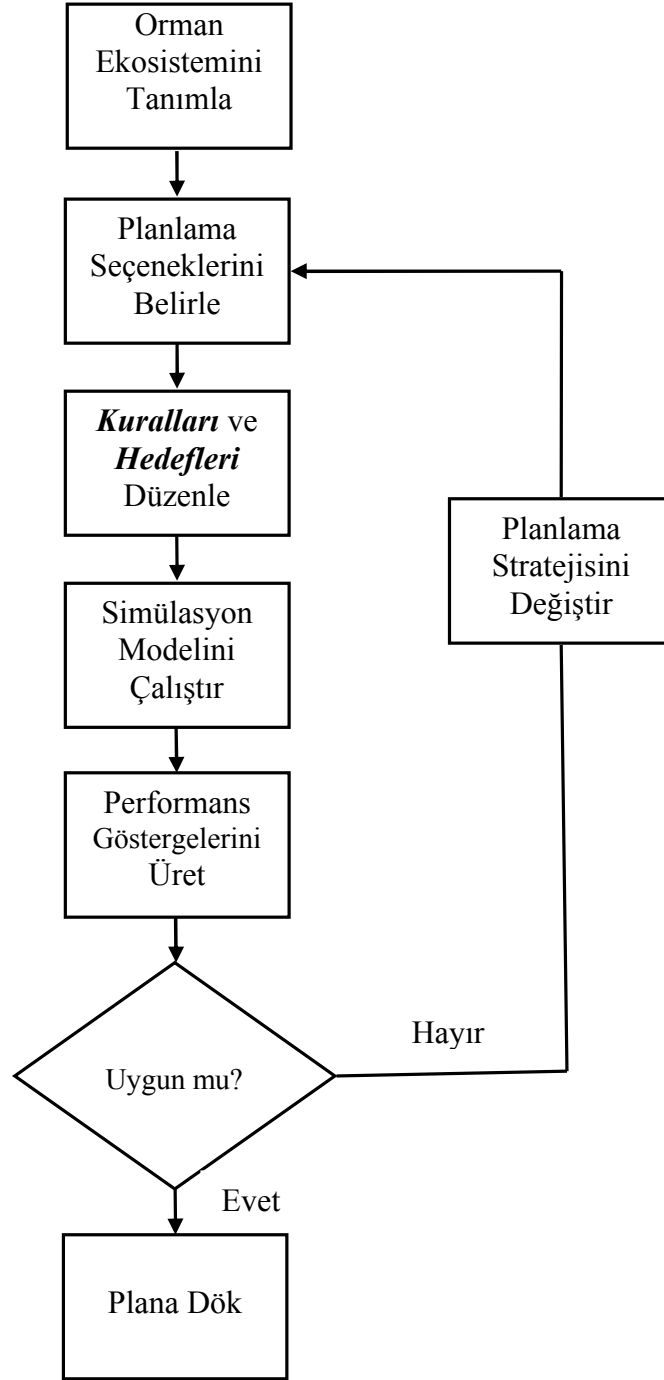
Simülasyon teknikleri genellikle belirli bir strateji ile başlar ve bu stratejinin uygulanması ile beklenen sonuçları rapor eder. Simülasyon tabanlı bir orman amenajmanı planlama modelinde, öncelikle orman ekosisteminin mevcut yapı ve kuruluşu tanımlanır. Bu aşamada, orman ekosistemi analiz alanlarına ayrılır. Yine karar verici tarafından belirli planlama stratejileri ortaya konulur. Bu aşamada ise, temel simülasyon parametreleri (planlama yörüngesi ve periyodu uzunlukları gibi) belirlenir, işletme amaçları ve hedefleri belirlenir, potansiyel teknik silvikültürel müdahaleler ve bunların analiz alanlarına uygulanma kuralları tespit edilir. Bu işlemler yapıldıktan sonra, mevcut orman kuruluşu periyodik olarak ardışık çözümlerle belirlenen planlama yörüngesi sonuna kadar kestirilir. Sonuçta ise orman ekosisteminden planlama stratejilerine bağlı olarak elde edilen çıktılar alınır ve değerlendirilir (Şekil 12).

Orman Ekosistemi Tanımlanır: Orman ekosistemlerinin yapı ve kuruluşu ortaya konulur. Orman ekosistemleri, belirli amaç için ayrılmış ve homojen gruplardan oluşan alt birimlerden (örneğin işletme sınıfı, fonksiyon, bölme, meşcere ve bölmecik) meydana gelmektedir. Genellikle orman amenajmanı çalışmalarında orman parçası olarak meşcereler (bölmecekler) temel üretim birimi olarak değerlendirilmektedir. Her bir orman çoğunlukla değişik sayıda meşcerelerden oluşmaktadır. Her bir meşcere dinamik bir yapıya sahip olup, üretim, yangın ve böcek arızı gibi müdahaleler nedeniyle sürekli değişim halindedir. Dolayısıyla her bir meşcere kendisine ait bir büyüme eğrisine/modeline sahiptir. Neticede, uygulanacak silvikültürel müdahale veya doğal olaylara bağlı olarak, meşcereler önceden tanımlanan süreler içerisinde belirli çıktılar sunacaktır.

Planlama Seçenekleri Ortaya Konulur: Simülasyonun bu aşamasında karar verici veya kullanıcı tarafından bir takım veri girişine bağlı olarak işletme stratejileri geliştirilir. Bunlar:

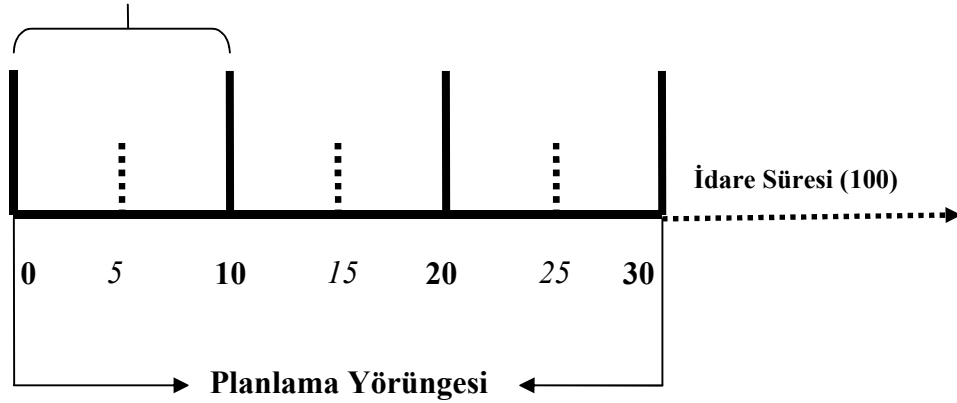
- Planlama yörüngesi ve periyot uzunlukları girilir. Buna aynı zamanda zaman ayarı adı verilmektedir. Burada amaç, orman ekosisteminin ne kadarlık bir süre için dinamik yapısının tahmin edilmesinin istenildiğini belirlemektir. Bu ise periyot uzunlukları

olarak adlandırılan ve planlama yörüngesinin bölenleri olacak şekilde (genellikle 5, 10 veya 20 yıl) belirli aralıklarla takip edilmektedir (Şekil 13). Bir planlama modelinde, planlama yörüngesi ne kadar uzun ve planlama periyodu ne kadar kısa olursa, orman planlama modelinin boyutu da o kadar büyük olur.



Şekil 12. Simülasyon tabanlı orman amenajmanı planlama modeli temel yapısı

10 Yıllık Planlama Periyotları



Şekil 13. 10 yıllık planlama periyotlarına ayrılmış 30 yıllık planlama yörüngesi örneği

- Müdahale türü ve sınırları seçilir. Müdahaleler, orman amenajmanında büyüme ve hasılatı (ürün ve hizmet üretimi) tetikleyici bir mekanizma görevi üstlenmektedir. Müdahaleler, ürün ve hizmetlerin üretimi, müdahale edilen alanlar, işletmenin yüklendiği masraflar ve elde ettiği gelirler, orman ve meşcere parametreleri gibi işletmenin başarısını ölçen değişkenlerin rapor edilmesinde çok önemli bir yere sahiptir. Bu aşamada, öncelikle, karar verici tarafından, planlama birimini oluşturan işletme sınıfları, orman fonksiyonları, ağaç türleri, meşcere tipleri, koruma durumu, topografik yapı, bonitet ve idare süresi gibi parametrelere bağlı olarak analiz alanları belirlenir. Daha sonra her bir analiz alanına tahsis edilecek silvikültürel müdahale rejimleri ortaya konulur. Silvikültürel müdahale rejimleri, herhangi bir analiz alanına zamansal olarak uygulanacak silvikültürel müdahale dizinleridir. Herhangi bir müdahale reçetesinde, gençleştirme (tırıslama, seçme ve siperde kesim gibi), rehabilitasyon, koruma, gençlik ve sıklık bakımı, ağaçlandırma ve aralama gibi silvikültürel müdahalelerden bazıları yer almaktadır. Tablo 2’de aynı yaşlı ormanlar için bir müdahale reçetesi örneği verilmiştir. Bu tabloda, meşcerelerin özelliklerine, ait olduğu işletme sınıfına, koruma durumuna ve bazı topografik özelliklerine uygun olabilecek silvikültürel müdahale şekilleri belirlenmiştir.

Tablo 2. Aynı yaşlı ormanlar için bir müdahale reçetesi örneği (Yolasığmaz, 2004)

Orman Formu	Silvi. Müd. Şekli	İşletme Sınıfı	Meşcere Yapısı										Koruma Durumu		Topografik Yapısı									
			Özellikli Meşcereler			Çağ Sınıfı				Kapalılık			Asli Ağaç Türü				IUCN Kategorisi		Eğim %		Erozyon Durumu			
			Bt	BM	OT	a	b	c	d	1	2	3	Işık	YIşık	G	YG	İlk 4	Son 4	<58	58-80	>80	Duy	Day	
Aynı Yaşlı	SHE (T)	DG	OÜ	✓	✓	-	-	*	✓	✓	✓	✓	✓	✓	?	*	-	?	✓	?	-	?	✓	
			K	?	?	-	-	-	-	?	-	-	?	-	-	-	-	-	-	?	-	-	-	?
			K+OÜ	✓	✓	-	-	?	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	?	?	-	?	*	-	-	-	✓
		SG	OÜ	✓	✓	✓	-	-	-	-	✓	-	-	✓	✓	✓	✓	-	*	*	*	-	*	✓
			K	?	?	*	-	-	-	-	?	*	-	*	*	*	*	-	*	*	*	-	?	*
			K+OÜ	?	*	✓	-	-	-	-	*	-	-	✓	✓	✓	✓	-	*	*	*	-	*	✓
	SHE (SK)	DG	OÜ	✓	✓	-	-	*	✓	✓	✓	✓	✓	✓	?	*	-	?	✓	?	-	?	✓	
			K	?	?	-	-	-	-	?	-	-	?	-	-	-	-	-	?	-	-	-	?	
			K+OÜ	✓	✓	-	-	?	✓	✓	✓	✓	✓	✓	*	?	?	-	?	*	-	-	✓	
		SG	OÜ	✓	✓	✓	-	-	-	-	✓	-	-	✓	✓	✓	✓	-	*	*	*	-	*	✓
			K	?	?	*	-	-	-	-	?	*	-	*	*	*	*	-	*	*	*	-	?	*
			K+OÜ	?	*	✓	-	-	-	-	*	-	-	✓	✓	✓	✓	-	*	*	*	-	*	✓
	AHE	OÜ	✓	-	-	-	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	-	*	✓	
		K	✓	-	-	-	*	*	*	-	*	✓	*	*	*	*	-	*	✓	*	-	?	*	
		K+OÜ	✓	-	-	-	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	*	✓	*	-	*	✓	
	GB	OÜ	-	-	-	✓	-	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	-	✓	✓	
		K	-	-	-	✓	-	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	-	✓	✓	
		K+OÜ	-	-	-	✓	-	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	-	✓	✓	
	SB	OÜ	-	-	-	-	✓	-	-	-	*	✓	✓	✓	✓	✓	-	*	✓	*	-	*	✓	
		K	-	-	-	-	?	-	-	-	*	*	*	*	*	*	-	*	*	?	-	?	*	
		K+OÜ	-	-	-	-	✓	-	-	-	*	✓	✓	✓	✓	✓	-	*	✓	?	-	*	✓	
	A	OÜ	-	-	✓	-	-	-	-	-	-	-	✓	✓	✓	✓	-	*	✓	*	-	*	✓	
		K	-	-	*	-	-	-	-	-	-	-	*	*	*	*	-	*	✓	?	-	?	*	
		K+OÜ	-	-	✓	-	-	-	-	-	-	-	✓	✓	✓	✓	-	*	✓	*	-	*	✓	
SG	OÜ	✓	✓	✓	-	-	-	-	✓	-	-	✓	✓	✓	✓	-	*	*	*	-	*	✓		
	K	?	?	*	-	-	-	-	?	*	-	*	*	*	*	-	*	*	*	-	?	*		
	K+OÜ	?	*	✓	-	-	-	-	*	-	-	✓	✓	✓	✓	-	*	*	*	-	*	✓		

Silvi. Müd. Şekli: Silvikültürel müdahale şekli, **Bt:** Baltalık, **BM:** Bozuk Meşcereler, **OT:** Orman içi açıklık, **Işık:** Işık ağacı, **YIşık:** Yarı ışık ağacı, **G:** Gölge ağacı, **YG:** Yarı gölge ağacı, **Duy:** Erozyona duyarlı, **Day:** Erozyona dayanıklı, **SHE:** Son Hâsılât Etası (Gençleştirme), **T:** Tıraşlama, **SK:** Siperde Kesim, **AHE:** Ara Hâsılât Etası (Bakım), **GB:** Gençlik Bakımı, **SB:** Sıklık Bakımı, **A:** Ağaçlandırma, **DG:** Doğal Gençleştirme, **SG:** Suni Gençleştirme, **OÜ:** Odun Üretimi, **K:** Korunan alan, **DO:** Devamlı Orman, **✓:** Ön koşulsuz uygulanır, **-:** Uygulama dışı, **?:** Yetiştirme ortamı, koruma hedefleri, asli ağaç türünün biyolojik istekleri ve diğer koşullara (işletmenin finans durumu, teknik imkanları vb.) bağlı olarak karar verilir, *****: Yetiştirme ortamı, koruma hedefleri, asli ağaç türünün biyolojik istekleri ve diğer koşullara (işletmenin finans durumu, teknik imkanları vb.) bağlı olarak kontrollü olarak uygulanabilir.

Karar verici tarafından analiz alanlarına en uygun silvikültürel müdahale reçetesinin hazırlanmasından sonra, simülasyon ve optimizasyon modellerinde, her bir analiz alanı için gençleştirme veya bakım kesim yaşlarına bağlı olarak alternatif silvikültürel müdahale rejimleri oluşturulmaktadır. Örneğin 20 yaşında bir Çzb3 meşcere tipinin olduğu varsayılınsın. Bu meşcere tipi için minimum kesim yaşı 40 ve maksimum kesim yaşı 50 olsun. 30 yaşında da bir aralama kesimi olsun. Aralama gören meşcereler 50 yaşında, aralama görmeyen meşcereler ise 40 yaşında tıraşlama kesimine tabi tutuluyor

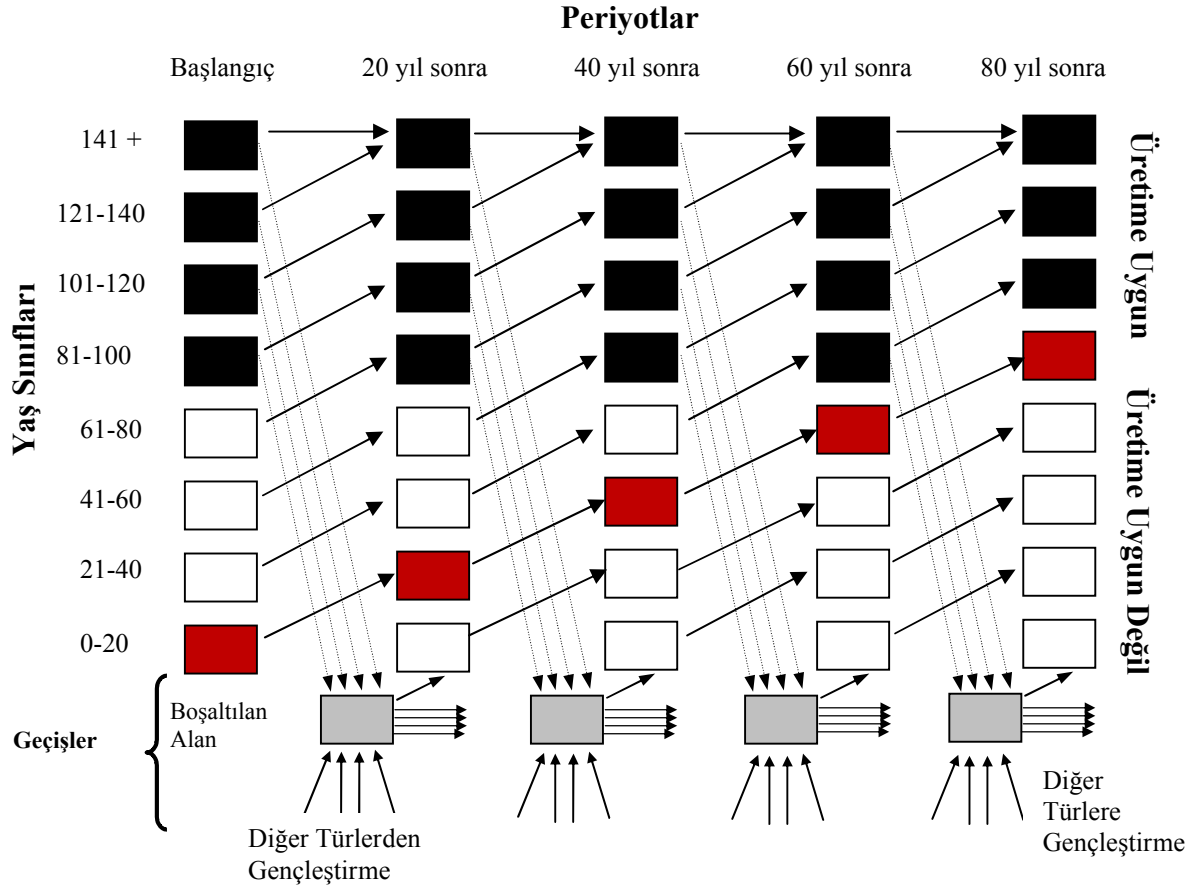
olsun. Kesilen meşcereleri üretimi takiben hemen gençleştiriliyor olarak kabul edilsin. Bu açıklamalara bağlı olarak, 10 yıllık periyot genişliği ve 100 yıllık bir planlama yörüngesi içerisinde Çzb3 meşceresi için olası müdahale rejimleri (kesim ve bakım kombinasyonları) Tablo 3’de verilmiştir. Burada *K* gençleştirme kesimini, *B* ise bakım kesimlerini ifade etmektedir.

Tablo 3. Örnek bir meşcere tipi (Çzb3) için alternatif müdahale rejimleri

(Alternatifler) Müdahale Rejimi	Periyotlar									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1		K				K				K
2		K					K			
3		K					K			B
4		K			B		K			
5		K			B		K			B
6			K				K			
7			K					K		
8			K				B		K	
9			K					K		B
10	B		K				K			
11	B		K				K			B
12	B		K					K		

- Geçişler belirlenir. Orman ekosistem parçaları uygulanan doğal veya silvikültürel müdahaleye bağlı olarak bir takım değişmelere maruz kalmaktadır. Simülasyonun bu aşamasında, üretim birimlerine (genellikle meşcere tipleri veya ağaç türleri) uygulanacak silvikültürel veya doğal müdahalelere göre, mevcut analiz alanının müdahaleden sonra geçeceği yeni/hedef ağaç türü veya meşcere tipleri belirlenmektedir. Bunu bir örnekle açıklamak mümkündür. Bir orman genellikle farklı yaş sınıflarından oluşmaktadır. Her bir yaş sınıfı ise, zamanla büyüme olayını gerçekleştirerek bir üst yaş sınıfına geçmekte ya da kesim yaşını doldurmuş ise kesime tabi tutulmaktadır. Şekil 14, aynı yaşlı bir orman alanındaki mevcut yaş sınıflarının gençleştirme üretimine dayalı olarak birbirleri arasındaki geçişleri göstermektedir. Dolayısıyla orman alanı, zamanla uygulanan müdahalelere bağlı olarak yaş sınıflarında değişime maruz kalmaktadır. Her bir yaş sınıfı, gençleştirmeye tabi tutulmadığı takdirde izleyen periyotta bir üst yaş sınıfına geçmektedir. Gençleştirme kesimine tabi tutulan meşcereler ise ilk yaş sınıfına geçmektedir. Bununla birlikte belirli yaşlardaki bir ağaç türü katmanı, uygulanan silvikültürel müdahale veya

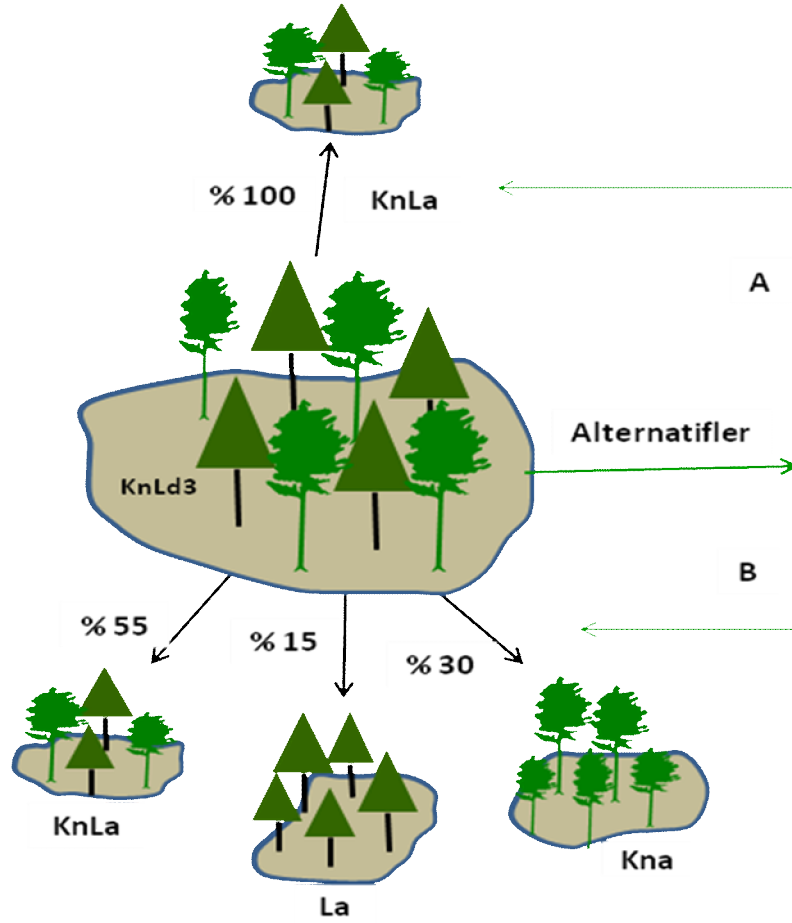
doğal olaylara bağlı olarak, farklı ağaç türü katmanına geçebilir ve gelişimi bundan sonraki süreçte farklılık gösterebilir (diğer türlere gençleştirme). Yine, orman alanında yeni yapılan ağaçlandırmalar ile birlikte yaş sınıfları veya ağaç türleri karışımında değişiklikler söz konusu olabilir (diğer türlerden gençleştirme).



Şekil 14. Aynıyaşlı ormanın gençleştirme durumuna göre gelişimi (Davis, 1999'dan uyarlandı)

Orman amenajman planlama modellerinde müdahaleler ve geçişler ortaya konulurken, olasılıklı müdahale seçenekleri veya geçişler de modellere eklenebilmektedir. Bu bir örnekle açıklanırsa; KnLd3 adlı bir meşcere tipinin gençleştirme kesimini takiben geçeceği yeni türler için iki alternatif söz konusudur. Bunlardan birincisi (A), KnLd3 meşceresi gençleştirmeden sonra mevcut ağaç türü bileşimini aynen devam ettirebilmektedir. Diğer alternatifte (B) ise, KnLd3 meşcere tipi, gençleştirme kesimini takiben farklı ağaç türü veya ağaç türü bileşimlerine (hedef türler) belirli olasılıklarla geçebilecektir. Örneğin, % 55 olasılıkla yine KnL, % 15 olasılıkla L ve % 30 olasılıkla Kn

meşcerelerine geçebilir. Bu tür geçişler genellikle Monte Carlo olayı olarak gerçekleşmektedir. Burada verilen örneğe göre planlama modeli, 0 ile 1 arasında bir sayı çeker ve bu sayı 0.00 - 0.55 arasında ise KnLd3 meşçeresi gençleştirildikten sonra yine KnL karışımını devam ettirir. Diğer taraftan model 0.56 – 0.85 arasında bir sayı çekerse aynı meşçere Kn, 0.86 – 1.00 arasında bir sayı çekerse L meşçeresine dönüşür (Şekil 15).



Şekil 15. Meşcerelerde müdahalelere bağlı olarak gerçekleşen geçişlere ilişkin bir örnek

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

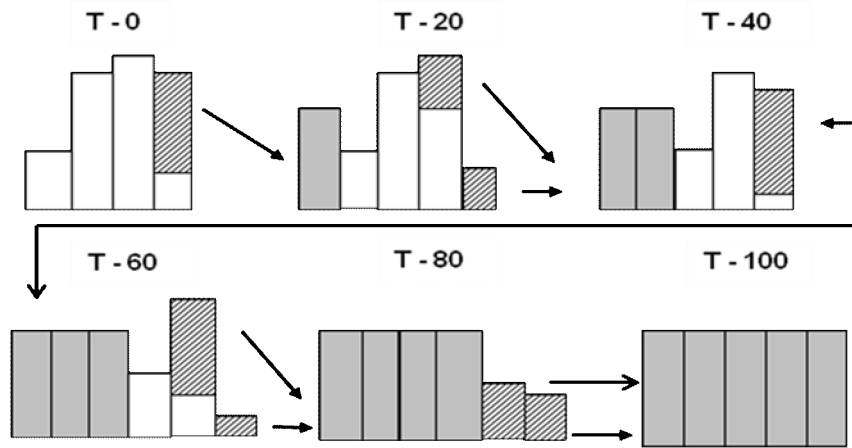
a) En yaşlı meşcerelerin öne alındığı kesim önceliği kuralı

b) Birim alan üretiminin en fazla olduğu meşcerelerin öne alındığı kesim önceliği kuralı

c) En düşük artımlı meşcerelerin öne alındığı kesim önceliği kuralı

d) En fazla artım kaybının olduğu meşcerelerin öne alındığı kesim önceliği kuralıdır.

Kesim önceliği kuralı simülasyon tabanlı orman amenajmanı planlamasında oldukça önemlidir. Örnek olarak 50 yaşından büyük meşcereler hızlı bir şekilde büyümelerine devam ederken, 150 yaşındaki meşcerelerin büyümesi yavaştır. Bu durumda en yavaş büyüyen meşcereler öncelikle kesime alınmaktadır. Uygun bir şekilde seçmek için simülasyon modeli yorumlayıcısı, meşcerelerin birim alandaki hacimleri ile gelecek periyotta tahmin edilen birim alandaki hacimlerini karşılaştırır. Daha sonra yorumlayıcı meşcereleri artımlarına göre sıralar ve en yüksek negatif değere sahip meşcereleri önce keser. Diğer bir örnek ise, aynı artıma sahip olan iki meşcere olduğunu varsayalım. Bu durumda model eğer amaç odun üretimini en iyilemekse odun üretimi en fazla olan meşcereyi keser. Şekil 16'da en yaşlı meşcereden kesme önceliği kuralı ve alan kontrolü metoduna dayalı bir simülasyon örneği verilmiştir.



Şekil 16. En yaşlı meşcereden üretim kuralına göre alanın yaş sınıflarına dağılımının zamana bağlı değişimi

- İşletme amaç ve hedefleri girilir. Burada karar verici tarafından, söz konusu orman ekosisteminden zamana bağlı olarak ulaşılmak istenen hedefler ortaya konulur. Odun üretiminden elde edilecek Net Bugünkü Değerin mümkün olduğu kadar artırılması amaç olarak belirlenebildiği gibi, alan ve eta kontrolü gibi orman ekosistemini düzenleyici hedeflerin ortaya konulması örnek olarak verilebilir. Simülasyon

modellerinde genellikle, çıktı hedefleri olarak alan ve hacim kontrolü metotları kullanılmaktadır. Her bir periyotta ne kadar eta elde edilebileceği veya ne kadar bir alana müdahale edileceği modele girilir. Hacim kontrol metodunda ayrıca her bir müdahale (bakım ve tıraşlama gibi) ile ne kadar eta elde edilmek istendiği hedef olarak belirlenebilir. Yine her bir periyotta ne kadar alan ağaçlandırılacağı ve hangi ağaç türü ile ağaçlandırılacağı bu evrede belirlenmektedir.

- Yardımcı modeller planlama modeline dahil edilir. Bu aşamada, kullanılacak hasılat tablosunun seçilmesi, odun ürünü çeşitleri tablosunun seçilmesi, odun üretimine yönelik ekonomik verilerin girilmesi, karbon depolama, su üretimi veya diğer orman fonksiyonlarının sayısal olarak modele yansıtılmasını sağlayan modellerin seçimi veya gerekli veri ve bilgilerin girilmesi gerçekleştirilmektedir.
- Simülasyon Modeli Koşturulur: Orman amenajmanı simülasyon modelinde, karar verici tarafından belirlenen stratejilere bağlı olarak her bir üretim birimi (meşcere) üretime alınmak amacıyla belirli bir sıraya konulmaktadır. Simülasyon esnasında, karar verici tarafından belirlenen müdahale öncelikleri ve kuralları meşcerelerin sıraya konulmasında önemli faktörlerdir.
- Üretim Birimlerine Müdahale Edilir: Müdahale önceliklerine göre sıralanan kesime uygun meşcereler, daha sonra silvikültürel müdahalelere tabi tutulmaktadır. Burada önemli bir husus, bazı meşcerelerin üretimden alıkonmasıdır. Bunun nedeni ise, görsel kalite, rekreasyon, biyolojik çeşitlilik, yaban hayatı koridorları, erozyon kontrolü, yaban hayatı gereksinimleri veya korunan alanlar, bu şekilde güvence altına alınmaktadır. Ancak model bu tür meşcereleri, diğer bir ifadeyle üretim dışı bırakılan meşcerelerin, planlama yörüngesi boyunca hem yaş hem de büyüme simülasyonunu yapacaktır.

Üretim birimlerinin müdahale edilmesinde etken faktör, karar verici tarafından belirlenen hedeflere ulaşılmasıdır. Hedeflere ulaşılıncaya kadar, hedefleri karşılayacak düzeyde meşcerelere müdahale edilir. Diğer taraftan bazı stratejilerde, hedeflere ulaşamama söz konusu olabilecektir. Bunun nedenleri ise genellikle a) Belirtilen alana müdahale edecek yeterli miktarda alan olmayabilir b) Müdahalelerin düzeni uygulanmayan bir faaliyetle sonuçlanabilir, çünkü daha önceki müdahaleler uygulanabilir alanları tüketmiştir c) Verilen hedefteki değer ulaşamayabilir olabilir. Ancak, hedefe ulaşmadaki bu başarısızlık stratejinin uygun olmadığı anlamına gelmez. Bu, mevcut işletme

amaçlarının karşılanamadığı anlamına gelir. Bu durumda kesim önceliği kuralını (sıralama ölçütlerini) veya hedef değerleri değiştirmek gerekir.

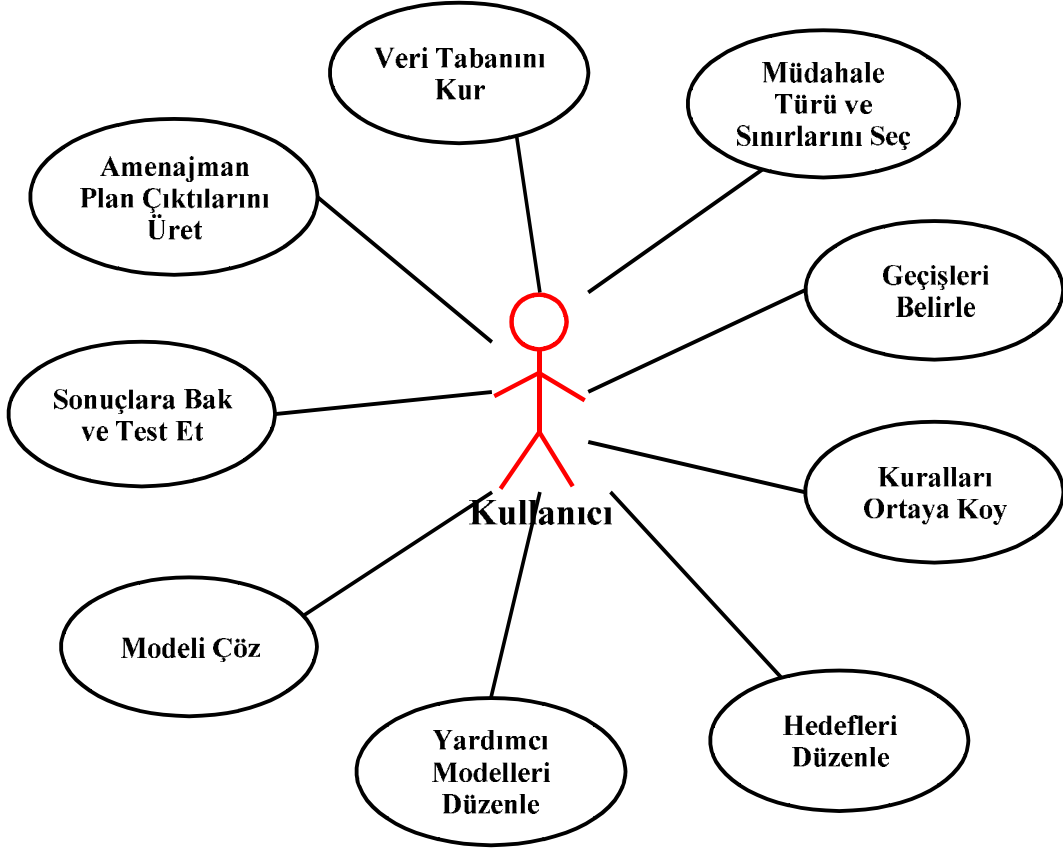
- Orman Ekosistemi Büyütülür: Her bir üretim birimi (meşcere), değişik silvikültürel müdahale serilerine (gençleştirme, aralama, budama ve gübreleme gibi) maruz kalmakta ve zamana bağlı olarak yapı ve kuruluşu (yaş, servet, atım, göğüs yüzeyi, ağaç türü vs) ile fonksiyonları (karbon birkimi, su üretimi, odun üretimi vs) değişmektedir. Gençleştirme üretimine alınan meşcereler ilk yaş sınıfına geçmekte, bakıma alınan meşcereler ise bir üst yaş sınıfına geçmektedir. Kesim ve bakım periyotlarında meşcerelerden elde edilen her türlü çıktılar aynı zamanda planlama stratejilerinin çözümü sonucunda orman ekosisteminden elde edilen değerleri göstermektedir. Bu değerler ilgili tablolardan (örneğin etalar hasılat tablolarından, odun ürünleri ise odun ürün çeşitleri tablolarından) karşılanmaktadır. Periyodik olarak elde edilen her türlü çıktılar, simülasyon ve optimizasyon modellerinde amaç fonksiyonu katsayılarını veya kaynak değerlerini oluşturmaktadır.
- Performans Göstergelerinin (Çıktıları) Dökümü ve Sunumu: Simülasyon modelinde son aşama ise, simülasyon sonuçlarının diğer bir ifade ile performans göstergeleri olarak gösterildiği raporların sunulmasıdır. Orman amenajmanına yönelik olarak geliştirilen bu tür modellerde, karar vericilerin isteklerine bağlı olarak meşcere veya orman düzeyinde çok sayıda çıktılar görmek ve değerlendirmek mümkündür. Performans göstergeleri, kullanıcının isteklerine bağlı olarak grafik, tablo, metin ve harita formatlarında elde etmek mümkündür. Çıktılar:
 - ✓ Her bir işletme stratejinin ormanın yapı ve kuruluşu üzerindeki etkilerinin özeti
 - ✓ Orman yapısının zamana bağlı olarak kestirilmesi
 - ✓ Meşcere itibariyle başlangıç orman koşulları ve hacim
 - ✓ Yaş/çap sınıfları dağılımına göre alan ve hacim miktarları
 - ✓ Kullanıcı tarafından belirlenen aralıklar için orman koşulları ve meşcere hacimleri
 - ✓ Periyotlar itibariyle birikimli net bugünkü değerler
 - ✓ Periyodik olarak elde edilen üretim gelirleri ve maliyetler
 - ✓ Her bir periyotta planlama biriminde gerçekleştirilen ağaçlandırma miktarları
 - ✓ Aralama ve gençleştirme değerleri
 - ✓ Herhangi bir üretim ve gençleştirme tekniğine maruz kalan meşcereler
 - ✓ Zaman bağlı olarak ormanın sunmuş olduğu su üretimi, karbon depolama, oksijen üretimi ve toprak erozyonu gibi değerlerin sayısal sonuçları

Çoğu planlama modellerinde işletme başarısını değerlendirmek için ormanın durumu ve faydaları dikkate alınır. Ormanın durumu, tür ve hacme göre dikili servet, yaş sınıfı ve ağaç türleri itibariyle alan dağılımı ve yaban hayatı uygunluğu sayılabilmektedir. Faydalar ise odun üretimi (eta), ot, rekreasyon ziyaretçi gün sayısı, net gelirler ve diğerleri olarak özetlenebilir. Bunların hepsine genel olarak “Performans Göstergeleri” olarak isimlendirmek mümkündür. Üretilen çıktının miktarı ise, müdahale edilen alan ile birim alandan o çıktının mevcut değeri çarpılmak suretiyle hesaplanmaktadır. Bir çıktının miktarı, müdahale öncesi ve sonrası hasılat bileşeni arasındaki farkın müdahale edilen alan ile çarpılması ile elde edilmektedir. Örneğin müdahale öncesi hektarda 80 m^3 serveti olan 2 hektarlık bir alan, müdahaleden sonra hektarda 45 m^3 servete sahipse, meydana gelen çıktı $(2*80) - (2*45) = 70 \text{ m}^3$ olarak hesaplanır. Çıktılar farklı birimlerde olabilir örneğin m^3 , alan, TL gibi. Üretilen hacim örneğin çam için, müdahale edilen alan ile çam için birim alandaki miktarın çarpılmasıyla, ağaçlandırma maliyeti ise ağaçlandırılan alan ile birim alandaki ağaçlandırma maliyetinin çarpılmasıyla elde edilmektedir. Model çıktıları, planlama birimi düzeyinde oluşturulabildiği gibi, ağaç türü, işletme sınıfı, orman fonksiyonu, meşcere veya yaş sınıfları gibi belirli özelliklere göre özetlenerek sunulabilir.

2.2.3.4.1.2. Simülasyon Modeline İlişkin Kullanım Durumlarının Geliştirilmesi

Kullanım durumlarının temel amacı, temel kavramlar bölümünde açıklandığı üzere kullanıcı gereksinimlerin modellenmesinde kullanılmaktadır ve böylece sistemin ve kullanıcıların fonksiyonlarının tanımlanmasında kullanılır. Burada yazılımın davranışı bir kullanıcı gözüyle incelenmektedir ve dolayısıyla bu diyagramlar ve bu diyagramların sahip olduğu adımlar ile bir sistemin temel sınıflarının (statik yapısı) belirlenmesi ile birlikte herhangi bir yazılımın kullanım kılavuzunun hazırlanması da kolaylıkla yapılabilmektedir. Buradan hareketle, geliştirilen KDS içerisinde yer alan orman simülasyon modeline ilişkin kullanım durumları Şekil 17’de ki gibidir. Her bir kullanım durumunun genel özellikleri ve aşamaları ise Tablo 4-11 de sırasıyla verilmiştir. Orman amenajmanında veri tabanı çok önemli bir bölümü teşkil etmekte olup, simülasyon modelinin temel yapısı dışında geliştirildiğinden dolayı bu bölümde “veri tabanı kur” kullanım durumunun açıklanmaması tercih edilmiştir. Veri tabanının özellikleri, önemi ve kurulmasına ilişkin bilgiler 2.2.3.1 bölümünde ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Kullanım durumu aşamalarının yer aldığı tabloların her birinde, numaralı olarak verilen adımlar, kullanıcı tarafından gerçekleştirilen işlemleri kapsamaktadır. Madde işaretli ve italik yazı tipinde olan durumlar ise, kullanıcı

tarafından gerçekleştirilmemiş işlemlerin olması veya bu işlemlerin yanlış yapılması durumunda, sistem tarafından varsayım olarak gerçekleştirilecek işlemleri ifade etmektedir.



Şekil 17. Simülasyon modeli için mevcut kullanım durumları

Tablo 4. Müdahale türü ve sınırlarını seç kullanım durumu aşamaları

<p>Kullanım Durumu Adı: Müdahale Türü ve Sınırlarını Seç Aktör: Sistem Kullanıcısı (Programcı, planlamacı, karar verici vs) Amaç: Her bir analiz alanı için silvikültürel müdahale seçeneklerinin oluşturulması</p>
<p>Kullanım Durumu Aşamaları</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Kullanıcı periyot genişliğini girer. <ul style="list-style-type: none"> • <i>Sistem varsayılan periyot genişliğini dikkate alır.</i> 2. Kullanıcı planlama yörüngesini (simülasyon süresini) girer. <ul style="list-style-type: none"> • <i>Sistem planlama yörüngesinin periyot genişliği katları şeklinde girilmesi için uyarı verir.</i> 3. Kullanıcı müdahale türü ve sınırları tablosunu seçer. 4. Kullanıcı müdahale türünün uygulanacağı analiz alanını (planlama birimi, işletme sınıfı, orman fonksiyonu, meşcere vs) belirler. <ul style="list-style-type: none"> • <i>Sistem varsayım olarak analiz alanını planlama birimi olarak alır.</i> 5. Kullanıcı müdahale türünü (gençleştirme, bakım vs) seçer. <ul style="list-style-type: none"> • <i>Sistem meşcereleri doğal seyrine bırakmış olarak varsayar ve büyütür.</i> 6. Kullanıcı seçtiği gençleştirme müdahale türü için, yine seçtiği analiz alanının özelliklerine göre minimum ve maksimum kesim yaşlarını girer. <ul style="list-style-type: none"> • <i>Sistem gerekli yaşların girilmesi için uyarı verir, kullanıcı yaşları girer.</i> 7. Kullanıcı seçtiği bakım müdahalesine için, yine seçtiği analiz alanının özelliklerine göre minimum ve maksimum bakım kesim yaşlarını girer. <ul style="list-style-type: none"> • <i>Sistem gerekli yaşların girilmesi için uyarı verir, kullanıcı yaşları girer.</i> 8. Kullanıcı her bir analiz alanının özelliklerini dikkate alarak, istenilen yaşlar için gerekli bakım oranlarını meşcerelerin servet ve göğüs yüzeyini esas alarak girer. 9. Sistem her bir meşcerenin gelişimini ve olası değerlerini (çıktılar) zamana bağlı olarak tahmin eder.

Tablo 5. Geçişleri belirle kullanım durumu aşamaları

<p>Kullanım Durumu Adı: Geçişleri Belirle Aktör: Sistem Kullanıcısı Amaç: Meşcerelerin silvikültürel müdahaleleri takiben geçeceği yeni tür veya türlerin belirlenmesi</p>
<p>Kullanım Durumu Aşamaları</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Kullanıcı geçiş tablosunu seçer. 2. Kullanıcı kaynak ağaç türünü seçer. 3. Kullanıcı, gençleştirme kesimini takiben kaynak ağaç türünün geçebileceği hedef ağaç türlerini ve boniteti seçer. <ul style="list-style-type: none"> • <i>Sistem, kaynak ağaç türünün kesildikten sonra, yine aynı ağaç türü ve bonitette gelişeceğini varsayar.</i> 4. Olasılıklı geçiş durumları ve birden fazla hedef tip söz konusu ise, kullanıcı her bir kaynak tipin hedef tip veya tiplere geçiş olasılıklarını girer. 5. Kullanıcı ağaç türlerinin bakım müdahalelerini takiben geçeceği hedef tür veya türleri belirler. <ul style="list-style-type: none"> • <i>Sistem kaynak meşcere tipinin bakım müdahalesinden sonra yine aynı ağaç türü ile aynı bonitette gelişeceğini varsayar.</i> 6. Sistem her bir meşcerenin gelişimini ve olası çıktılarını tahmin eder.

Tablo 6. Üretim kurallarını ortaya koy kullanım durumu aşamaları

Kullanım Durumu Adı: Üretim Kurallarını Ortaya Koy
Aktör: Sistem Kullanıcısı
Amaç: Meşcerelerin kesim ve bakım önceliklerinin belirlenmesi
Kullanım Durumu Aşamaları
<ol style="list-style-type: none"> 1. Kullanıcı, meşcerelerin gençleştirme kesimi önceliklerinden birini seçer. <ul style="list-style-type: none"> • Sistem varsayılan yani minimum gençleştirme yaşını doldurmuş meşcereleri rastgele üretime alır. 2. Kullanıcı, meşcerelerin bakım kesimleri için gerekli önceliğini belirler. <ul style="list-style-type: none"> • Sistem, minimum ve maksimum bakım yaşları arasındaki meşcereleri rastgele bakıma alır. 3. Kullanıcı, ağaçlandırılacak orman içi açıklıklar (OT) için ağaçlandırma önceliği belirler. <ul style="list-style-type: none"> • Sistem kullanıcı tanımlı hedefleri gözetererek, OT alanlarını rastgele ağaçlandırır.

Tablo 7. Hedefleri düzenle kullanım durumu aşamaları

Kullanım Durumu Adı: Hedefleri Düzenle
Aktör: Sistem Kullanıcısı
Amaç: Alan ve hacim kontrolü ile ağaçlandırma hedeflerinin ortaya konulması
Kullanım Durumu Aşamaları
<ol style="list-style-type: none"> 1. Kullanıcı alan ya da hacim kontrolünden birini seçer. <ul style="list-style-type: none"> • Sistem, alan veya hacme yönelik bir kısıtlamanın olmadığını varsayar. 2. Sistem, kullanıcı alan kontrolü seçeneğini seçmiş ise hacim kontrolü seçeneğini seçmiş ise alan kontrolü seçeneğini pasif hale getirir ve pencereyi açar. 3. Kullanıcı, alan kontrolü yaklaşımını seçmiş ise, alan kontrolüne ilişkin politikalarından birini seçer. <ul style="list-style-type: none"> • Sistem varsayılan alan kontrolü (eşit alan) politikasını dikkate alır. 4. Kullanıcı periyodik gençleştirme alanı hedefleri girmek istemiştir. <ul style="list-style-type: none"> • Sistem veri girilmeyen periyotlar için, gençleştirme alanı hedefi olmadığını varsayar. 5. Kullanıcı, hacim kontrolü yaklaşımını seçmiş ise, eta düzenleme politikalarından birini seçer. <ul style="list-style-type: none"> • Sistem varsayılan eta kontrolü (eşit eta) politikasını dikkate alır. 6. Kullanıcı, periyodik eta hedefleri girmek istemiştir. <ul style="list-style-type: none"> • Sistem, hedef verilmeyen periyotlar için bir sınırlama olmadığını varsayar. 7. Kullanıcı eta hedeflerini genel bazda, periyot bazında, ağaç türü bazında ya da müdahale bazında seçer. 8. Kullanıcı, periyodik ağaçlandırma hedeflerini girer. <ul style="list-style-type: none"> • Sistem, hedef belirtilmeyen periyotlar için bir sınırlama olmadığını varsayar.

Tablo 8. Yardımcı modelleri düzenle kullanım durumu aşamaları

Kullanım Durumu Adı: Yardımcı Modelleri Düzenle
Aktör: Sistem Kullanıcısı
Amaç: Modele dahil edilecek yardımcı modellerin seçilmesi ve gerekli düzenlemelerin yapılması
Kullanım Durumu Aşamaları
<ol style="list-style-type: none"> 1. Kullanıcı, kullanmak istediği hasılat ve büyüme modelini seçer. 2. Kullanıcı, kullanmak istediği odun ürün çeşitleri modelini seçer. 3. Kullanıcı, kullanmak istediği su üretim modelini seçer. <ul style="list-style-type: none"> • Sistem, varsayılan su üretim modeline göre meşcerelerin su üretimini hesaplar. 4. Kullanıcı, kullanmak istediği toprak erozyonu modelini seçer. <ul style="list-style-type: none"> • Sistem, varsayılan toprak erozyonu modeline göre meşcerelerin toprak erozyonu miktarlarını hesaplar. 5. Kullanıcı istediği ağaç türleri için karbon birikiminin hesaplanmasına yönelik parametre değerlerini girer. 6. Kullanıcı odun üretimine yönelik NBD'nin hesaplanması için gerekli ekonomik parametre değerlerini girer.

Tablo 9. Modeli çözümlenme kullanım durumu aşamaları

Kullanım Durumu Adı: Modeli Çöz
Aktör: Sistem Kullanıcısı
Amaç: Planlama probleminin kullanıcı odaklı çözülmesi ve sonuçların üretilmesi
Kullanım Durumu Aşamaları
<ol style="list-style-type: none"> 1. Kullanıcı, simülasyonu koşturur. 2. Sistem, planlama problemine ilişkin modeli (senaryo) çözer. <ul style="list-style-type: none"> • <i>Sistem, modelin çözülmeme durumuna ilişkin uyarı/hata verir.</i> 3. Kullanıcı, daha önce belirlemiş olduğu hedeflerde değişiklik yapar ve modeli yeniden koşturur. 4. Sistem, modele ilişkin çözüm sonuçlarını üretir.

Tablo 10. Sonuçlara bak ve test et kullanım durumu aşamaları

Kullanım Durumu Adı: Sonuçlara Bak ve Test Et
Aktör: Sistem Kullanıcısı
Amaç: Planlama problemine ilişkin simülasyon modeli sonuçlarının kullanıcı tarafından değerlendirilmesi
Kullanım Durumu Aşamaları
<ol style="list-style-type: none"> 1. Kullanıcı, sonuçlar (çıktılar) penceresini açar. 2. Kullanıcı, çözüm sonuçlarını görmek istediği analiz alanı düzeyini (planlama birimi, işletme sınıfı, orman fonksiyonu, ağaç türü, meşcere, yaş sınıfı) seçer. 3. Kullanıcı, çözüm sonuçlarını görmek istediği periyot veya periyotları seçer. 4. Kullanıcı, sonuçları görmek istediği şekil veya formatı seçer. 5. Kullanıcı istediği takdirde, sonuçların şekil ve formatı üzerinde değişiklik yapar. 6. Kullanıcı, saklamak istediği planlama senaryolarına ilişkin çözüm sonuçlarını kaydeder. 7. Kullanıcı, simülasyon parametrelerindeki değişikliklerin etkisine bakar.

Tablo 11. Amenajman plan çıktıları üretme kullanım durumu aşamaları

Kullanım Durumu Adı: Amenajman plan çıktıları üretme
Aktör: Sistem Kullanıcısı
Amaç: Planlama modeli çözümünün amenajman plan çıktıları şeklinde ortaya konulması
Kullanım Durumu Aşamaları
<ol style="list-style-type: none"> 1. Kullanıcı, amenajman plan çıktıları seçer. 2. Kullanıcı, çıktıların şekil ve formatını (tablo, grafik, harita veya metin) belirler. 3. Sistem, ilk planlama periyodu için gençleştirme kesimine tabi tutulacak meşcereleri ve son hasılat etalarını amenajman plan formatında sunar (Son Hasılat Kesim Planı) 4. Sistem, ilk planlama periyodu için bakım kesimine tabi tutulacak meşcereleri ve ara hasılat etalarını amenajman plan formatında sunar (Ara Hasılat Kesim Planı) 5. Sistem, ilk planlama periyodunda ağaçlandırılması öngörülen alanlar ve ağaçlandırma miktarlarını uygun formatta sunar. 6. Plan sonucu elde edilen eta, NBD, su üretimi, karbon birikimi gibi her türlü orman değerlerini özetleyen sonsöz hazırlanır.

2.2.3.4.1.3. Simülasyon Modeline İlişkin Sınıfların Oluşturulması

Sınıf diyagramları, bir kullanım durumunun derinlemesine açıklanması ve sistemin ayrıntılı tasarımını tanımlamak için kullanılır. Yazılımın fiziki yapısının modellenmesinde kullanılmaktadır. Bir sınıf, benzer özellikler ve ortak davranışlara sahip nesnelere oluşmaktadır. Kullanım durumları, bir takım görevleri yerine getiren belirli sınıflardan oluşmaktadır. Bu sınıflar aynı zamanda orman simülasyon modelinin yapısını ve bu yapıyı oluşturan bileşenlerin birbiriyle olan ilişkilerine bağlı olarak simülasyon modelinin işleyişini göstermektedir.

Bu çalışma kapsamında geliştirilen orman simülasyon modelinde iki ayrı ana sınıf kavramının geçtiği görülmektedir. Bunlardan birincisi; meşcerelerin farklı silvikültürel rejimlere bağlı olarak ilerleyen periyotlardaki meşcere parametrelerinin hesaplandığı meşcere büyüme modeli sınıfıdır (BuyumeModeli). Bu aynı zamanda meşcere simülasyonu olarak da adlandırılabilir. Diğer ise, orman amenajman planlarının yapılmasına hizmet eden orman simülasyon (Simulasyon) modeli sınıfıdır.

BuyumeModeli sınıfı, bir orman ekosistemini oluşturan meşcerelerin ilerleyen dönemlerdeki meşcere parametrelerinin tahmin edilmesi ile birlikte her bir meşcerenin yine sahip olduğu yapı ve kuruluşuna bağlı olarak topluma ve çevreye sağlayacağı değerlerin (su üretimi, karbon birikimi, odun üretimi vs) sayısal olarak belirlenmesini sağlayan yapıyı oluşturmaktadır (Şekil 18). Bu çalışma kapsamında geliştirilen meşcere simülasyonu (büyüme modeli) ile birlikte; meşcerelere uygulanan silvikültürel müdahaleler kapsamında, meşcerelerin büyüme yapısı ve şekli, aktüel meşcere verilerinin optimal meşcere verileri kıyas edilmesi esasına dayanmaktadır. Türkiye’de müdahale görmüş meşcerelerin büyüme eğilimini ortaya koyan herhangi bir model olmaması nedeniyle bu yol izlenmiştir. Eraslan (1981) tarafından önerilen artım yüzdeleri simülasyon yöntemi ile yine Eraslan ve Asan (1989) tarafından önerilen güncelleştirme yöntemlerinden büyük ölçüde faydalanılmıştır. Sonuçta, belirli bir planlama süresi boyunca, kararlaştırılan periyodik zamanlarda bölmeciklerin meşcere parametreleri (Yaş, Servet, Göğüs Yüzeyi gibi) BuyumeModeli sınıfı aracılığıyla hesaplanmaktadır. Meşcere parametrelerinin hesaplanmasında kullanılan bazı denklemler aşağıda verilmiştir.

$$Agy_{t+n} = Ogy_{t+n} * \frac{Agy_t}{Ogy_t} \quad (16)$$

$$Agy_{t+n} = Agy_t + \left[\left(\frac{Agy_t}{Ogy_t} \right) * (Ogy_{t+n} - Ogy_t) \right] \quad (17)$$

$$Ap_{t+n} = Ap_t + \left[\left(\frac{Ap_t}{Op_t} \right) * (Op_{t+n} - Op_t) \right] \quad (18)$$

$$AS_{t+n} = AS_t + \frac{Agy_t}{Ogy_t} * Oop_{t,t+n} * n - AH_t \quad (19)$$

$$AS_{t+n} = AS_t + \left[\left(\frac{AS_t}{OS_t} \right) * (OS_{t+n} - OS_t) \right] - AH_t \quad (20)$$

$$Aob_{t+n} = Aob_t + \left[\left(\frac{Aob_t}{Oob_t} \right) * (Oob_{t+n} - Oob_t) \right] \quad (21)$$

$$Ad_{t+n} = Ad_t + \left[\left(\frac{Ad_t}{Od_t} \right) * (Od_{t+n} - Od_t) \right] \quad (22)$$

Burada, Agy ve Ogy aktüel ve optimal göğüs yüzeylerini, Ap ve Op aktüel ve optimal yıllık hacim artımlarını, $Oop_{t,t+n}$ meşcerenin mevcut ve bir sonraki periyottaki yaşları arasında meydana gelen optimal yıllık ortalama 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.

Denklem 16 ve 17, aktüel göğüs yüzeyinin ilerleyen periyotlardaki değerinin tahmin edilmesinde kullanılan eşitlikleri ifade etmektedir. Her iki göğüs yüzeyi denklemi bu çalışma kapsamında denenmiş ve son olarak 17 numaralı denklem kullanılarak meşcerelerin zamana bağlı aktüel göğüs yüzeyi tahmin edilmiştir. Denklem 18 aracılığıyla, meşcerelerin zamana bağlı aktüel hacim artımları tahmin edilmiştir. 19 ve 20 numaralı denklemler, meşcerelerin aktüel hacimlerinin tahmin edilmesinde kullanılmış olup, bunlardan 19. denklemden, büyüme modelinde aktüel hacim tahmininde yararlanılmıştır.

21 ve 22 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 oran (sıklık derecesi) kullanılmıştır. Bu oran artım, orta çap, orta boy gibi diğer parametrelerin tahmininde ise, doğrudan hasılat tablosunda var olan ilgili değerlerle benzetilmeye çalışılmıştır. Artım, orta çap ve orta boyda yapılan benzetim; ağaç sayısı, üst boy gibi parametrelerin tahmin edilmesinde de benzer şekilde uygulanmıştır. Görüldüğü üzere, meşcere parametrelerinin zamana bağlı olarak tahmin edilmesinde, ilgili meşcere parametrelerinin hasılat tablosundaki değerlerinin zamana bağlı artım oranları benzetilmeye çalışıldığından, bu çalışma kapsamında geliştirilen büyüme modeli, AROBEM (Artım Oranları Benzetim Metodu) olarak adlandırılmıştır. Diğer bir ifade ile her bir meşcere parametresinin aktüel durumu, ilgili parametrenin aktüel ve optimal durumunun oranlanmasıyla tahmin edilmeye çalışılmıştır. Meşcerelerin gençleştirildikten sonra, optimal olarak gelişeceği varsayılmış ve hasılat tablosundaki değerler kullanılmıştır.

Bununla birlikte, bu çalışma kapsamında geliştirilen AROBEM metodunun bir takım sakıncaları bulunmaktadır. Bu şekilde geliştirilen büyüme/artım modeli, gerçek büyüme değerlerini tam olarak yansıtmamaktadır. Model, aktüel-optimal oranını, mevcut durumun gelişim hızı yerine, optimale göre hızını almaktadır ve optimalin ötesinde gelişmenin olamayacağını varsayar. Diğer taraftan, optimalde var olan tüm hatalar/eksiklikler buraya da yansımaktadır.

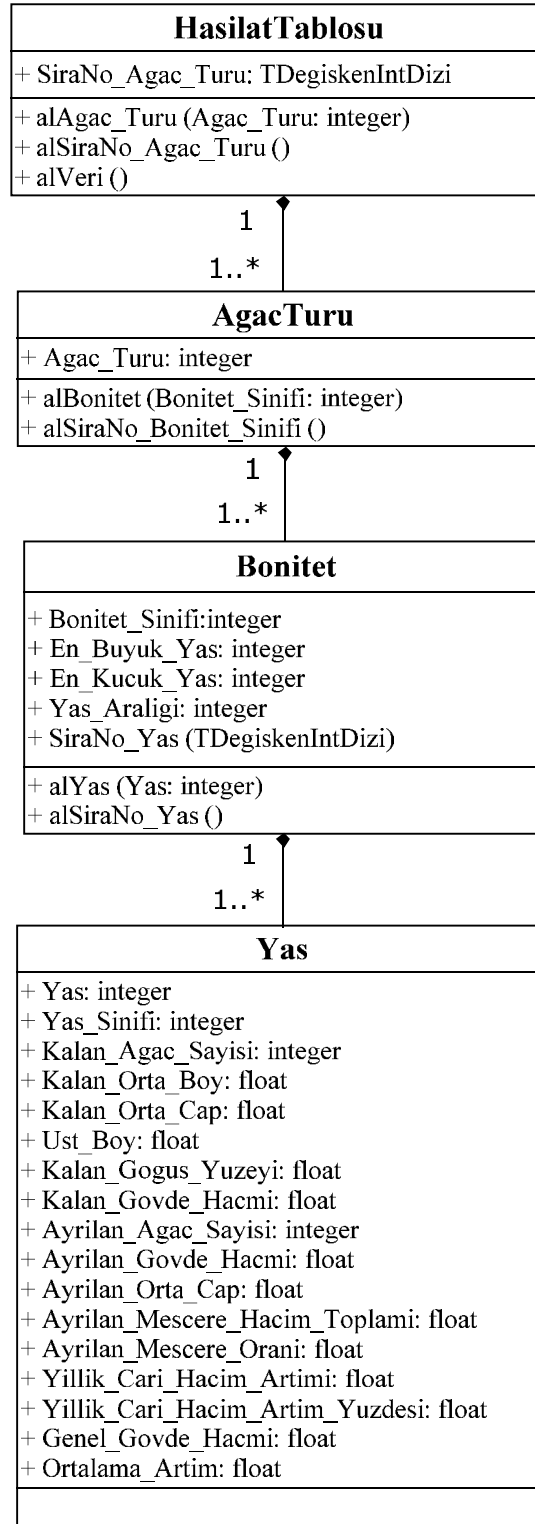
BuyumeModeli sınıfı yapısı incelendiğinde doğrudan bu amacı gerçekleştirmek üzere Periyot_Genislighi, Periyot_No gibi sınıfa ait özellikler ile meşcere parametrelerinin hesaplanmasına yönelik artırServet (), artırYas () gibi sınıf metodlarının olması gerektiği görülmektedir (Şekil 18).

BuyumeModeli
- Periyot_Genisligi: integer + Periyot_No: integer + BolmecikListesi: TBolmecik_Listesi + HasilatTablosu: THasilat_Tablosu
- alArtim_Ortalama () - alAyrilan_Hacim_Toplam () - belirleOran_Gogus_Yuzeyi () - artirYas () - artirServet () - artirArtim () - artirOrta_Cap () - artirOrta_Boy () - artirUst_Boy () - artirAgac_Sayisi () - artirGogus_Yuzeyi () + yaslandir ()

Şekil 18. Büyüme modeli sınıf diyagramı

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

Hasılat tabloları orman amenajmanında optimal orman kuruluşunun belirlenmesinde kullanılmaktadır ve orman amenajmanında önemli bir veri-bilgi kaynağını teşkil etmektedir. HasılatTablosu sınıfının temel yapısı incelendiği zaman, bir hasılat tablosu farklı ağaç türleri (AgacTuru) için var olup, her bir ağaç türüne ilişkin hasılat tablosu farklı bonitelere (Bonitet) göre ayrılmaktadır. Yine her bir bonitete bağlı olarak her bir tabloda yaş (Yas) ve yaş sınıfları bazında meşcere parametrelerine (asli meşcere hacmi, artım, göğüs yüzeyi, orta çap vs) ait sayısal değerler yer almaktadır (Şekil 19).



Şekil 19. Hasılat tablosu sınıf diyagramı

HasılatTablosu sınıf diyagramı incelendiğinde, bir hasılat tablosunun bir veya daha fazla ağaç türünden oluştuğu ve aralarında 1 - 1..* ilişkisinin olduğunu, bir ağaç türüne

ilişkin hasılat tablosunun bir veya birden fazla bonitetten oluştuğu ve aralarında 1 - 1..* ilişkisinin olduğunu ve her bir bonitette farklı yaşların veya yaş sınıflarının olduğu ve aralarında 1 - 1..* ilişkisinin olduğu görülmektedir. Diğer bir ifadeyle bir hasılat tablosu ağaç türleri, bonitet ve yaşa göre optimal durumdaki meşcerelerin artım ve büyüme ilişkilerini sayısal olarak gösteren tablolarıdır. Diğer taraftan, müdahale görmüş meşcereler için geliştirilmiş veya geliştirilecek bir hasılat ve büyüme modelinin KDS'ye dahil edilebilmesi mümkün olabilecektir.

Diğer önemli bir sınıf olan BolmecikListesi çok sayıda (1 - *) bölmeciklerden (BolmecikTek) oluşmaktadır (Şekil 20). Bu tablo içerisinde her bir bölmeciğin sahip olacağı tüm özellikler (bilgiler) belli bir düzende bulunmaktadır. Servet, artım, göğüs yüzeyi, orta çap ve ağaç sayısı gibi meşcere parametreleri; her bir bölmeciğin sahip olduğu toprak erozyonu, su üretimi, karbon birikimi gibi değerlere ilişkin sayısal bilgiler; her bir bölmeciğin ormanlık durumu, alanı, eğimi, ait olduğu işletme sınıfı-orman fonksiyonu-bölme-ağaç türü gibi grafik ve öznitelik bilgiler (konumsal) BolmecikTek sınıfının özelliklerini göstermektedir. BolmecikTek sınıfının ayrıca, her bir bölmeciğe ilişkin su üretiminin hesaplanması, karbon birikiminin hesaplanması, ekonomik gelirin hesaplanması, geçişler gibi bir takım sayısal değerlerin geri dönmesini sağlayan metotları bulunmaktadır. Dolayısıyla her bir bölmeciğin meşcere parametreleri yanında diğer fonksiyonlarına ilişkin bilgiler bu metotlar aracılığıyla belirlenmektedir.

Büyüme modelinin gerçekleşmesinde diğer önemli bir sınıf, silvikültürel müdahale rejimlerinin belirlendiği SinirlarveMudahaleler sınıfıdır (Şekil 21). Çünkü her bir bölmeciğe belirli periyotlarda müdahaleler uygulanması söz konusu olabilmektedir. Aynı zamanda silvikültürel müdahalelerin türleri, sınırları ve miktarları meşcerelerin gelişimini dolayısıyla büyüme eğilimlerini etkilemektedir. Bu yüzden SinirlarveMudahaleler sınıfı doğrudan BolmecikListesi sınıfı tarafından kullanılmaktadır. SinirlarveMudahaleler sınıfında, meşcerelere uygulanacak silvikültürel müdahalelerin listesi ile bu müdahalelere ilişkin alt ve üst sınırlar (maksimum ve minimum bakım ve kesim yaşları) bulunmaktadır. Bu veriler ise müdahalelere bağlı yaş sınırlarının girildiği özel bir tablo aracılığıyla sağlanmakta ve alVeri fonksiyonu ile birlikte çağrılmaktadır. Bununla birlikte, bakım müdahalelerine ilişkin yaşlar ve bakım miktarlarının belirlendiği bir başka sınıfa ihtiyaç bulunmaktadır. Bu sınıf ise doğrudan SinirlarveMudahaleler sınıfı tarafından kullanılmakta ve BakimListesi sınıfı olarak adlandırılmaktadır (Şekil 22).



Şekil 20. Bölmeçik listesi sınıf diyagramı

SinirlarveMudahaleler
+ Mudahale_Turu: text + Mudahale_ID: integer + MakMin_Kodu: string + Mak_Kesim_Yasi: integer + Min_Kesim_Yasi: integer + Mak_Bakim_Yasi: integer + Min_Bakim_Yasi: integer
+ alVeri ()

Şekil 21. Sınırlar ve müdahaleler tablosu sınıf diyagramı

BakimListesi
+ Bakim_Turu: text + Bakim_ID: integer + Yas: integer + Bakim_Miktari: float + Bakim_Orani: integer
+ yapBakim ()

Şekil 22. Bakım listesi sınıf diyagramı

Bununla birlikte, bir simülasyon modeline herhangi bir orman değerini yansıtmayı sağlayan yardımcı bir model yine doğrudan büyüme modeli ile bağlantılı olmaktadır. Çünkü orman ekosistemi tarafından sunulan her bir değer meşcere yapısı ile doğrudan bağlantılı olup, bu değerlere ilişkin modeller, meşcerenin belirli bir zaman sürecinde dinamik yapısını ortaya koyan büyüme modeli tarafından kullanılmaktadır. Şekil 23 ve Şekil 24, bu çalışmada orman simülasyon modeline dahil edilen su üretimi (SuUretimModeli) ve toprak erozyonu (ToprakErozyonuModeli) modellerine ilişkin sınıfları göstermektedir. Her iki sınıfta su ve toprak değerlerini hesaplayan birer metot ile toprak ve su üretim modellerine ait anahtar kodları (ID) içeren birer değişken (özellik) bulunmaktadır. Buna göre seçilen herhangi bir su üretim veya toprak erozyonu modeline göre bölmeciklerin ilgili değerleri hesaplanmaktadır.

SuUretimModeli
+ Su_Uretim_Model_ID: integer
+ hesaplaSu_Uretimi ()

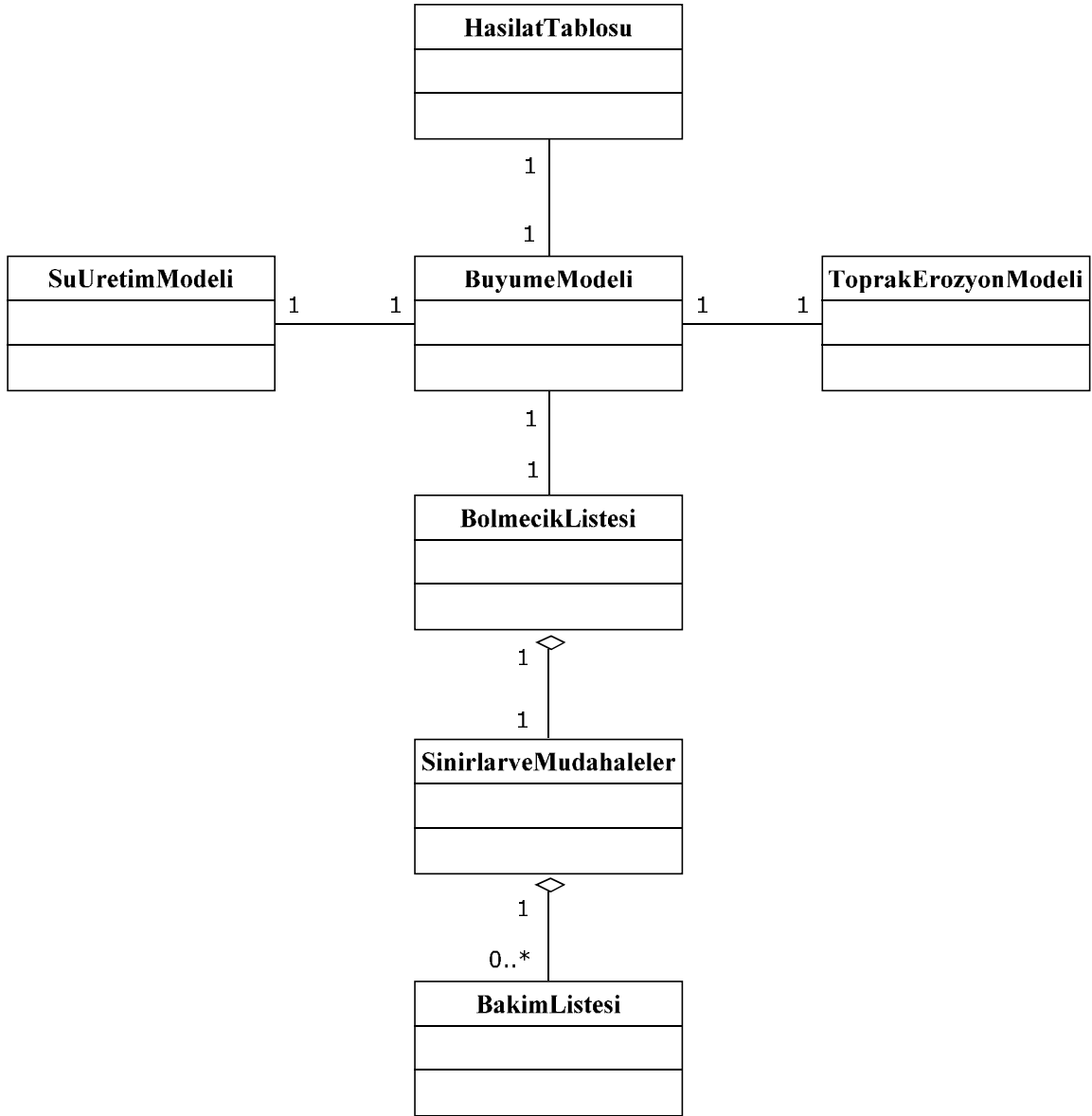
Şekil 23. Su üretim modeli sınıf diyagramı

ToprakErozyonuModeli
+ Toprak_Erozyonu_Model_ID: integer
+ hesaplaToprak_Erozyonu ()

Şekil 24. Toprak erozyonu modeli sınıf diyagramı

Bu açıklamalardan sonra bir büyüme modeli için gerekli tüm sınıflar ve birbirleri aralarındaki ilişkiler Şekil 25’de verilmiştir. Bu şekilde BuyumeModeli sınıfının, HasilatTablosu, BolmecikListesi, SuUretimModeli ve ToprakErozyonuModeli sınıfları ile arasında bire-bir (1-1) ilişkisinin olduğu görülmektedir. BolmecikListesi sınıfı ise, her bir bölmeçiğe uygulanacak silvikültürel müdahale reçetelerinin olduğu SinirlarveMudahaleler sınıflarından oluşmaktadır.

Simülasyon tabanlı orman amenajmanı planlama modelinde BuyumeModeli temel sınıfı haricinde diğer önemli sınıfı orman simülasyonudur (Simulasyon). Kullanıcı veya karar verici tarafından düzenlenen her türlü orman amenajmanı planı stratejilerinin çekirdek kısmı Simulasyon sınıfında yer almaktadır. Bir simülasyon sınıfı, simülasyon süresi, periyot genişliği, gençleştirme ve bakım kuralları, kullanıcı tarafından belirlenen müdahalelere ve saptanan hedeflere bağlı olarak simülasyon modelinin koşturulmasını ve sonuçların üretilmesini gerçekleştirmektedir. Simülasyon sınıfının temel özelliklerini ve bu özelliklerin veri türlerini gösteren sınıf yapısı Şekil 26’da gösterilmiştir. Aynı zamanda simülasyon modelinin koşturulmasını gerçekleştiren yapSimülasyon adlı bir metot, sınıf içerisinde bulunmaktadır.



Şekil 25. Büyüme modelinin UML mimarisi

Simülasyon sınıfı yapısı incelendiğinde, bir orman simülasyon modelinde bir takım sınıflara daha ihtiyacın olduğu görülecektir. Bunlardan bir tanesi Hedefler sınıfıdır (Şekil 27). Hedefler, kullanıcı veya karar verici tarafından ve orman ekosisteminin sürdürülebilir planlanmasına yönelik olarak belirlenmektedir. Temel olarak orman amenajmanında alan ve hacim kontrolüne yönelik hedefler bulunmaktadır. Bu çalışmada geliştirilen simülasyon tabanlı orman planlama modelinde, alan ve hacim kontrolleri ara hasılat ve son hasılat düzeylerinde ayrı olarak oluşturulmuştur. Yine kullanıcı tarafından tüm planlama birimini kapsayacak şekilde eta hedefleri vermek aynı zamanda mümkündür. Diğer taraftan,

planlama biriminde orman içi açıklıkların ağaçlandırılmasına yönelik olarak, istenilen periyotlar için ağaçlandırma hedefleri belirlenmesi söz konusudur.

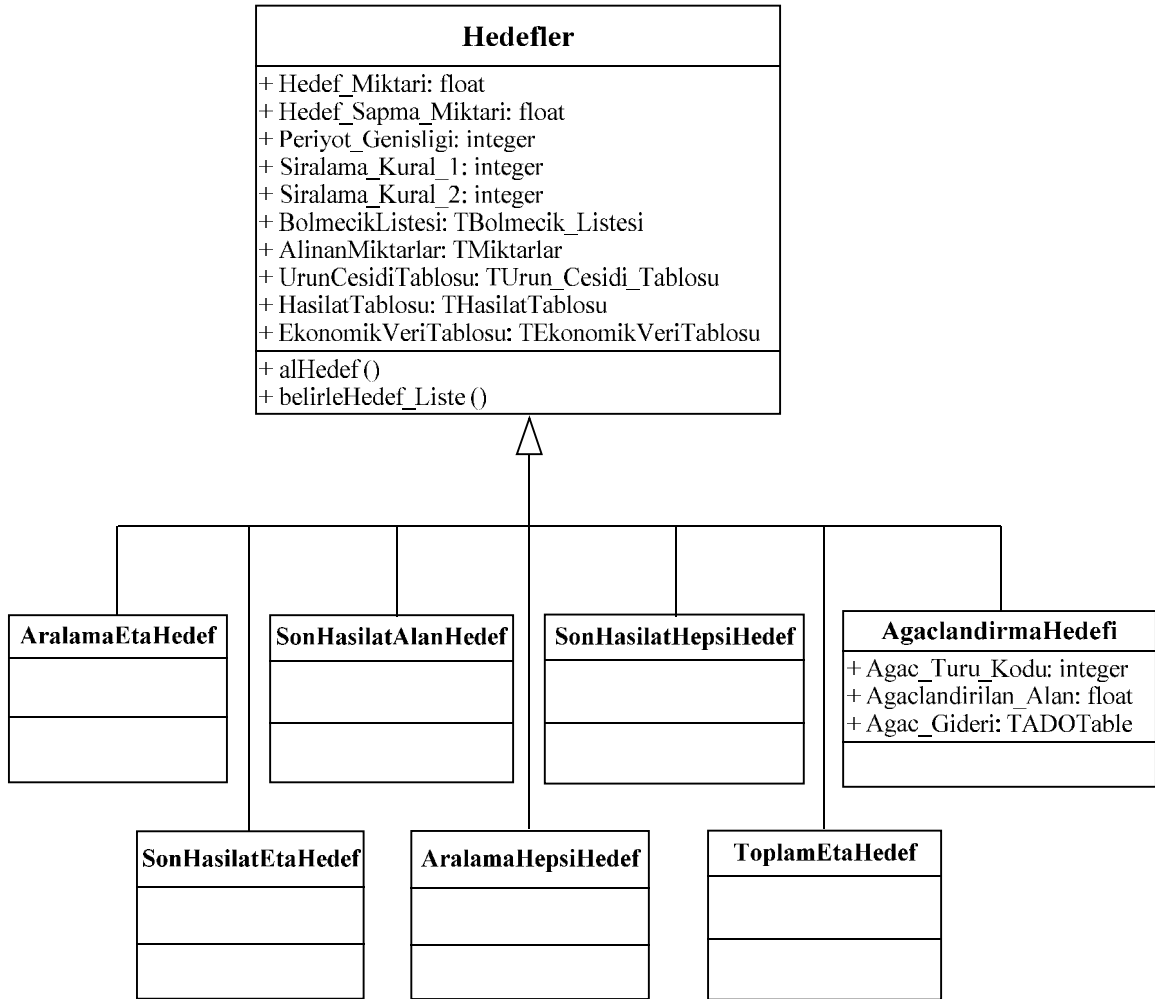
Simulasyon
+ Periyot_Genislighi: integer + Simulasyon_Suresi: integer + Periyot_No: integer + Iskonto_Orani: float + Hedef_Turu: integer + Hedef_Miktari: float + Hedef_Sapma_Miktari: float + Politika_Turu: integer + Genclestirme_Kural: integer + Bakim_Kural: integer + Sinirlar_Kod: integer + Hedef_Eta_Alan: boolean + BuyumeModeli: TTamMescereBuyumeModeli + OdunUrunCesitleri: TUrUn_Cesidi_Tablosu + KarbonBirikimiTablosu: TKarbon_Birikimi_Tablosu + EkonomikVeriTablosu: TEkonomik_Veri_Tablosu + Hedefler: TList
+ yapSimulasyon () + geri_al ()

Şekil 26. Simülasyon modeli sınıfı diyagramı

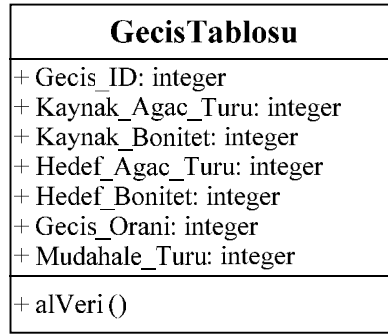
Hedefler sınıfının doğrudan bağlantılı olduğu birkaç sınıf bulunmaktadır. Bunlardan ilki, hedeflerin belirlenmesinde temel kaynak olan ve orman ekosistemini oluşturan bölmeciklerin ve bu bölmeciklere ilişkin her türlü veri ve bilginin tutulduğu BolmecikListesi sınıfıdır (Şekil 20).

Diğer önemli bir sınıf ise GecisTablosu sınıfıdır (Şekil 28). Çünkü orman ekosisteminde büyüme/üretim süresince ağaç türlerinde veya yetiştirme ortamı verim gücünde meydana gelecek değişiklikler, planlama biriminden beklenen hedefleri doğrudan etkilemektedir. GecisTablosu sınıfı, müdahaleden önceki kaynak ağaç türü ve bonitet ile müdahaleden sonraki ağaç türü veya bonitetin geçeceği hedef ağaç türü ve yeni bonitetler ve bu geçişlerin meydana gelme olasılıklarından oluşmaktadır. Bunlar aynı zamanda GecisTablosu sınıfının temel değişkenleridir. Daha önce ifade edildiği gibi orman simülasyon modelinde hedefler olarak son hasılat ve ara hasılat eta ve alan hedefleri, ağaçlandırma hedefleri veya toplam eta hedefleri bulunmaktadır. Bu çalışmada geliştirilen orman simülasyon modelinin çok önemli bir avantajı, kullanıcı tarafından istenilen

hedefler planlama birimi düzeyinde belirlenebileceği gibi; ağaç türü, işletme sınıfı, orman fonksiyonu, meşcere tipi veya yaş sınıfları gibi farklı düzeylerde de belirlenebilmektedir. Hedefler sınıfının etkin bir şekilde çalışması için, kullanıcı tarafından tanımlanan farklı hedeflere ilişkin miktarların, modelin işleyişi sürecinde hafızada tutulmasını sağlayan bir yardımcı sınıfa ihtiyaç olmaktadır. GerçeklesenMiktarlar olarak adlandırılan bu yardımcı sınıf Şekil 29’da verilmiştir. Şekil 30’da ise Hedefler sınıfı ve bu sınıfın bağlantılı olduğu sınıflara ilişkin sınıf diyagramları topluca verilmiştir.



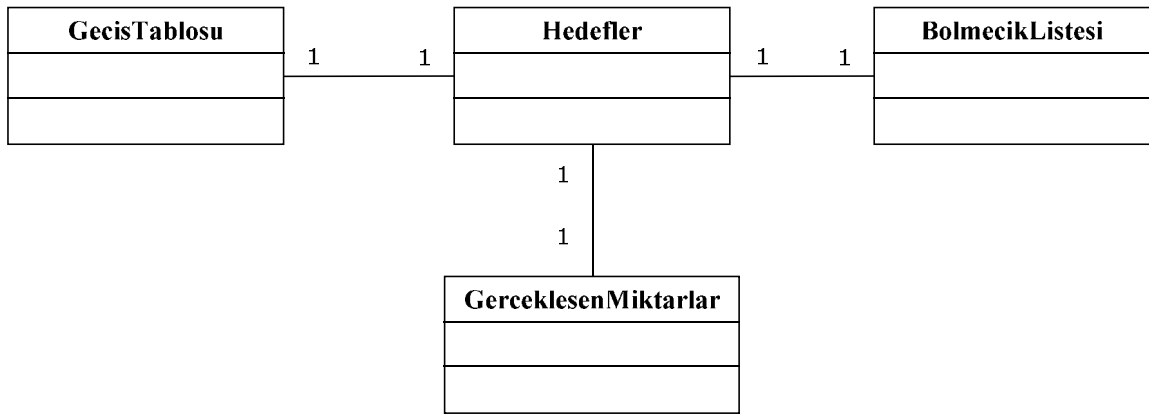
Şekil 27. Hedefler sınıf diyagramı



Şekil 28. Geçişler sınıf diyagramı



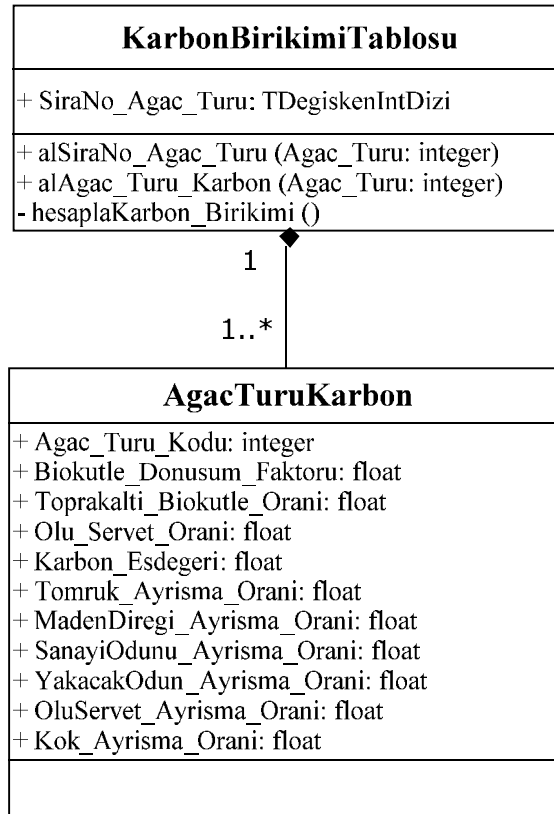
Şekil 29. Gerçekleşen miktarlar sınıfı diyagramı



Şekil 30. Hedefler ve bağlantılı olduğu sınıf diyagramları ilişkisi

Bu çalışma kapsamında Orman Simülasyon modeline yansıtılan net karbon birikiminin hesaplanmasına yönelik kullanılan KarbonBirikimiTablosu sınıfı, orman ekosistemi tarafından zamana ve müdahalelere bağlı olarak tutulan karbon miktarını hesaplamak için kullanılan bir sınıftır (Şekil 31). Yardımcı modeller bölümünde karbon birikimi modeli alt başlığı altında ayrıntılı olarak açıklandığı üzere, KarbonBirikimiTablosu sınıfında orman ekosisteminde depolanan ve yine orman

ekosistem parametreleri ve odun ürünlerinden atmosfere salınan emisyon miktarını hesaplamak için gerekli değerler bu sınıfta bulunmaktadır. Karbon birikimi, ağaç türleri bazında hesaplandığı için, KarbonBirikimiTablosu ağaç türleri bazında karbon birikiminin hesaplanmasını sağlayan AgacTuruKarbon sınıfından oluşmaktadır. Bu sınıfta ise, toprak üstü biyokütleyi hesaplamaya yönelik biyokütle dönüşüm faktörleri (Biokutle_Donusum_Faktoru), toprak altı biyokütle oranı (Toprakalti_Biokutle_Orani), ölü servet oranı (Olu_Servet_Orani), karbon eşdeğeri (Karbon_Esdegeri), değişik odun ürünlerinin ayrışma oranları gibi özellikler bulunmaktadır. Bu özellikler ile yardımcı modeller bölümünde net karbon birikimini hesaplamaya yönelik açıklanan formüller kullanılmak suretiyle, ağaç türü bazında ormanı oluşturan her bir bölmeçiğin belirlenen periyotlardaki karbon birikimi, karbon emisyonu ve net karbon birikimi değerleri sayısal olarak hesaplanmaktadır.

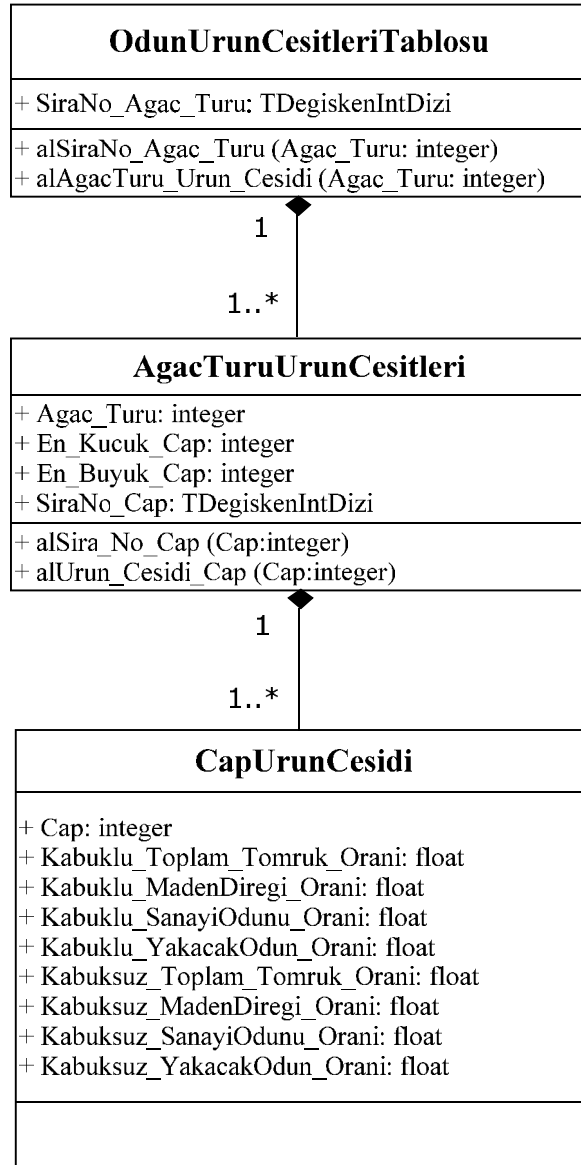


Şekil 31. Net karbon birikimine yönelik sınıf diyagramı

Bir orman simülasyon modelinde orman ekosisteminden zamana bağlı olarak elde edilen her türlü bakım (ara hasılat) ve gençleştirme (son hasılat) etalarının ağaç türleri

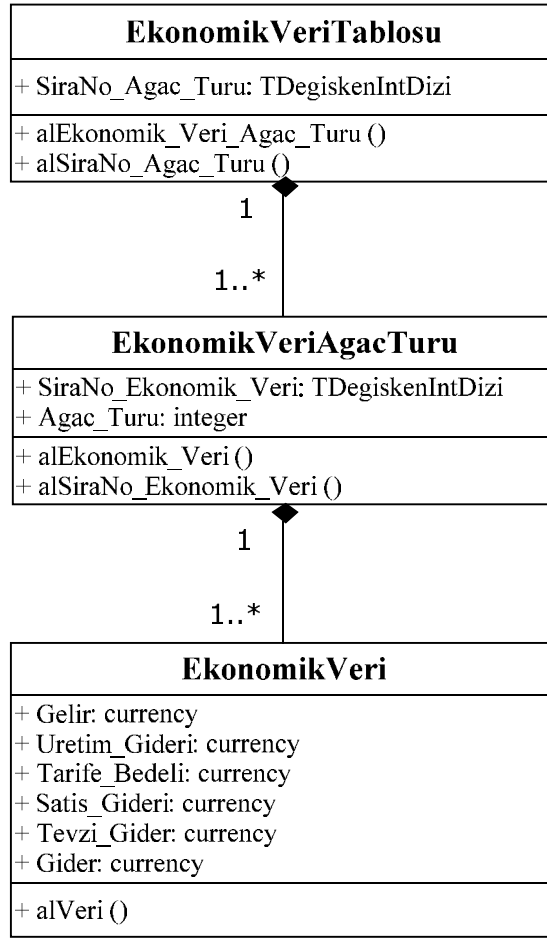
itibariyle odun ürünleri bazında hesaplanabilmesi için odun ürünü çeşitlerinin bilinmesi gereklidir. Odun ürünü çeşitlerinin bilinmesi ile birlikte, bir orman ekosisteminden belirli bir planlama stratejisine göre elde edilecek NBD ile birlikte yine o orman ekosisteminden zamana bağılı olarak atmosfere yayılacak olan karbon emisyonunu hesaplamak mümkün olmaktadır. Bu yüzden bir simülasyon modelinde ormandan elde edilen etaların odun ürünleri çeşitleri düzeyinde miktarlarının belirlenmesi amacıyla odun ürün çeşitlerini sağlayan bir sınıfa ihtiyaç vardır. Çok sayıda önemli fonksiyona sahip olan bu sınıf OdunUrunCesitleriTablosu sınıfıdır (Şekil 32). Odun ürünü çeşitleri ise ülkemizde önemli ağaç türleri için ve çoğunlukla meşcere çapına bağılı olarak belirlenmiştir. Görüldüğü üzere bu tablolar, ağaç türleri ve meşcere çapına bağılı olarak meşcerelerden elde edilecek kabuklu ve kabuksuz odun ürünlerinin oranlarını göstermektedir. OdunUrunCesitleriTablosu tablosu ürün çeşitlerinin ağaç türü düzeyinde belirlendiği AgacTuruUrunCesidi sınıflarından (1-1..*) ve bu sınıfların her biri ise ürün çeşitlerinin çap düzeyinde belirlendiği CapUrunCesidi sınıflarından (1-1..*) oluşmaktadır. CapUrunCesidi sınıfı ile birlikte bir ağaç türünden elde edilecek ara ve son hasılat etalarının çap bağılı olarak ürün çeşitleri oranları (Kabuklu_Tomruk_Orani, Kabuklu_MadenDiregi_Orani vs) kullanılarak zamana bağılı olarak üretilen odun ürün miktarları hesaplanabilmektedir.

Bir orman simülasyon modelinde, odun üretimine yönelik ekonomik bilgilerin hesaplanabilmesi için, odun ürün çeşitleri yanında, ağaç türü bazında odun ürünlerine ait ekonomik gelir ve gider verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. İhtiyaç duyulan bu veriler ise EkonomikVeriTablosu sınıfı aracılığıyla karşılanmaktadır (Şekil 33). EkonomikVeriTablosu, ağaç türlerine göre ayrılmış odun ürünü çeşitleri için gelir ve gider parametrelerinden meydana gelmektedir. Gelir olarak odun ürünlerin satış fiyatı (Gelir), giderler olarak ise üretim gideri (Uretim_Gideri), tarife bedeli (Tarife_Bedeli), satış gideri (Satis_Gideri), tevzi giderleri (Tevzi_Gider) ve bu giderlerin toplamı (Gider) sınıfın temel özelliklerini göstermektedir. EkonomikVeriTablosu sınıfının en temel metotları öncelikle ağaç türünün ve daha sonra ağaç türü bazında ekonomik verilerin çekilmesini sağlayan alVeri metodudur. Ancak burada, odun ürün çeşitlerinin kalite itibariyle bir ayırımı yapılmamıştır. Örneğin, tomruk ürün çeşidinin birim fiyatı, her kalite için ağaç türüne bağılı olarak sabit alınmıştır. Esasen, her bir odun ürünü çeşidinin miktarlarının kalite itibariyle sınıflandırılıp, ekonomik değerlerinin ayrı olarak belirlenerek, ekonomik parametrelerin (özellikle gelir) hesaplanması idealdir.



Şekil 32. Odun ürün çeşitleri sınıf diyagramı

Bir orman simülasyon modelinin en temel ikinci sınıfı olan Simülasyon sınıfının doğrudan bağlantılı olduğu diğer bir sınıf ise simülasyon modeli sonuçlarının veya çıktılarının tutulduğu SimulasyonSonuclari sınıfıdır. Bu sınıf aracılığı ile birlikte, gerek orman ekosistem düzeyinde gerekse orman ekosistem analiz alanları düzeyinde orman ekosistem yapı ve kuruluşuna ait parametreler (ağaç sayısı, yaş sınıfı dağılımı ve göğüs yüzeyi gibi) ile ormandan elde edilen her türlü çıktıları (odu üretimi, NBD, su üretimi, toprak erozyonu, karbon birikimi gibi) görmek mümkündür.

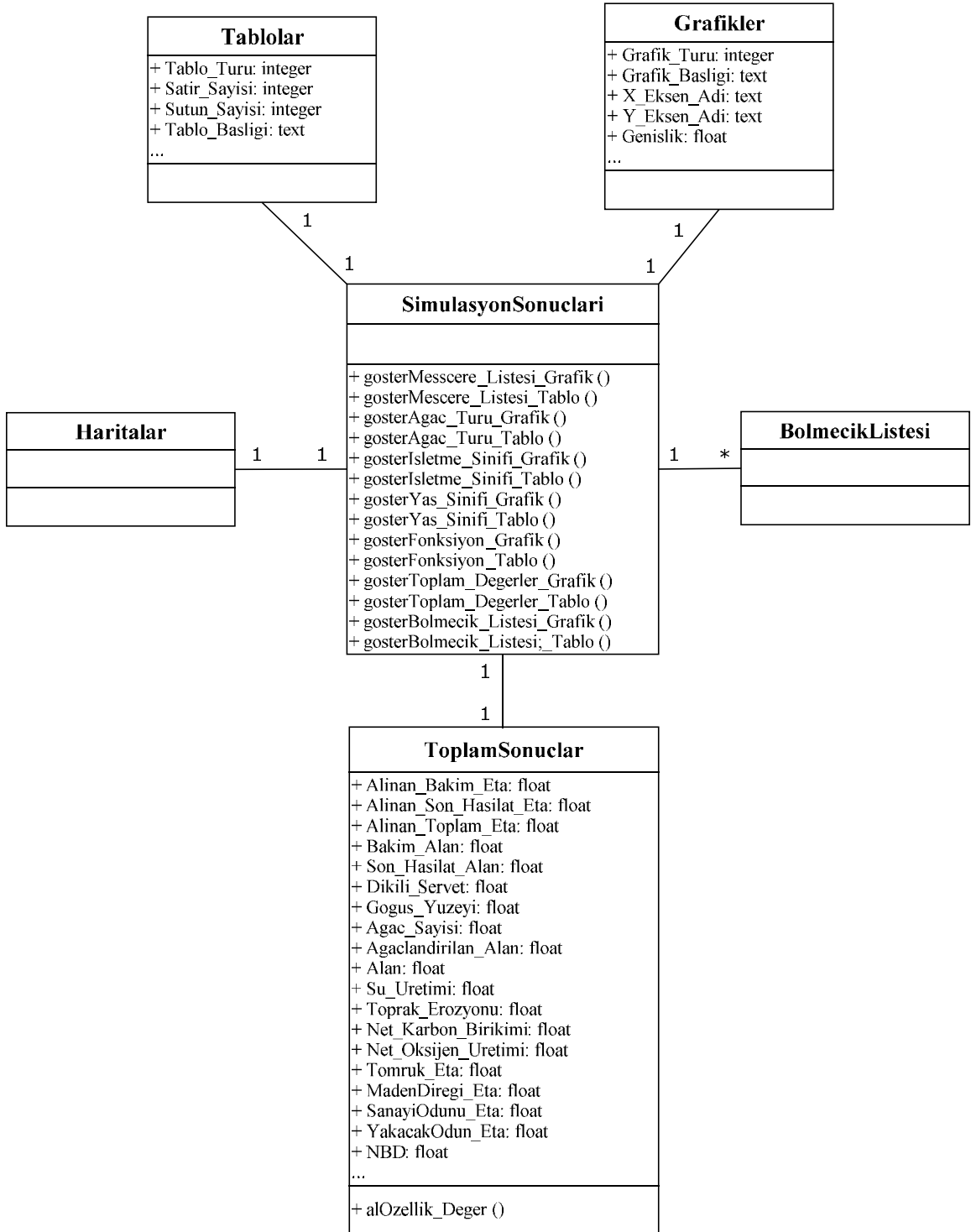


Şekil 33. Ekonomik veri tablosu sınıf diyagramı

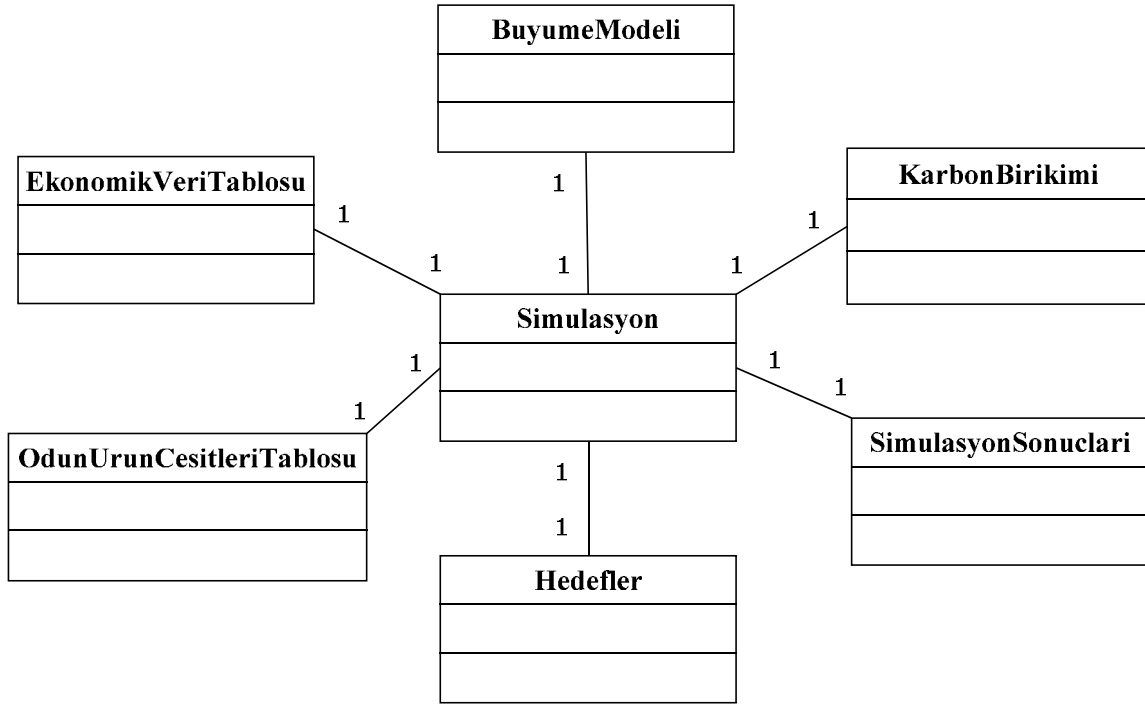
SimulasyonSonuclari sınıfı, sonuçların kullanıcılara istenilen formatta yansıtılmasını sağlamak için bir takım sınıflarla bağlantılıdır (Şekil 34). Bunlar, Tablolar, Grafikler ve Haritalar olarak gruplandırılabilir. Dolayısıyla SimulasyonSonuclari sınıfının istenilen analiz alanı düzeyinde ve istenilen formatta (grafik, tablo vs) sonuçları sunması için çok sayıda fonksiyonları (örneğin `gosterAgac_Turu_Grafik`) bulunmaktadır. Ayrıca bu çalışmada geliştirilen simülasyon modelinde en küçük temel birim bölmecikler olduğundan SimulasyonSonuclari sınıfı doğrudan BolmecikListesi sınıfı ile bağlantılıdır. Çünkü sonuçların istenilen analiz alanı düzeyinde ortaya konulmasında, bölmecik listesinde yer alan bölmeciklerden faydalanılmaktadır. Örneğin, herhangi bir işletme sınıfından zamana bağlı olarak elde edilen son hasılat etaları veya su üretimi miktarları hesaplanırken, o işletme sınıfına giren bölmecikler çekilmekte ve bu bölmeciklere ilişkin değerler toplamı o işletme sınıfının toplam değerlerini vermektedir. Bununla birlikte, özelde her bir bölmeciğin, genelde diğer analiz alanları için simülasyon süresi boyunca elde edilecek her

türlü çıktıların SimulasyonSonuclari sınıfı aracılığıyla grafik, tablo gibi gösterimlerinin yapılması için gerekli verilerin hafızada tutulması ve istenildiğinde kullanılabilmesi için yardımcı bir sınıfa daha ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle, simülasyon modeli çözüm sonuçlarının hafızada tutulması ve sunulmasını sağlamak için ise ToplamSonuclar adlı bir yardımcı sınıftan yararlanılmaktadır. ToplamSonuclar adlı sınıf, simülasyon tabanlı çok amaçlı bir orman amenajman planının çıktılarının hepsini (örneğin Alınan_son_Hasilat_Eta, Su_Uretimi, Net_Karbon_Birikimi, Agaclandirilan_Alan) simülasyon süresi boyunca saklamaktadır. Bu yapı ile birlikte sonuçlar, toplam planlama birimi, işletme sınıfı, orman fonksiyonu, ağaç türü, meşcere veya yaş sınıfları düzeyinde elde edilebilmektedir.

Sonuç olarak, simülasyon modelinin temel sınıfı olan Simülasyon sınıfı ve bağlantılı olduğu diğer sınıflar arasındaki ilişkileri gösteren sınıf diyagramı yapısı Şekil 35' de verilmiştir. Simülasyon tabanlı bir orman amenajmanı planlama modelinin tamamını içeren ayrıntılı sınıf diyagramları yapısı geniş alan kapladığından, bu sınıfların hepsini içeren sınıf diyagramları, tezin sonunda CD formatında teze ek olarak verilmiştir.



Şekil 34. Simülasyon sonuçları sınıf diyagramı



Şekil 35. Simülasyon sınıfı ve bağlantılı diğer sınıf ilişkileri yapısı

2.2.3.4.2. Optimizasyon Modeli

2.2.3.4.2.1. Doğrusal Programlama Tabanlı Orman Planlama Modeli Özellikleri

Doğrusal programlama tekniği, orman amenajman planlama problemlerinin çözümünde 1960'lı yıllardan itibaren kullanılmakta olan önemli bir planlama/modelleme tekniğidir. Doğrusal programlama, amaç fonksiyonu ve kısıtlayıcıların doğrusal fonksiyonlar olarak yer aldığı problemlerin çözümü için kullanılan bir modelleme tekniğidir. Doğrusal programlama modelinde yer alan kısıtlayıcılar eşitlik veya eşitsizlikler şeklinde olabilir. Doğrusal programlama tabanlı modellerde, tek ve öne çıkan bir amaç eniyilenirken (örneğin ekonomik gelirin eniyilenmesi), diğer amaçlar (periyodik olarak eşit eta üretimi, su üretiminin veya toprak kaybının belirli bir hedefte tutulması gibi) kısıtlayıcılar olarak modele dâhil edilir. Bu tez kapsamında gerçekleştirilen optimizasyon tabanlı orman planlama modülü, doğrusal programlama tekniğine dayalı olarak geliştirilmiştir. Doğrusal programlama tekniğinin orman amenajmanında kullanımına ilişkin model yapısı basit olarak aşağıda açıklanmıştır.

$$\max Z = c^T X \quad (23)$$

$$A_1 X \leq b_1 \quad (24)$$

$$A_2 X = b_2 \quad (25)$$

$$X \geq 0 \quad (26)$$

Burada:

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 eniyilenmektedir. Bu maksimizasyon ya da minimizasyon şeklinde olabilir. Örneğin, su üretiminin maksimizasyonu veya toprak erozyonu miktarının minimizasyonu gibi.

X: Karar değişkenleri vektörü ($N \times 1$ 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 ($1 \times N$ 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 ($M \times N$ 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 ($M \times 1$ 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 ($K \times N$ satır ve sütun); bir analiz alanı (örneğin meşcere) bir silvikültürel müdahaleye tahsis edilirse 1 aksi takdirde 0 değerini alır, kesirli

sonuçların elde edilmesi, başka bir deyişle, bir meşcerenin birden fazla silvikültürel müdahale rejimine tahsisi söz konusu olabilir.

b2: Her bir analiz alanının başlangıç alan miktarlarından oluşan vektör ($K \times 1$ sütun).

Aşağıdaki bilgi kutucuğunda, bir üretim problemine ilişkin doğrusal programlama modeli örneği, temel yapısı itibarıyla ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Örnek: *KelesOrman* işletmesi, 500 hektarlık bir orman alanının amenajman planını hazırlayacaktır. İşletmenin amacı gelecek 30 yıllık planlama yörüngesi boyunca odun üretiminden elde edilebilecek odun üretimini eniyilemektir. Bununla beraber, uzun vadeli amaçlardan bir tanesi ise, her birinin uzunluğu 10 yıl olan periyotlar arasında eşit eta üretimi politikasıdır. Toplam orman alanı 500 hektar olup, orman, 50 ve 80 yaşında iki meşcereden oluşmaktadır. Her iki meşcere kesime olgunluk yaşına gelmiş bulunmaktadır. Tek bir silvikültürel müdahale olup, bu ise tıraşlama kesimidir. Bu meşcerelerin alanları ise sırasıyla 200 ve 300 hektardır. 50 yaşındaki meşcerenin gelecek üç periyot için birim hektardaki toplam servetleri sırasıyla 120, 230 ve 250 m³ iken, 80 yaşındaki meşcerenin servetleri ise sırasıyla 310, 320 ve 350 m³'tür. Bu bilgilere göre, orman işletmesinin problemini çözecek doğrusal programlama modelini kurunuz.

Karar Değişkenleri:

X_{ij} : *i* meşceresinin *j*. periyotta kesime tabi tutulacağı alan miktarı (ha)

Amaç Fonksiyonu:

$$Z_{\max} 120 X_{11} + 230 X_{12} + 250 X_{13} + 310 X_{21} + 320 X_{22} + 350 X_{23}$$

Kısıtlayıcılar:

Problemde iki tür kısıtlayıcı bulunmaktadır. Bunlardan ilki meşcerelere ait olan alan kısıtları, diğeri ise periyotlar arasında eta kontrolünü gerçekleştiren eta kontrol kısıtlarıdır.

$$X_{11} + X_{12} + X_{13} = 200 \text{ (1 no'lu meşcerenin alan kısıtı)}$$

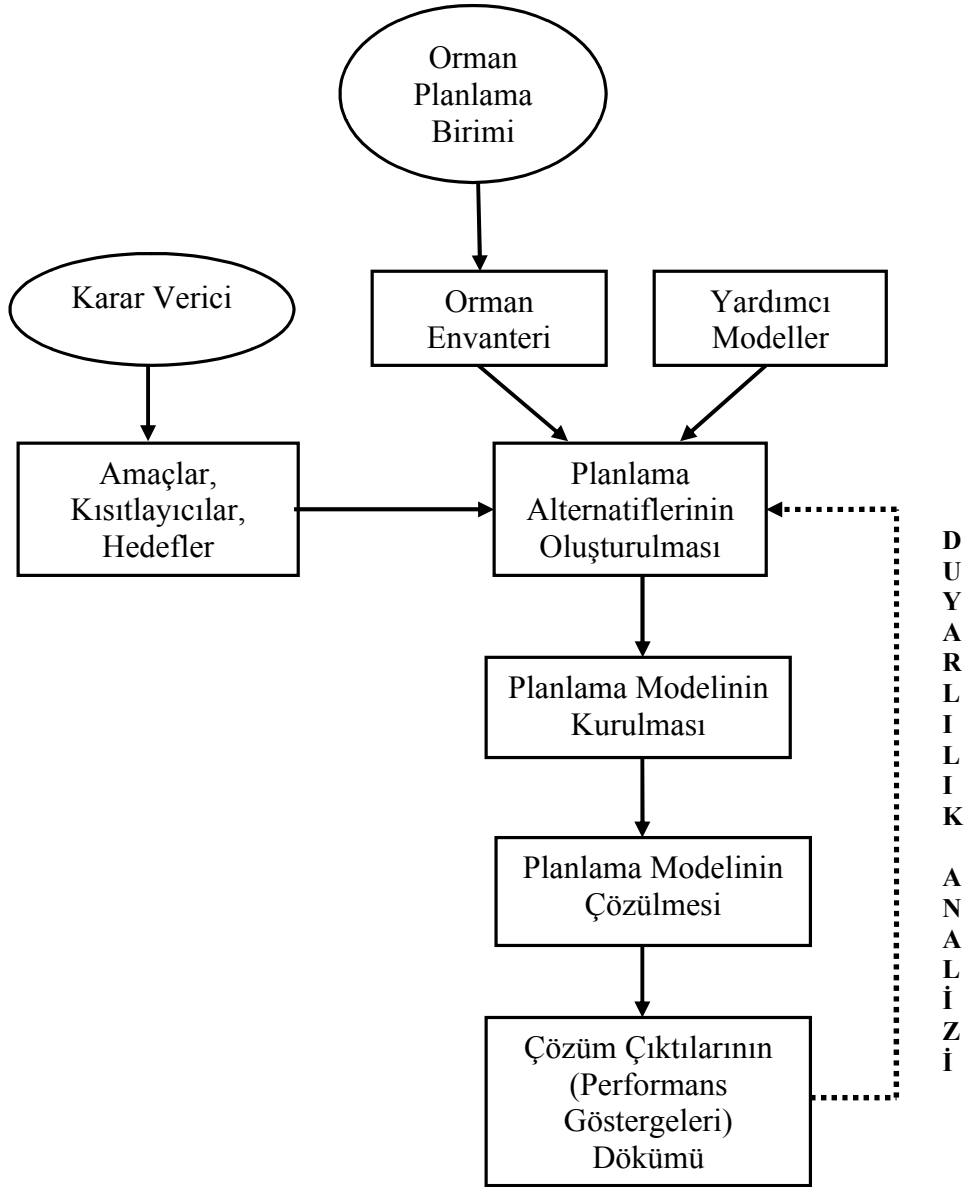
$$X_{21} + X_{22} + X_{23} = 300 \text{ (2 no'lu meşcerenin alan kısıtı)}$$

$$120 X_{11} + 310 X_{21} - 230 X_{12} - 320 X_{22} = 0 \text{ (1 ve 2 no'lu periyotlar arasındaki eta eşitliği kısıtı)}$$

$$230 X_{12} + 320 X_{22} - 250 X_{13} - 350 X_{23} = 0 \text{ (2 ve 3 no'lu periyotlar arasındaki eta eşitliği kısıtı)}$$

Bu çalışma kapsamında geliştirilen doğrusal programlama tabanlı orman planlama sisteminin genel mimarisi Şekil 36' da sunulmuştur. Şekilden anlaşılacağı üzere optimizasyon tabanlı bir orman planlama sisteminde belirli aşamaların olduğu görülecektir. Öncelikle karar verici tarafından, her türlü tercihler, 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

üretir. İşletme alternatiflerinin tüm kombinasyonları aynı zamanda karar uzayını tanımlar. Bu alternatifleri uygulamanın etkileri, bir meşcere simülasyon modeli kullanılarak tahmin edilir ve dikkate alınan her bir orman fonksiyonu ve orman-meşcere dinamiği sayısal olarak tahmin edilir. Karar verici, amaçlar, planlama politikaları, kısıtlayıcı koşullar ve orman kaynağına ilişkin verileri birlikte değerlendirerek planlama probleminin modelini geliştirilen bilgisayar yazılımı yardımıyla kurar. Kurulan model (matrisler) bir matris çözücü programı ile (örneğin LINGO) çözülür. Son olarak matris çözücü tarafından sağlanan çözümler, bir rapor yazıcı ile birlikte, planlama probleminde yer alan tüm çıktılar tablo, grafik, metin veya harita şeklinde sunulur.



Şekil 36. Doğrusal programlama tabanlı orman amenajmanı planlama sistemi

Doğrusal programlama tabanlı orman amenajman planlama modeli ile simülasyon tabanlı orman amenajmanı planlama modeli akış diyagramları kıyaslandığı zaman, simülasyon modelinde kural ve hedeflerin önceden tanımlandığı, doğrusal programlama modelinde ise hedeflerin hesaplanarak bulunduğu görülecektir. Diğer taraftan doğrusal programlama modellerinde, planlama problemine ilişkin bir planlama modelinin (matris) kurulması ve bu modelin optimizasyon modeline ait bir çözüm algoritması (simpleks yöntemi) ile çözülmesi, simülasyon modellerine göre önemli göze çarpan farklılıklardır. Doğrusal programlama tabanlı orman amenajmanı planlama modelinde, planlama modeline ilişkin süreci aşağıdaki şekilde adımlar halinde açıklanmak mümkündür.

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

Planlama Yörüngesi ve Periyot Uzunlukları Girilir: Orman amenajmanı planlama yörüngesi ve süresinin belirlendiği bu aşamada, genellikle stratejik planlama süresi uzunluğu ve bu sürenin bölünmesi ile belirlenen ve ormanın dinamik yapısı ve elde edilen hasılatların sonuçlarının değerlendirilmesini sağlayan periyot uzunlukları ortaya konulur.

Doğal Olaylar Planlamaya Yansıtılır: Orman ekosistemini etkileyen yangın, böcek ve fırtına gibi doğal olaylar ile bu olayların ormanın dinamik yapısı üzerine olan etkileri sayısal olarak planlama problemine yansıtılır. Ormanın dinamik yapısını doğrudan ilgilendiren ve silvikültürel müdahaleler haricinde gelişen bu doğal olay/müdahalelere ilişkin veri ya da bilgiler ile birlikte doğal müdahalelerin ormanın dinamik yapısı üzerine olan etkilerini izlemek mümkündür.

Silvikültürel Müdahale Rejimleri Belirlenir: Orman ekosistemine uygulanacak silvikültürel müdahale rejimleri/reçeteleri belirlenerek, daha önceden karar verilen analiz alanlarına bu müdahale reçeteleri tahsis edilir. Bu aşamada, analiz alanlarına uygulanacak silvikültürel müdahale seçenekleri, uygulama yaşları ve miktarları listesinden oluşan bir dizi silvikültürel müdahale rejimleri oluşturulmakta ve her bir analiz alanına en uygun rejim tahsis edilmektedir.

Geçişler Belirlenir: Daha önceden tanımlanmış olan analiz alanına uygulanacak müdahaleyi takiben, ilgili ağaç türü veya meşcere tipinin geçeceği yeni ağaç türü veya

meşcere tipine karar verilmektedir. Geçişlerin belirlenmesi, müdahaleden sonra orman ekosisteminin gelişiminin doğru tahmin edilmesi açısından oldukça önemlidir.

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

Amaçlar ve Kısıtlayıcı Koşullar Belirlenir: Karar verici tarafından orman planlama problemine teşkil edecek amaçlar, hedefler ve kısıtlayıcı koşullara bu aşamada karar verilmektedir.

Amaç Fonksiyonu Seçilir: Genellikle işletme amaçları tanımlanırken, ormanın gelecekteki arzu edilen durumu, ekonomik kaynakların düzenlenmesi, orman çıktılarının (odun üretimi, yaban hayatı habitatı, su üretimi, karbon depolama vs) düzenlenmesi anlaşılmaktadır. Doğrusal programlamada belirlenen amaç fonksiyonu maksimizasyon ya da minimizasyon şeklinde eniyilenir. En yüksek miktarda odun üretimi değerini elde etmek, en yüksek NBD elde etmek, giderleri minimize etmek, su üretimini veya toprak kaybını eniyilemek amaç fonksiyonlarına örnek verilebilir.

Kısıtlayıcılar Belirlenir: Doğrusal programlama tabanlı orman planlama modellerinde genellikle iki tür kısıtlayıcı bulunmaktadır. Bunlar açık ve kapalı kısıtlayıcılardır.

A. Açık kısıtlayıcılar kendi içinde genellikle üç gruba ayrılmaktadır. Bunlar:

- Her bir silvikültürel müdahale rejiminin var olandan daha fazla alana tahsis edilmesini engellemek için kullanılan kısıtlayıcılar (alan kısıtı)
- Üretime alınan alanların yeni gençleştirme sınıflarına uygun şekilde tahsis edilmesini sağlayan kısıtlayıcılar (geçiş kısıtları)
- Hesap değişkenlerini kurmak için kullanılan kısıtlayıcılar (örneğin periyodik olarak gerçekleştirilen eta miktarları, karbon birikim miktarları veya oksijen üretim miktarları)

B. Kapalı kısıtlayıcılar da yine kendi içinde üç grupta değerlendirilmektedir. Bunlar:

- **Mutlak Kısıtlayıcılar:** Bir veya birden fazla planlama periyodunda meydana gelen fiziksel veya finansal çıktı miktarını kontrol eder. Örneğin, toplam silvikültürel maliyetler 15 000 YTL aşmasın. Her bir periyotta elde edilen gelir en az 100 000 \$ olsun. Elde edilen eta herhangi bir periyotta en az 50 000 en fazla 200 000 m³ olsun.

- Akış Kısıtlayıcıları: Bir çıktının bir periyottan diğerine değişebildiği fiziksel veya finansal oranı kontrol eder. Örneğin, her bir periyotta elde edilen eta en fazla %10 arasında değişsin. Giderek artan eta politikası diğer bir akış kısıtlayıcısıdır. Belirli oranda değişen eta politikası yine başka bir akış kısıtıdır.
- Politika Kısıtları: Bir veya birden fazla periyotta iki çıktı arasındaki orantıyı kontrol eder. Örneğin, ladin ağaçlandırma alanı sarıçam ağaçlandırma alanının en az %50 si kadar olsun veya odun üretimine tahsis edilecek her 100 ha alan için 5 ha alan yaban hayatı habitatı üretimine ayrılmalıdır.

Planlama Modeli Oluşturulur: Herhangi bir planlama birimine ve planlama problemine bağlı olarak işletme alternatifleri oluşturulduktan ve karar verici tarafından amaçlar ve kısıtlayıcı koşullar belirlendikten sonra, planlama problemine ilişkin model oluşturulur. Bu aynı zamanda “Matris Oluşturma veya Kurma” olarak da adlandırılmaktadır. Burada önemli olan nokta, planlama problemine ilişkin matrislerin geliştirilen ya da ticari olarak geliştirilmiş olan hazır matris çözücü programının formatına uygun olmaları koşuludur. Yine bu aşamada modelin geçerliliği kontrol edilir.

Planlama Modeli Çözülür: Herhangi bir orman amenajmanı planlama problemine ilişkin veriler modele girildikten sonra, modeli koşturmak mümkündür. Bu aşamada, yazılım (KDS) öncelikle planlama problemine ilişkin matrisleri kurar, bir matris çözücü program yardımıyla birlikte planlama problemini çözer ve çözüm raporunu sunar. Model koşturulduğu zaman, yazılım belirtilen amaç/hedef ve kısıtlayıcıları en iyi düzeyde başaracak şekilde işletme faaliyetlerini planlamaya çalışır.

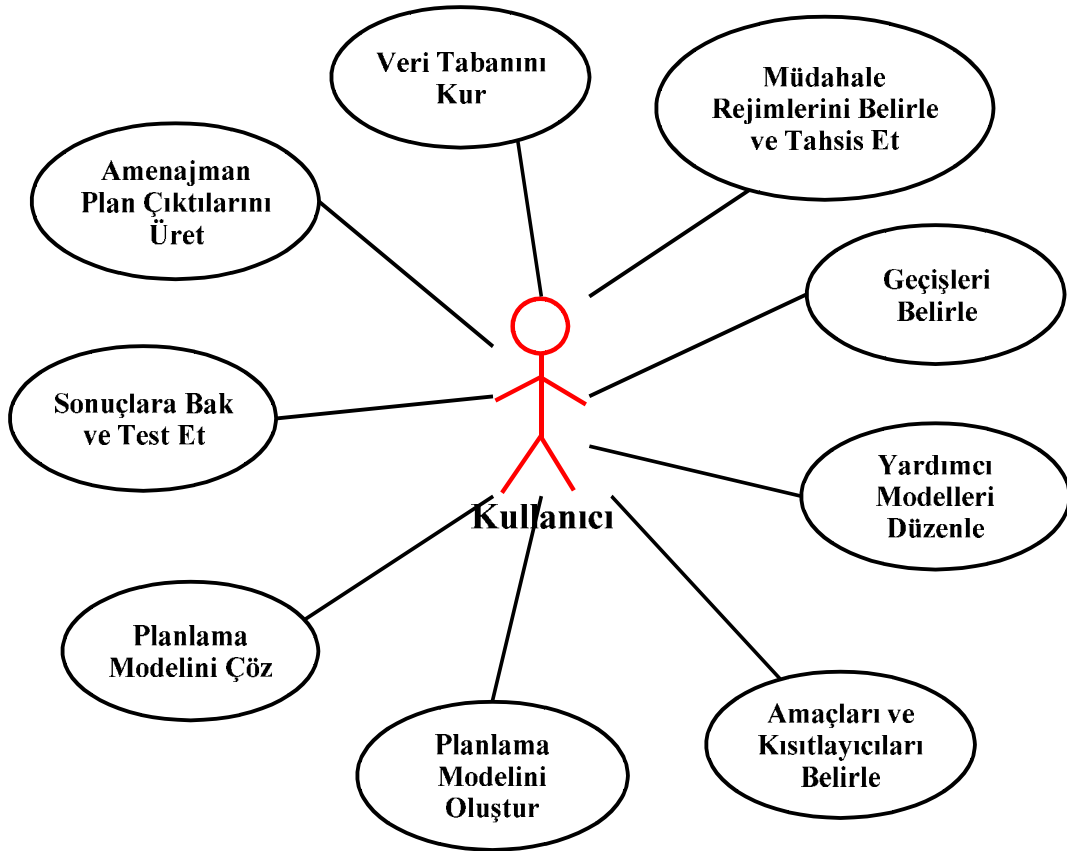
Performans Göstergeleri Üretilir: Optimal çözüm, matris çözücü program tarafından elde edildikten sonra, sonuçlar bir “rapor yazıcı” modül yardımıyla grafikler ve rapor dosyaları şeklinde sunulmaktadır. Modelin koşturulması bittikten ve gerekli çözüm raporları elde edildikten sonra, sonuçlar menüsünden bir takım performans göstergelerine ulaşmak ve değerlendirmek mümkündür. Sonuçlar menüsünde genel olarak, orman ekosisteminin yapı ve kuruluşu (dinamik yapısı), müdahale edilen alanların üretim birimlerine, silvikültürel müdahale rejimlerine ve zamana bağlı olarak değişimi, ekonomik değerler, üretilen odun üretimi miktarları, diğer odun dışı mal ve hizmetlere ilişkin sayısal değerleri tablo, grafik, metin veya harita çıktı formatlarında görmek mümkündür. Burada pek çok alternatif planlama senaryosu denenebilir ve bunların sonuçları karşılaştırılabilir. Bu aynı zamanda duyarlılık analizi olarak adlandırılmaktadır. Sonuçların görülmesi, çıktıların karşılaştırılması, diğer sistemlere taşınması ve değerlendirilmesi mümkündür.

Örneğin, elde edilen sonuçlar ilgili yönetmelik ve kılavuzlara bağlı olarak orman amenajman planı formatında hazırlanabilirler.

Bu açıklamalara bağlı olarak geliştirilen doğrusal programlama tabanlı orman amenajmanı planlama modelinin kullanım durumları aşağıda sırasıyla verilmiştir. Burada veri tabanı kurulmasına yönelik kullanım durumu, daha önceki konularda veri tabanı hakkında ayrıntılı bilgiler açıklandığı için tekrardan verilmemiştir.

2.2.3.4.2.2. Doğrusal Programlama Tabanlı Orman Planlama Modeline İlişkin Kullanım durumlarının Geliştirilmesi

Bu çalışma kapsamında geliştirilen Karar Destek Sistemi içerisinde yer alan optimizasyon tabanlı orman planlama modeline ait kullanım durumları Şekil 37’de verilmiştir. Her bir kullanım durumu özellikleri ve aşamaları ise sırasıyla Tablo 12 – 19’ da açıklanmıştır.



Şekil 37. Optimizasyon modeli için mevcut kullanım durumları

Tablo 12. Müdahale rejimlerini belirle ve tahsis et kullanım durumu aşamaları

<p>Kullanım Durumu Adı: Müdahale Rejimlerini Belirle ve Tahsis Et Aktör: Sistem Kullanıcısı Amaç: Her bir analiz alanı için silvikültürel müdahale rejimlerinin oluşturulması</p>
<p>Kullanım Durumu Aşamaları</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Kullanıcı, periyot genişliğini girer. <ul style="list-style-type: none"> • Sistem, varsayılan periyot genişliğini dikkate alır. 2. Kullanıcı planlama yörüngesini (simülasyon süresini) girer. <ul style="list-style-type: none"> • Sistem, planlama yörüngesinin periyot genişliği katları şeklinde girilmesi için uyarı verir. 3. Kullanıcı, müdahale rejimini (reçetesini) hazırlar. 4. Kullanıcı, her bir müdahale rejimi için minimum ve maksimum kesim yaşlarını girer. 5. Kullanıcı, her bir müdahale rejimi için minimum ve maksimum bakım kesim yaşlarını ve gerekli bakım oranlarını meşcere serveti veya göğüs yüzeyine göre girer. <ul style="list-style-type: none"> • Sistem, o yaş için meşcereye herhangi bir bakım yapılmayacağını varsayar. 6. Sistem her bir müdahale rejimi için bir rejim ID'si tahsis eder. 7. Kullanıcı her bir analiz alanı için bir silvikültürel müdahale rejimini tahsis eder. <ul style="list-style-type: none"> • Sistem, rejim tahsis edilmeyen analiz alanlarını doğal seyrine bırakmış olarak varsayar. 8. Sistem her bir analiz alanının (meşcere) gelişimini ve olası değerlerini (performans göstergelerini) tahsis edilen müdahale rejimine göre zamana bağlı olarak tahmin eder.

Tablo 13. Geçişleri belirle kullanım durumu aşamaları

<p>Kullanım Durumu Adı: Geçişleri Belirle Aktör: Sistem Kullanıcısı Amaç: Meşcerelerin silvikültürel müdahaleleri takiben geçeceği yeni tür veya türlerin belirlenmesi</p>
<p>Kullanım Durumu Aşamaları</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Kullanıcı geçiş tablosunu seçer. 2. Kullanıcı kaynak ağaç türünü seçer. 3. Kullanıcı, gençleştirme kesimini takiben kaynak ağaç türünün geçebileceği hedef ağaç türlerini ve boniteti seçer. <ul style="list-style-type: none"> • Sistem, kaynak ağaç türünün kesildikten sonra, yine aynı ağaç türü ve bonitette gelişeceğini varsayar. 4. Olasılıklı geçiş durumları ve birden fazla hedef tip yani tür söz konusu ise, kullanıcı her bir kaynak tipin hedef tip veya tiplere geçiş olasılıklarını girer. 5. Kullanıcı ağaç türlerinin bakım müdahalelerini takiben geçeceği hedef tür veya türleri belirler. <ul style="list-style-type: none"> • Sistem kaynak meşcere tipinin bakım müdahalesinden sonra yine aynı ağaç türü ile aynı bonitette gelişeceğini varsayar. 6. Sistem her bir meşcerenin gelişimini ve olası çıktıları tahmin eder.

Tablo 14. Yardımcı modelleri düzenle kullanım durumu aşamaları

<p>Kullanım Durumu Adı: Yardımcı Modelleri Düzenle Aktör: Sistem Kullanıcısı Amaç: Planlamaya (modele) dahil edilecek yardımcı modellerin seçilmesi ve gerekli düzenlemelerin yapılması</p>
<p>Kullanım Durumu Aşamaları</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Kullanıcı, kullanmak istediği hasılat ve büyüme modelini seçer. 2. Kullanıcı, kullanmak istediği odun ürün çeşitleri modelini seçer. 3. Kullanıcı, kullanmak istediği su üretim modelini seçer. <ul style="list-style-type: none"> • <i>Sistem, varsayılan su üretim modeline göre meşcerelerin su üretimini hesaplar.</i> 4. Kullanıcı, kullanmak istediği toprak erozyonu modelini seçer. <ul style="list-style-type: none"> • <i>Sistem, varsayılan toprak erozyonu modeline göre meşcerelerin toprak erozyonu miktarlarını hesaplar.</i> 5. Kullanıcı istediği ağaç türleri için karbon birikiminin hesaplanmasına yönelik parametre değerlerini girer. 6. Kullanıcı odun üretimine yönelik NBD'nin hesaplanması için gerekli ekonomik parametre değerlerini girer.

Tablo 15. Amaçları ve kısıtlayıcıları belirle kullanım durumu aşamaları

<p>Kullanım Durumu Adı: Amaçları ve Kısıtlayıcıları Belirle Aktör: Sistem Kullanıcısı Amaç: Planlama biriminin orman işletme planı amacı ve bu amacı sınırlandıran kısıtlayıcıların ortaya konulması</p>
<p>Kullanım Durumu Aşamaları</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Kullanıcı, optimizasyonda eniyilenecek amaç veya amaç kombinasyonlarını seçer. <ul style="list-style-type: none"> • <i>Sistem, varsayılan işletme amacını(odun üretiminin eniyilenmesi) kullanır.</i> 2. Kullanıcı, amacı sınırlandıracak kısıtlayıcıları belirler. <ul style="list-style-type: none"> • <i>Sistem, herhangi bir kısıtlayıcının olmadığını varsayar.</i> 3. Kullanıcı alan veya hacim kontrolü politikalarından birini seçer. 4. Kullanıcı dalgalı hacim veya alan kontrolü politikalarından birini seçmiş ise dalgalanma oranını girer. 5. Kullanıcı alan, hacim, ağaçlandırma veya diğer orman fonksiyonlarına ilişkin genel veya periyodik hedefler belirlemek isterse, sistem kullanıcısının genel veya periyodik hedefler girmesine yönelik arayüz penceresini sunar. 6. Kullanıcı istediği orman değeri veya ağaçlandırma için genel veya periyodik hedefleri girer.

Tablo 16. Planlama modelini oluştur kullanım durumu aşamaları

<p>Kullanım Durumu Adı: Planlama Modelini Oluştur Aktör: Sistem Kullanıcısı Amaç: İşletme alternatifleri ve karar vericinin amaç, hedef ve kısıtlayıcılarına bağlı olarak planlama modelinin oluşturulması</p>
<p>Kullanım Durumu Aşamaları</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Kullanıcı, kullanmak istediği matris çözücü programı seçer. 2. Kullanıcı, modeli koşturur. 3. Sistem, planlama problemine ilişkin modeli (matrisleri) kurar. 4. Sistem, planlama modeline ilişkin matrisleri üretir ve kullanıcıya sunar. 5. Kullanıcı, planlama birimine ilişkin modeli görür ve değerlendirir.

Tablo 17. Planlama modelini çözümlenme durumu aşamaları

Kullanım Durumu Adı: Planlama Modelini Çöz
Aktör: Sistem Kullanıcısı
Amaç: Planlama probleminin kullanıcı odaklı çözülmesi ve sonuçların üretilmesi
Kullanım Durumu Aşamaları
<ol style="list-style-type: none"> 1. Kullanıcı, optimizasyon modelini koşturur. 2. Sistem, kullanıcı tanımlı matris çözümlenme program ile bağlantı kurar. 3. Sistem, planlama problemine ilişkin modeli (senaryo) çözer. <ul style="list-style-type: none"> • Sistem, modelin çözümlenme durumuna ilişkin uyarı/hata verir. 4. Kullanıcı, daha önce belirlemiş olduğu kısıtlayıcılarda değişiklik yapar ve modeli yeniden koşturur. 5. Sistem, modele ilişkin çözümlenme sonuçlarını üretir.

Tablo 18. Sonuçlara bak ve test et kullanım durumu aşamaları

Kullanım Durumu Adı: Sonuçlara Bak ve Test Et
Aktör: Sistem Kullanıcısı
Amaç: Planlama problemine ilişkin optimizasyon modeli sonuçlarının kullanıcı tarafından değerlendirilmesi
Kullanım Durumu Aşamaları
<ol style="list-style-type: none"> 1. Kullanıcı, sonuçlar (çıkımlar) penceresini açar. 2. Kullanıcı, çözümlenme sonuçlarını görmek istediği analiz alanı düzeyini (planlama birimi, işletme sınıfı, orman fonksiyonu, ağaç türü, meşcere, yaş sınıfı) seçer. 3. Kullanıcı, çözümlenme sonuçlarını görmek istediği periyot veya periyotları seçer. 4. Kullanıcı, sonuçları görmek istediği şekil veya formatı seçer. 5. Sistem, ilgili sonuçları kullanıcıya istediği formatta sunar. 6. Kullanıcı istediği taktirde, sonuçların şekil ve formatı üzerinde değişiklik yapar. 7. Kullanıcı, saklamak istediği planlama senaryolarına ilişkin çözümlenme sonuçlarını kaydeder. 8. Kullanıcı, planlama problemi parametrelerinde yapacağı değişikliklerin etkisine bakar (duyarlılık analizi).

Tablo 19. Amenajman plan çıktımlarını üret kullanım durumu aşamaları

Kullanım Durumu Adı: Amenajman plan çıktımlarını üret
Aktör: Sistem Kullanıcısı
Amaç: Planlama modeli çözümlenme ürünün amenajman plan çıktımları şeklinde ortaya konulması
Kullanım Durumu Aşamaları
<ol style="list-style-type: none"> 1. Kullanıcı, amenajman plan çıktımlarını seçer. 2. Kullanıcı, çıktımların şekil ve formatını (tablo, grafik, harita veya metin) belirler. 3. Sistem, ilk planlama periyodu için gençleştirme kesimine tabi tutulacak meşcereleri ve son hasılat etalarını amenajman plan formatında sunar (Son Hasılat Kesim Planı) 4. Sistem, ilk planlama periyodu için bakım kesimine tabi tutulacak meşcereleri ve ara hasılat etalarını amenajman plan formatında sunar (Ara Hasılat Kesim Planı) 5. Sistem, ilk planlama periyodunda ağaçlandırılması öngörülen alanlar ve ağaçlandırma miktarlarını uygun formatta sunar. 6. Plan sonucu elde edilen eta, NBD, su üretimi, karbon birikimi gibi her türlü orman değerlerini özetleyen sonsöz hazırlanır.

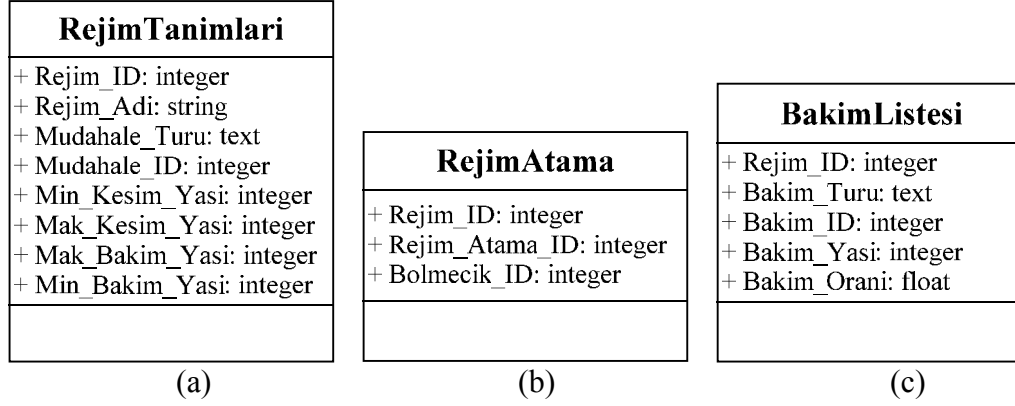
2.2.3.4.2.3. Doğrusal Programlama Tabanlı Orman Planlama Modeline İlişkin Sınıfların Oluşturulması

Kullanım durumları bir önceki bölümde açıklanan doğrusal programlama tabanlı orman amenajmanı planlama modeli, bir takım görevleri yerine getiren belirli sınıflardan oluşmaktadır. Bu sınıflar aynı zamanda orman planlama modelinin yapısını ve bu yapıyı oluşturan bileşenlerin birbiriyle olan ilişkilerine bağlı olarak optimizasyon modelinin işleyişini göstermektedir. Bu çalışma kapsamında geliştirilen optimizasyon modelinin özelliklerine ve kullanım durumlarına göre doğrusal programlama tabanlı bir orman planlama modelinde, simülasyon modelinde olduğu gibi iki ana sınıf göze çarpmaktadır. Bunlardan ilki meşcere simülasyonun gerçekleştirildiği BuyumeModeli sınıfı, diğeri ise optimizasyon işleminin gerçekleştirildiği Optimizasyon sınıfıdır.

Simülasyon modelinde açıklandığı gibi bir büyüme modelinin geliştirilebilmesi için aktüel orman verilerinin tutulduğu bir sınıf (BolmecikListesi), optimal orman verilerinin tutulduğu bir sınıf (HasilatTablosu) ile orman ekosistemini oluşturan meşcerelere uygulanacak silvikültürel müdahale rejimlerinin belirlendiği bir sınıfa ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sınıflardan BolmecikListesi ve HasilatTablosu sınıfları simülasyon modelinde olduğu gibidir ve bu sınıflar simülasyon modeli bölümünde ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Ancak simülasyon modelinde tanımlanan silvikültürel müdahale rejimleri ile optimizasyonda tanımlanan silvikültürel müdahale rejimleri biraz farklılık göstermektedir. Simülasyon modelinde SinirlarveMudahaleler ve BakimListesi sınıflarının yerini optimizasyon modelinde RejimTanımlari sınıfı almaktadır.

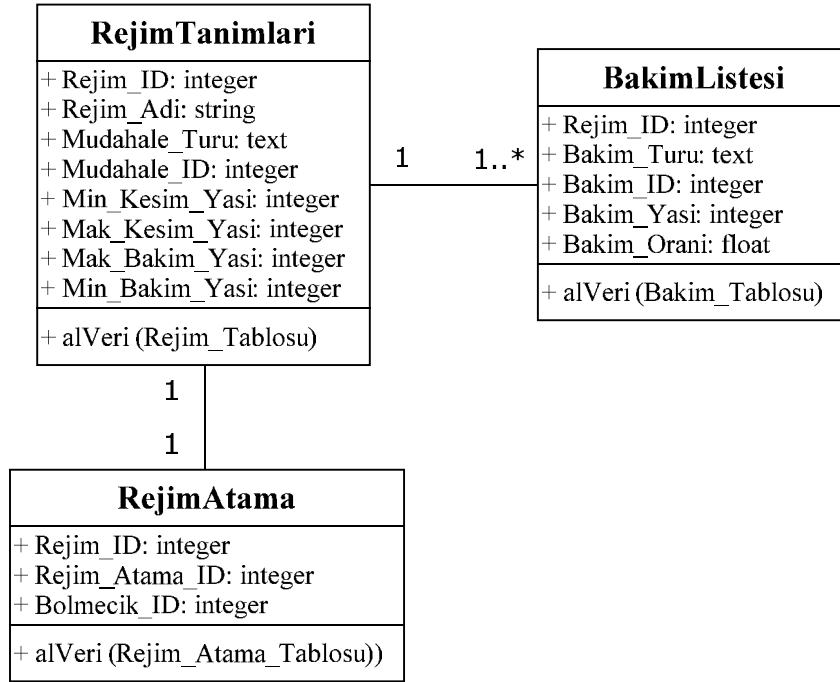
Optimizasyon modelinde silvikültürel müdahale rejimleri belirlenirken öncelikle kullanıcı tarafından belirli sayıda silvikültürel müdahale rejimleri tanımlanır ve daha sonra tanımlanan bu rejimler yine kullanıcı tarafından orman analiz alanlarına tahsis edilmektedir. Dolayısıyla iki ana temel sınıf yer almaktadır. Bunlardan ilki RejimTanımlari ve diğeri ise RejimAtamaları'dır. RejimTanımlari sınıfı, rejim adı, kod numarası (ID), minimum ve maksimum kesim ve bakım yaşlarından oluşmaktadır (Şekil 38a). RejimAtamaları sınıfı ise, tanımlanan rejimlerin tahsis edildiği bölmeciklerden ve rejim atama ID gibi özellikleri içermektedir (Şekil 38b). Diğer taraftan silvikültürel rejimlerin tanımlanabilmesi için, rejim tanımlarının doğrudan bağlantılı olduğu ve bakım yaş ve

miktarlarının (Bakim_Yasi ve Bakim_Orani değişkenleri) ayrı bir tabloda belirlendiği BakimListesi sınıfı bulunmaktadır (Şekil 38c).



Şekil 38. a) Rejim tanımları b) rejim atamaları ve c) bakım listesi sınıf diyagramları

Dolayısıyla RejimTanimlari sınıfı silvikültürel rejimlerin belirlenmesi için BakimListesi (1-1..*) ve bu rejimlerin atanması işlemini gerçekleştirmek için RejimAtamaları (1-1) adlı sınıflarla doğrudan bağlantılıdır (Şekil 39). Bu sınıflar yardımıyla birlikte bir kullanıcı alternatif gençleştirme ve bakım müdahalelerinden oluşan değişik silvikültürel rejimleri tanımlama ve bunları orman ekosistemi analiz alanlarına tahsis etme fırsatına sahiptirler. Bu sınıflar optimizasyon modelinin temel yapı taşları olan karar değişkenleri ve bu değişkenlerin katsayılarının belirlenmesine yardımcı olmaktadır.



Şekil 39. Silvikültürel müdahale rejimleri sınıf diyagramı

Optimizasyon modelinin en önemli sınıfını ise, Optimizasyon sınıfı teşkil etmektedir. Kullanıcı tarafından düzenlenen her türlü orman amenajmanı planı stratejilerinin çekirdek kısmı Optimizasyon sınıfında yer almaktadır. Bir Optimizasyon sınıfında planlama süresi (Planlama_Yorungesi), periyot genişliği (Periyot_Uzunlugu), kullanılacak yardımcı modellerin seçimi (Su_Uretim_Modeli, Toprak_Erozyonu_Modeli), yardımcı modellere ilişkin hesaplamalar için gerekli veri ve bilgiler, amaç ve kısıtlayıcılar gibi optimizasyon modelinin koşturulmasını ve sonuçların üretilmesini sağlayan özelliklerden oluşmaktadır. Ayrıca bu sınıf, kullanılacak hasılat tablosu ve planı yapılacak planlama biriminin aktüel orman verilerinin seçimi (alBolmecik_Listesi, alHasilat_Tablosu), bazı orman fonksiyonlarının sayısal olarak hesaplanması (hesaplaSu_Uretimi, hesaplaOdun_Urun_Cesidi_Miktari gibi) ve matrislerin oluşturulmasını (olusturPeriyodik_Kisitlari, olusturAlan_Kisiti gibi) gerçekleştiren bir takım fonksiyonlara sahiptir (Şekil 40).

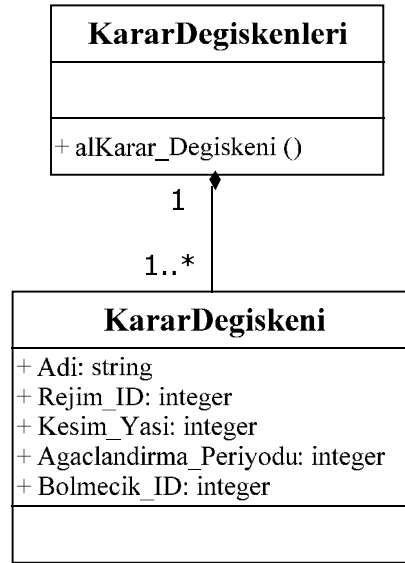
Doğrusal programlama tabanlı bir optimizasyon modelinde Optimizasyon sınıfının doğrudan bağlantılı olduğu birçok sınıf bulunmaktadır. Bunlardan ilki KararDegiskenleri sınıfıdır. KararDegiskenleri sınıfı her bir meşcere için mevcut planlama periyodu uzunluğu, planlama yörüngesi uzunluğu ve silvikültürel müdahale rejimlerine bağlı olarak belirlenen alternatif işletme seçeneklerini ortaya koymaktadır. Diğer bir ifadeyle, her bir meşcerenin belirli bir zaman sürecinde sahip olacağı kesim ve bakım müdahale

alternatiflerini temsil etmektedirler. Karar değişkenleri optimizasyon tabanlı planlama modeli tarafından, her bir meşçereye karar verici tarafından tahsis edilen silvikültürel müdahale ile planlama yörüngesi uzunluğu ve periyot uzunluğuna göre otomatik olarak oluşturulmaktadır. Orman içi açıklıklar (OT) için ise karar değişkenleri, ağaçlandırma alternatifleri olacak şekilde üretilmektedir. Her bir karar değişkeni, optimizasyon modelinin çözülmesi ile birlikte her bir meşçerenin planlama yörüngesi boyunca silvikültürel müdahalelerin nerede, ne zaman, ne kadar ve nasıl gibi sorularına cevap vermektedir. Her bir meşçere için birden fazla karar değişkeni belirlenmesi söz konusu olabileceği için, KararDegiskenleri sınıfı bir veya daha fazla sayıda Karar Değişkeni (KararDegiskeni) sınıfından oluşmaktadır (Şekil 41). Şekilden görüleceği üzere bir karar değişkeni, değişkenin adı (Adi), silvikültürel müdahale rejiminin numarası (Rejim_ID), müdahalenin uygulandığı bölmeçiğin numarası (Bolmecik_ID), kesim yaşı (Kesim_Yasi) ve ağaçlandırma periyodu (Agaclandirma_Periodu) gibi özelliklerden oluşmaktadır. Böyle bir karar değişkeni yapısının belirlenmesi ile birlikte, optimizasyon modeli çözülüp sonuçlar değerlendirileceği zaman, hangi meşçerenin hangi periyotta veya yaşta kesileceği veya bakım yapılacağı, OT alanlarının hangi periyotta ağaçlandırılacağı (gençleştirileceği), hangi periyotta hangi silvikültürel müdahaleden ne kadar uygulanacağı gibi çok sayıda bilgiyi elde etmek mümkün olacaktır.

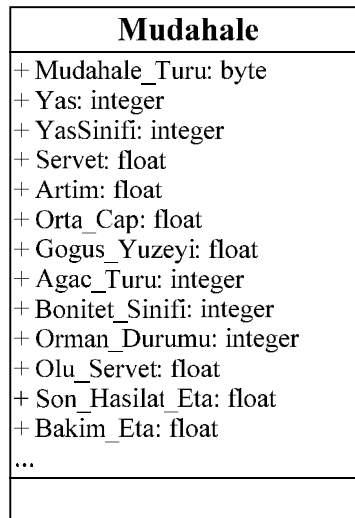
Optimizasyon
+ Periyot_Uzunlugu: integer + Planlama_Yorungesi: integer + Periyot_Sayisi: integer + Su_Uretim_Modeli: integer + Toprak_Erozyonu_Modeli: integer + Su_Birim_Degeri: currency + Toprak_Birim_Degeri: currency + Oksijen_Birim_Degeri: currency + Karbon_Birim_Degeri: currency + Iskonto_Orani: float + Kisit_Turu_Kodu: integer + Dalgalanma_Orani: float + Genel_Kisit_ID: integer + Periyodik_Kisit_ID: integer + Amac_Kodu: integer ...
+ alBolmecik_Listesi () + alMudahale_Tek_Veri () + belirleKarar_Degiskenleri () - hesaplaSu_Uretimi () - hesaplaToprakEroyonu () - hesaplaOdun_Urunu_Cesidi_Miktari () + hesaplaNBD () + olusturGenel_Kisitlari () + olusturPeriyodik_Kisitlari () + olusturAlan_Kisiti () + olusturAgaclandirma_Kisiti () + olusturMatris () + yazMatrisi_Dosyaya () + cozMatrisi_Lingoda () + yapGecis () ...

Şekil 40. Optimizasyon modeli sınıf diyagramı

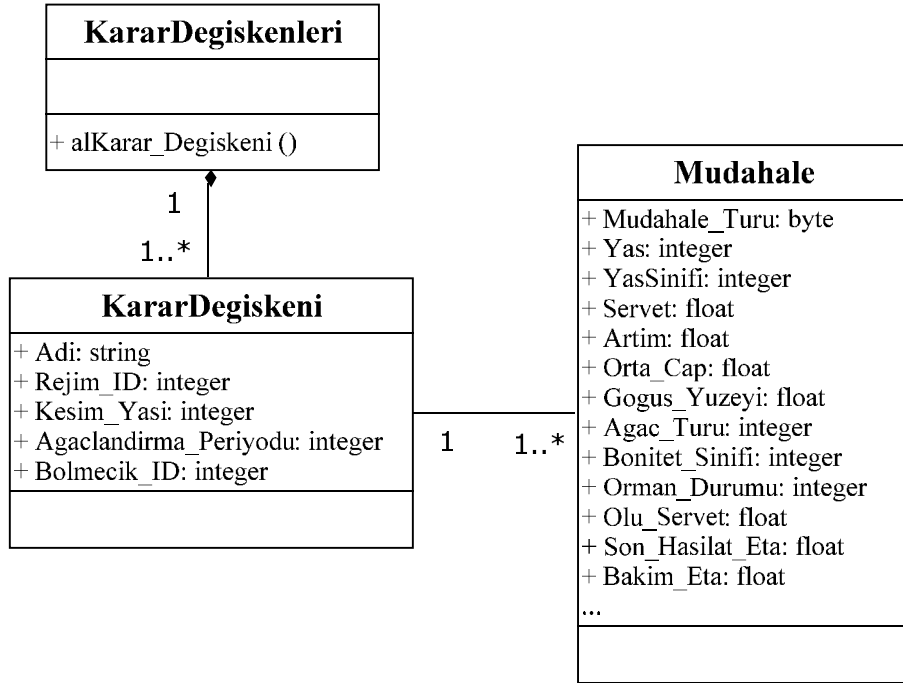
Diğer taraftan her bir karar değişkeninin doğrudan bağlantılı olduğu ve her bir karar değişkeninin belirli bir zaman süresince hafızasında tuttuğu ve meşcerelerin silvikültürel müdahalelere bağlı olarak sahip olduğu bir takım bilgilerinin (ağaç türü, servet, artım, göğüs yüzeyi, geçleştirme etası ve bakım etası gibi) tutulduğu bir sınıfa ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sınıf ise Mudahale sınıfı olarak adlandırılmıştır (Şekil 42). Mudahale olarak adlandırılan bu sınıf ile KararDegiskeni sınıfı arasında bire-bir veya çok şeklinde bir bağlantı bulunmaktadır (Şekil 43). Mudahale sınıfı içinde tutulan her türlü veriler (şekilde sadece bir kısmı verilmiştir) aynı zamanda karar değişkenlerinin bazı matrislerdeki (örneğin eta matrisi) katsayılarını oluşturmaktadır. Bu açıdan oldukça önemli bir sınıf olarak işlev görmektedir.



Şekil 41. Karar değişkenleri sınıf diyagramı



Şekil 42. Müdahale sınıf diyagramı



Şekil 43. Karar değişkenleri sınıf diyagramı yapısı

Optimizasyon tabanlı orman amenajmanı planlama modellerinde, planlama modelinin eniyileneceği bir amaç ve bu amacı sınırlandıran çok sayıda kısıtlayıcı koşullar bulunmaktadır. Buna göre, optimizasyon modelinde farklı amaçları gruplandıran bir Amaçlar sınıfı ile, değişik kısıtlayıcıları gruplandıran bir Kısıtlar sınıfına ihtiyaç vardır. Amaçlar daha önceden ifade edildiği üzere odun üretimi veya su üretimi gibi parasal olmayan değerlerin eniyileneceği gibi, bu ve diğer orman değerlerinin parasal değerlerinin eniyilenmesi şeklinde de olabilmektedir. Bu çalışma kapsamında optimizasyon modeline dahil edilen amaçlar; odun, su, karbon ve oksijen üretim miktarlarının ve bunlara ilişkin NBD'lerin maksimizasyonu, toprak erozyonu ve bu fonksiyona ait NBD'nin minimizasyonu ile beş orman fonksiyonunun NBD toplamlarının maksimizasyonudur. Farklı kombinasyonlar ile birlikte amaç sayısını artırmak mümkün olmasına karşın bu çalışmada 11 amaç fonksiyonunun modele yansıtılması yeterli görülmüştür. Her bir amacın bir kodu (Amaç_Kodu) ve adı (Amaç_Adi) vardır (Şekil 44). Doğrusal programlama tabanlı modellerde her zaman bir amaç eniyilenmektedir.

Amaclar
+ Amac_Kodu: integer
+ Amac_Adi: string

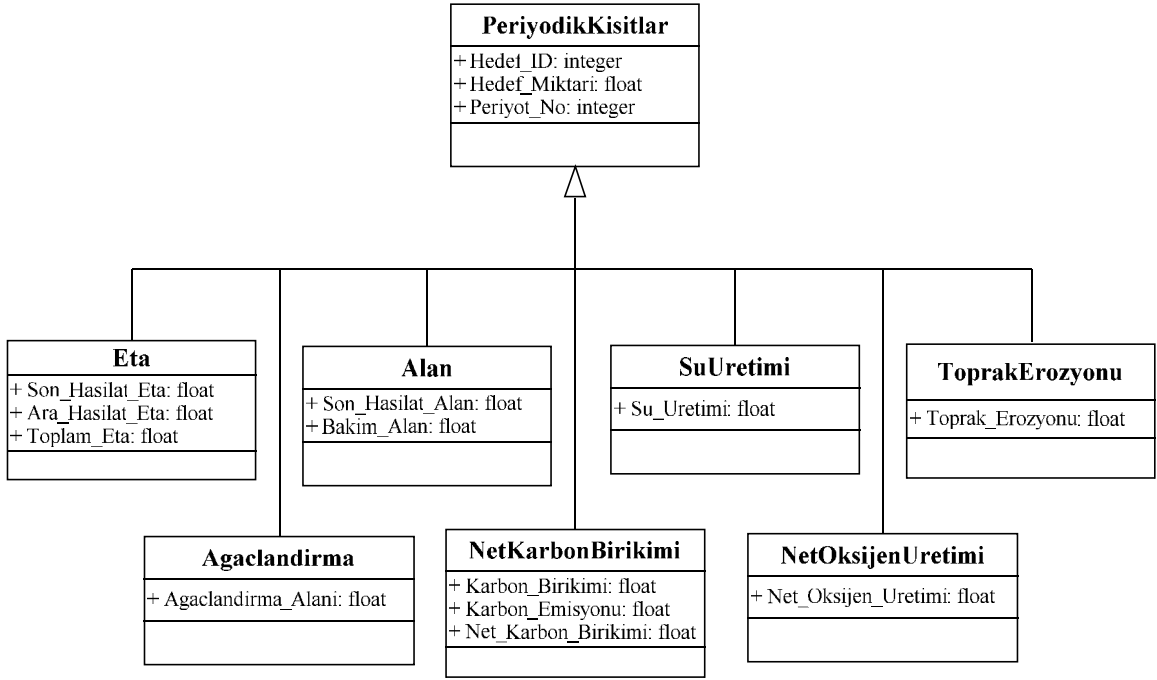
Şekil 44. Amaçlar sınıf diyagramı

Planlama probleminde amaç belirlendikten sonra sıra, bu amacı sınırlandıran kısıtlayıcı koşulların belirlenmesine gelmektedir. Bir planlama probleminde bir veya daha fazla sayıda kısıtların olması mümkündür. Kısıtlar sınıfının temel yapısı Şekil 45’de görülmektedir. Her bir kısıtın bir kodu (Kisit_Turu_Kodu) ve açıklaması (Aciklama) vardır. Çok amaçlı orman amenajman planlamasında kısıtlar genel bazda verileceği gibi (örneğin eşit eta veya alan kontrolü), periyodik bazda da verilebilmektedir (örneğin 3. periyotta 20 000 m³ eta, 5. periyotta 30 000 m³ eta gibi). Yine diğer orman fonksiyonlarına ilişkin genel (planlama yörüngesi kapsamında) veya periyodik olarak (her bir periyotta istenilen miktarlarda) kısıtlar belirlenebilmektedir. Dolayısıyla Şekil 45’de ifade edilen kısıtlar sınıfından başka, periyodik kısıtların tanımlandığı PeriyodikKisitlar adında yardımcı bir sınıfı daha bulunmaktadır (Şekil 46).

Kisitlar
+ Kisit_Turu_Kodu: integer
+ Aciklama: string

Şekil 45. Kısıtlar sınıf diyagramı

Doğrusal programlama tabanlı çok amaçlı bir orman amenajmanı planlama modelinde yukarıda tanımlanan sınıflardan başka, Optimizasyon sınıfının doğrudan bağlantılı olduğu birkaç sınıf daha bulunmaktadır. Bunlardan bir tanesi, optimizasyon modelini çözmek için kullanılan matris çözücü, diğer bir ifadeyle, Lindo sınıfıdır. Lindo bir matris çözücü program olarak, optimizasyon modeli aracılığıyla oluşturulan matrisleri çözmeye ve sonuçları verme görevini üstlenmektedir. Diğer taraftan, istenilmesi durumunda farklı matris çözücü programlarında optimizasyon modeline dahil edilmesi söz konusu olabilmektedir.



Şekil 46. Periyodik kısıtlar sınıf diyagramı

Bununla birlikte bu çalışma kapsamında optimizasyon modeline dahil edilen net karbon birikiminin hesaplanmasına yönelik kullanılan KarbonBirikimiTablosu sınıfı, odun ürünü çeşitlerinin hesaplanmasında kullanılan OdunUrunCesitleriTablosu sınıfı, odun üretiminden elde edilecek NBD'yi hesaplamakta kullanılan EkonomikVeriTablosu sınıfı, su üretimi değerlerini hesaplamak için kullanılan SuUretimModeli sınıfı ve toprak erozyonu değerlerini hesaplamak için kullanılan ToprakErozyonuModeli sınıfı optimizasyon sınıfının doğrudan ilişkili olduğu sınıflardır. Bu sınıfların tamamı simülasyon modeli bölümünde ayrıntılı olarak açıklandığı için bu bölümde açıklanmaması tercih edilmiştir.

Son olarak, optimizasyon modelinin koşması ile birlikte elde edilen sonuçları tutmak için OptimizasyonSonuclari sınıfı oluşturulmuştur. Bu sınıf aracılığı ile birlikte, gerek orman ekosistem düzeyinde gerekse orman ekosistem analiz alanları düzeyinde orman ekosistem yapı ve kuruluşuna ait parametreler ile ormandan elde edilen her türlü çıktıları görmek mümkündür. Bu sınıf doğrusal programlama problemini çözen ve çözüm sonuçlarını veren Lindo sınıfı ile doğrudan bağlantılı olup, aralarında 1-1 bir ilişki bulunmaktadır. Yine OptimizasyonSonuclari sınıfı sonuçların kullanıcılara istenilen formatta yansıtılmasını sağlamak için bir takım sınıflarla bağlantılıdır. Bunlar, Tablolar, Grafikler ve Haritalar olarak gruplandırılabilir. OptimizasyonSonuclari sınıfı,

Simulasyon Sonuclari Sınıfı (Şekil 34) ile benzer olduğu için burada tekrar gösterilmemiştir. Sonuç olarak, doğrusal programlama tabanlı bir orman amenajmanı planlama modeline ilişkin ayrıntılı sınıf diyagramları yapısı, teze ek olarak tezin sonunda CD içerisinde verilmiştir.

2.2.3.4.2.4. Değişikyaşlı (Seçme) Ormanlar İçin Doğrusal Programlama Tabanlı Orman Planlama Modeline İlişkin Sınıfların Oluşturulması

Buraya kadarki bölümlerde daha önce ayrıntılarıyla açıklanan simülasyon ve optimizasyon modelleri aynıyaşlı ormanların planlanması esasına dayanmaktadır. Bununla birlikte değişikyaşlı ormanların da simülasyon ve optimizasyon tabanlı modellenmesi ve planlanması mümkündür. Ancak aynıyaşlı ve değişikyaşlı ormanların planlanma şekli birbirinden farklılık göstermektedir. Dolayısıyla değişikyaşlı ormanlar için kurulacak bir simülasyon ve optimizasyon modeli, aynıyaşlı ormanlar için kurulan modellerden biraz farklılık gösterecektir. Bu bölümde, değişikyaşlı ormanların doğrusal programlama tabanlı modelinin nasıl kurulabileceğine ilişkin kavramsal tasarım sınıf diyagramları aracılığıyla açıklanmaya çalışılacaktır.

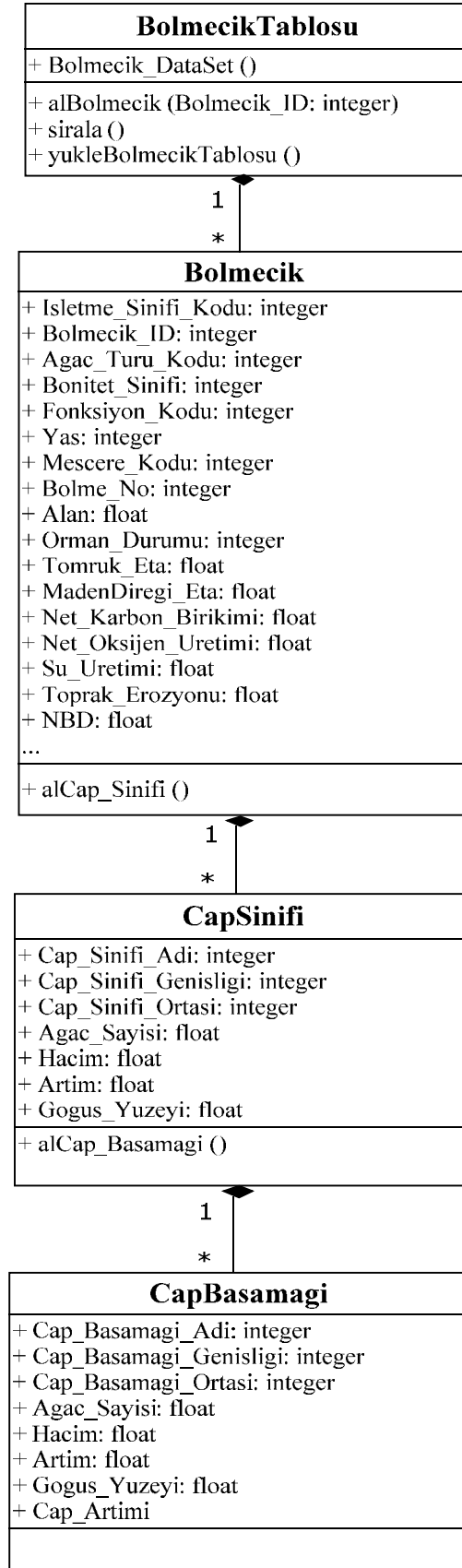
Değişikyaşlı orman kuruluşlarını oluşturan bireyler genellikle değişik yaşlarda olmakla birlikte, çap ve boy bakımından da farklı gelişim seyirlerine sahiptir. Değişikyaşlı ormanlarda orman örtüsünün sürekli olarak alanda mevcut olması nedeniyle, bu ormanlar orman ekosistemlerinin korunması ve sürekli yararlanma bakımından oldukça önemli yapı ve kuruluşa sahiptirler. Değişikyaşlı ormanlarda meşcere gelişimlerinin modellenmesi ile birlikte zaman ve mekan düzenlemesi ile etaya karar verilirken, aynıyaşlı meşcerelerde kullanılan yaş ve alan ögesi kullanılmamaktadır. Meşcerelerin gelişimlerinin izlenmesinde ve faydalanmanın düzenlenmesinde seçme kuruluşunun aynı zamanda temel ögesi olan çap (çap sınıfı veya basamakları) ve çap basamaklarındaki ağaç sayılarından yararlanır. Kısaca, değişik yaşlı ormanların planlanmasında idare süresi yerine amaç çapı, yaş sınıfları yerine çap, alan ögesi yerine ise çap sınıfları ya da basamaklarındaki gövde sayısı ve göğüs yüzeyi kullanılmaktadır (Eraslan ve Eler, 2003; Kapucu, 2004). Düzenleme süresi ise uzun vadeli planlamada ihtiyaç duyulan diğer önemli bir parametredir.

Değişikyaşlı ormanlarının planlanmasında öncelikle orman ekosistem envanteri yapılmak suretiyle aktüel kuruluş ortaya konulmaktadır. Ancak aynıyaşlı ormanlardan farklı olarak, değişikyaşlı ormanlarının işletilmesi mantığı gereği olarak işletme amaçlarına göre çap sınıfları ve çap basamaklarının oluşturulması gerekmektedir. Daha sonra

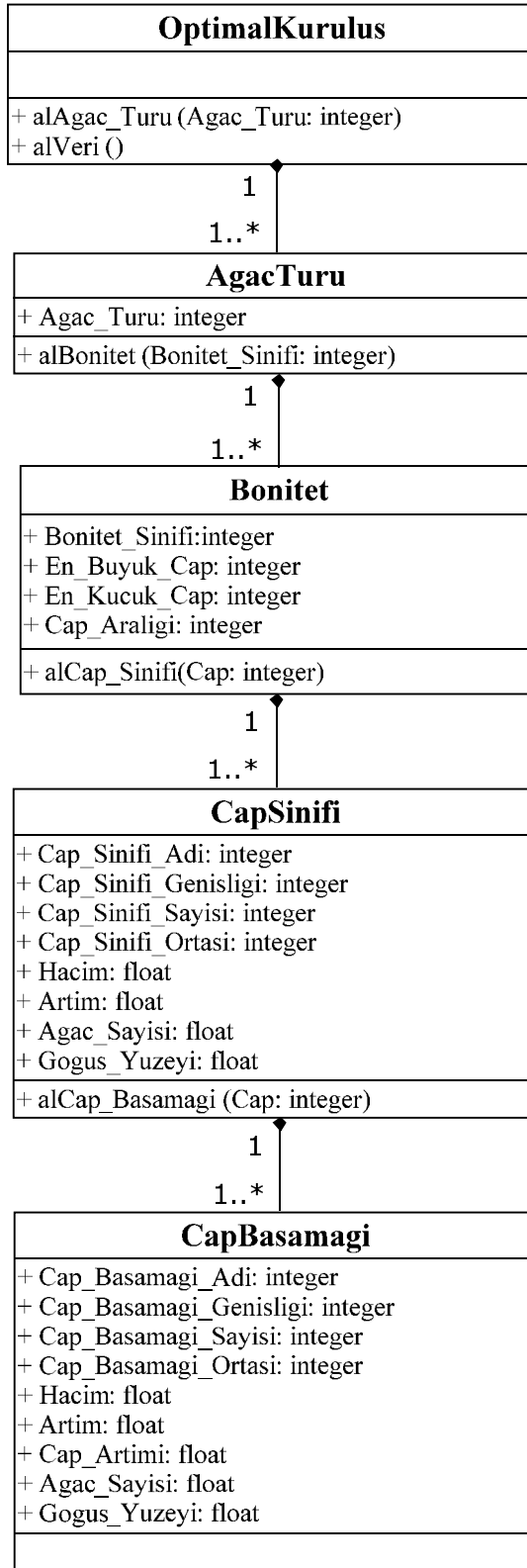
oluşturulan her bir çap sınıfı ve basamağında bulunan ağaç sayısı, göğüs yüzeyi, ağaç serveti ve artımı ile çap artımları ortaya konulmaktadır. Tüm bu düzenlemeler ormanın optimale ulaştırılmasında kullanılacak yöntemlere karar verme açısından oldukça önemlidir. Değişikyaşlı ormanlarda aktüel kuruluşu gösteren sınıf BolmecikTablosu sınıfıdır (Şekil 47). BolmecikTablosu sınıfı ise çok sayıda bölmeciklerden (Bolmecik) oluşmaktadır. Bolmecik sınıfında her bir bölmeciğin işletme şekli, işletme sınıfı, meşcere tipi, eğimi, bakışı, ağaç türü, bölme numarası, boniteti, su üretimi, karbon birikimi gibi çeşitli konumsal ve öznelik bilgileri yer almaktadır. Son olarak Bolmecik sınıfı CapSınıfı ve CapSınıfı ise CapBasamağı sınıflarından meydana gelmektedir. Her bir CapBasamağı sınıfında ise ilgili bölmeciğin çap basamaklarına ait çap basamakları aralıkları, çap kademesi ortası, ağaç sayısı, göğüs yüzeyi, çap artımı, ağaç serveti ve artımı gibi parametreleri bulunmaktadır.

Değişikyaşlı ormanlarda optimal kuruluşun ortaya konulmasında, optimal olduğu varsayılan ve büyüklükleri genellikle bir hektar olan alanlarda yapılan envanter sonuçlarına göre değişik ağaç türleri ve bonitete bağlı olarak ve içerisinde çap basamaklarına göre gövde sayısı, göğüs yüzeyi, ağaç serveti ve artımı ile çap artımı verilerinin yer aldığı tablolardan faydalanılmaktadır (Kapucu, 2004). Bu tablolar yardımıyla aktüel orman durumu ile optimal orman durumu karşılaştırılmak suretiyle değişik yaşlı ormanların amenajman planlaması gerçekleştirilmektedir. OptimalKurulus ana sınıfı ağaç türleri ve bonitete bağlı olarak, farklı çap sınıfları ve çap basamaklarında yer alan servet, artım, çap artımı, göğüs yüzeyi ve ağaç sayılarından oluşmaktadır (Şekil 48).

Değişikyaşlı ormanlarda, meşcerelerin ilerleyen dönemlerdeki dinamik yapısının ve sahip olduğu yapı ve kuruluşuna bağlı olarak topluma ve çevreye sağlayacağı değerlerin (su üretimi, karbon birikimi, odun üretimi vs) sayısal olarak belirlenmesi için, aynıyaşlı ormanlarda olduğu gibi bir büyüme modeline gereksinim vardır. Değişikyaşlı ormanlarda meşcereler bilindiği üzere farklı çap sınıfları ve çap basamaklarından oluşmaktadır. Her bir çap sınıfı veya basamağında ise belirli miktarda ağaç veya göğüs yüzeyi bulunmaktadır. Zamana bağlı olarak bu meşcereleri oluşturan her bir çap basamağındaki ağaçların bir kısmı çap artımı yapmak suretiyle bir üst çap basamağına geçerken, bir kısmı ise aynı çap basamağında kalmaktadır. Yine ilgili dönem içerisinde meşcereye yeniden katılım suretiyle belirli miktarda ağaç birinci çap basamağına ilave olmaktadır. Bu süreçte görüleceği üzere her bir meşcere için varolan çap sınıfları veya basamaklarındaki ağaç sayıları ve dolayısıyla servet, artım, göğüs yüzeyi gibi parametreler değişebilmektedir.



Şekil 47. Değişikyaşlı aktüel kuruluşu gösteren bölmecik tablosu sınıf diyagramı



Şekil 48. Değişikyaşlı meşcereler için optimal kuruluş sınıf diyagramı

BuyumeModeli sınıfı aracılığıyla birlikte değişikyaşlı meşcerelerin zamana bağlı olarak dinamik yapısı modellenenbilmektedir (Şekil 49). Bunun için bir takım bilgilerin belirlenmesi gerekmektedir. Bunlar planlama süresi ve periyot genişliği ile birlikte her bir çap sınıfındaki mevcut ağaç sayısı miktarı, yeniden katılım miktarı, bir üst çap sınıfına geçen miktar, aynı çap sınıfında kalan miktar ve her bir çap sınıfından çıkarılan ağaç sayısıdır. Çap basamaklarındaki ağaç sayılarının zamana bağlı olarak değişiminin hesaplanmasında yukarıdaki parametreler için doğrudan karar verici tarafından verilen sabit değerler kullanılabilceği gibi, değişikyaşlı ormanlar için geliştirilmiş denklemler kullanılmak suretiyle de tahmin edilebilmektedir. Üç çap sınıfından oluşan ve müdahale görmüş bir değişikyaşlı meşcerenin zamana bağlı dinamik yapısındaki değişimin denklemler aracılığıyla hesaplanmasında kullanılabilcek örnek modeller aşığıda gösterilmiştir.

$$AS_{1,t+1} = a_1(AS_{1t} - CAS_{1t}) + YK_t \quad (27)$$

$$AS_{2,t+1} = b_1(AS_{1t} - CAS_{1t}) + a_2(AS_{2t} - CAS_{2t}) \quad (28)$$

$$AS_{3,t+1} = b_2(AS_{2t} - CAS_{2t}) + a_3(AS_{3t} - CAS_{3t}) \quad (29)$$

Burada AS_i i . çap sınıfındaki t zamanındaki ağaç sayısı miktarını (adet), CAS_i i . çap sınıfından t zamanında çıkarılan/kesilen ağaç sayısı miktarını (adet), YK_t t zamanında ilk çap sınıfına katılan gençlik miktarını (adet), a_i aynı çap sınıfında kalma oranını, b_i ise bir üst çap sınıfına geçme oranını ifade etmektedir. Böylelikle her bir periyotta her çap bir sınıfında bulunan ağaç sayılarından faydalanmak suretiyle, çap basamakları veya sınıflarındaki servet, artım, göğüs yüzeyi, eta gibi değerleri, bu değerlerin toplanması ile birlikte ise her bir meşcerenin/bölmeciğin periyodik değerleri, büyüme modeli aracılığıyla tahmin edilmektedir. Her meşcerenin aktüel servet, göğüs yüzeyi gibi meşcere parametrelerinin hesaplanması ise su üretimi, toprak koruma gibi orman fonksiyonlarının tahmin edilmesinde kullanılabilcektir. Her bir çap sınıfından (veya basamağından) çıkarılan ağaç sayılarının o çap sınıfındaki birim hacim miktarı ile çarpılması ve çap sınıflarındaki bu değerlerin toplanması ile birlikte, o meşcereden elde edilecek eta miktarları hesaplanmaktadır.

BuyumeModeli
+ Periyot_Genislgi: integer
+ Periyot_No: integer
+ Planlama_Suresi: integer
+ Yeniden_Katilim_Orani: float
+ Ust_Cap_Basamak_Gecme_Orani: float
+ Aynı_Cap_Basamak_Kalma_Orani: float
+ Cap_Basamak_Cikarilan_Miktar: float
+ BolmecikListesi: T Bolmecik_Listesi
+ Optimal_Kurulus: T Optimal_Kurulus float
+ hesaplaServet ()
+ hesaplaGogus_Yuzeyi ()
+ hesaplaArtim ()
+ hesaplaAgac_Sayisi ()

Şekil 49. Değişikyaşlı meşcereler için büyüme modeli sınıfı yapısı

Değişikyaşlı ormanların planlanmasında etaya karar verilirken önemli bir parametre “amaç çapı”dır. Uygulamada amaç çapının üzerindeki ağaçların tümünün çıkarılacağı düşüncesi nedeniyle genellikle son çap sınıfı sınırı amaç çapı olarak belirlenmektedir. Böylece eta hesapları yapılırken amaç çapı üzerindeki ağaçların hepsinin alınacağı dikkate alınmaktadır. Değişikyaşlı ormanların planlanarak etaya karar vermede farklı planlama teknikleri kullanılmaktadır. Bunlardan en temel olanları Hufnagl’in çap sınıfları yöntemi, Fris ve genel eta yöntemidir. Her üç yöntemde temel felsefe, aktüel ve optimal orman kuruluşlarını kıyaslamak suretiyle aralarındaki farklardan yola çıkarak bu yöntemlerden bir tanesi kullanılarak etaya karar verilmektedir. Bu yöntemlerin her biri ile çap sınıfları düzeyinde ya da çap basamakları düzeyinde etaya karar vermek mümkündür. Aşağıda dört yöneme göre periyodik eta hesaplarını gösteren denklemler bulunmaktadır.

$$HUETA = \left[\frac{AN_m x AV_m}{a_{m-1}} + \frac{(AN_{m-1} - AN_m) x AV_{m-1}}{a_{m-1}} + \dots + \frac{(AN_1 - AN_2) x AV_1}{a_1} \right] x PG \quad (30)$$

$$FRETA = \left[\frac{AN_m x AV_m}{a_{m-1}} + \frac{(AN_{m-1} - ON_{m-1}) x AV_{m-1}}{a_{m-1}} + \dots + \frac{(AN_1 - ON_1) x AV_1}{a_1} \right] x PG \quad (31)$$

$$GETA = \left[\left(z_m + \frac{AV_m}{T} \right) + \left(z_{m-1} + \frac{AV_{m-1} - OV_{m-1}}{T} \right) \dots + \left(z_1 + \frac{AV_1 - OV_1}{T} \right) \right] x PG \quad (32)$$

$$GYETA = \left[\frac{AN_m \times AGY_m}{a_{m-1}} + \frac{(AN_{m-1} - ON_{m-1}) \times AGY_{m-1}}{a_{m-1}} + \dots + \frac{(AN_1 - ON_1) \times AGY_1}{a_1} \right] \times PG \quad (33)$$

Burada, *HUETA*, Hufnagl'in çap sınıfları yöntemine, *FRETA*, FRIS yöntemine, *GYETA* göğüs yüzeyini dikkate alan ve münferit planlamada kullanılan yöntem ve *GETA* genel eta yöntemine göre hesaplanan periyodik eta miktarlarını ifade etmektedir. AN_m m . çap sınıfındaki hektardaki aktüel ağaç sayısını, AGY_m m . çap sınıfındaki hektardaki aktüel göğüs yüzeyini, ON_m hektardaki optimal ağaç sayısını; AV_m m . çap sınıfındaki hektardaki aktüel serveti, OV_m m . çap sınıfındaki hektardaki optimal serveti; a_m m . çap sınıfından bir sonraki çap sınıfına geçiş süresini, T düzenleme süresini, z_m m . çap sınıfındaki aktüel artımı ve PG periyot genişliğini göstermektedir. Bu arada m çap sınıfı sayısını ifade ederken aynı zamanda kullanıcının isteğine bağlı olarak çap basamakları da olarak alınması söz konusudur. Başka bir deyişle, planlamada eta hesaplanırken aynı formüller aracılığıyla çap sınıfları yerine çap basamakları düzeyinin kullanılması mümkün olabilmektedir.

Değişikyaşlı ormanların büyüme eğilimleri ve planlanması konusunda yukarıda ayrıntılı olarak açıklanan bilgiler ışığında, bu bölümde, üç çap sınıfından oluşan bir seçme ormanının doğrusal programlama tabanlı planlanması örneği ele alınmıştır (Buongiorno ve Gilles, 2003'den uyarlanmıştır). Üç çap sınıfına ilişkin çap sınıfı genişlikleri, aktüel ve optimal ağaç sayıları ile her bir çap sınıfında ki bir ağacın hacim miktarları aşağıdaki tabloda verilmiştir (Tablo 20). Bu seçme ormanının işletilmesindeki temel amaç, aktüel orman kuruluşunu optimale ulaştırmak kaydıyla, odun üretiminin eniyilenmesidir.

Tablo 20. Örnek bir seçme ormanının yapısı

Çap Sınıfı	Çap Aralığı (cm)	Orta Çap (cm)	Aktüel Ağaç Sayısı (adet/ha)	Optimal Ağaç Sayısı (adet/ha)	Hacim (m ³ /adet)
1	10-19.9	15	840	880	0.20
2	20-34.9	27	234	80	1.00
3	35+	40	14	16	3.00

Basit bir yapı ve kuruluştaki bu seçme ormanının doğrusal programlama tabanlı planlanmasında öncelikle karar değişkenleri belirlenecektir. Karar değişkenleri ise her bir çap sınıfından çıkarılan ağaç sayısı miktarıdır.

Karar Değişkenleri:

CAS_{it} = i. çap sınıfından t. periyotta kesilen ağaç sayısı (adet)

Amaç Fonksiyonu: Amaç, odun üretiminin eniyilenmesi olduğu için, karar değişkenlerinin katsayıları her bir çap sınıfındaki hacim miktarıdır. Model çözüldüğü zaman, amaç fonksiyonu ile birlikte ormandan elde edilen eta miktarı belirlenecektir. Amaç fonksiyonu, yapısı itibariyle, 31 numaralı denkleme benzemektedir. Ancak burada geçiş süresi yerine periyot genişlikleri kullanılmıştır. Çünkü çap sınıflarının büyüme ilişkileri, periyot genişliklerine göre tahmin edilmektedir.

$$Zmax = 0.20 CAS_{1t} + 1.00 CAS_{2t} + 3.00 CAS_{3t} \quad (34)$$

Kısıtlayıcılar: Aktüel orman kuruluşunu optimal kuruluşa ulaştırmak amacıyla bir takım kısıtlayıcı denklemlerin olması gerekmektedir. Aşağıdaki denklemler aracılığıyla, her bir çap sınıfından çıkarılan ağaç sayısı ile birlikte aktüel-optimal ağaç sayıları arasındaki denge sağlanmaktadır. Bu denklemlerde yer alan sayılar, her bir çap sınıfında bulunması gereken optimal ağaç sayılarına karşılık gelmektedir.

$$CAS_{1t} = AS_{1t} - 880 \quad (35)$$

$$CAS_{2t} = AS_{2t} - 80 \quad (36)$$

$$CAS_{3t} = AS_{3t} - 16 \quad (37)$$

Bir diğer kısıtlayıcı, sınırsız çözümlerin oluşmasını engellemek amacıyla, herhangi bir çap sınıfından çıkarılan ağaç sayısının o çap sınıfındaki kalan ağaç sayısından küçük olması koşuludur. Yani:

$$CAS_{it} \leq AS_{it} \quad (38)$$

Son kısıtlayıcı ise, karar değişkenlerinin, başka bir deyişle, çıkarılan ağaç sayılarının pozitif olması koşuludur.

$$CAS_{it} \geq 0 \quad (39)$$

Aşağıdaki denklemler ise, seçme ormanını oluşturan üç çap sınıfı için büyüme ilişkilerini göstermektedir. Bu denklemler ve denklemlerde yer alan katsayılar, Buongiorno ve Gilless (2003) tarafından değişikyaşlı ormanlar için geliştirilmiştir. Burada periyot genişliği 5 yıl olarak kabul edilmiştir. Büyüme modelleri ve doğrusal programlama modeli yapısına göre, üç çap sınıfının aktüel ağaç sayıları ile çıkarılan ağaç sayılarının değişimi Tablo 21’de görülmektedir. Çıkarılan ağaç sayıları, 34-36 numaralı denklemler aracılığıyla hesaplanmıştır.

$$AS_{1,t+1} = 0.92(AS_{1t} - CAS_{1t}) - 0.29(AS_{2t} - CAS_{2t}) - 0.96(AS_{3t} - CAS_{3t}) + 109 \quad (40)$$

$$AS_{3,t+1} = 0.02(AS_{2t} - CAS_{2t}) + 0.90(AS_{3t} - CAS_{3t}) \quad (41)$$

$$AS_{2,t+1} = 0.04(AS_{1t} - CAS_{1t}) + 0.90(AS_{2t} - CAS_{2t}) \quad (42)$$

Tablo 21. Örnek bir seçme ormanının aktüel ve çıkarılan ağaç sayılarının zamana bağlı değişimi

Yıl	Aktüel Ağaç Sayıları (adet/ha)			Çıkarılan Ağaç Sayıları (adet/ha)		
	1.Çap Sın.	2.Çap Sın.	3.Çap Sın.	1.Çap Sın.	2.Çap Sın.	3.Çap Sın.
0	840	234	14	0	154	0
5	845	106	14	0	26	0
10	850	106	14	0	26	0
15	854	106	15	0	26	0
20	857	106	15	0	26	0
25	860	106	15	0	26	0
30	868	106	15	0	26	0

Değişikyaşlı ormanların optimizasyon tabanlı modellenmesinde en önemli sınıflardan birini Optimizasyon sınıfı teşkil etmektedir (Şekil 50). Bir Optimizasyon sınıfında planlama süresi (Planlama_Yorungesi), periyot genişliği (Periyot_Uzunlugu), kullanılacak yardımcı modellerin seçimi (Su_Uretim_Modeli, Toprak_Erozyonu_Modeli), yardımcı modellere ilişkin hesaplamalar için gerekli veri ve bilgiler, amaç ve kısıtlayıcılar gibi optimizasyon modelinin oluşturulmasını ve sonuçların üretilmesini sağlayan özelliklerden (değişkenler) oluşmaktadır. Ayrıca kullanılacak optimal kuruluş tablosu ve

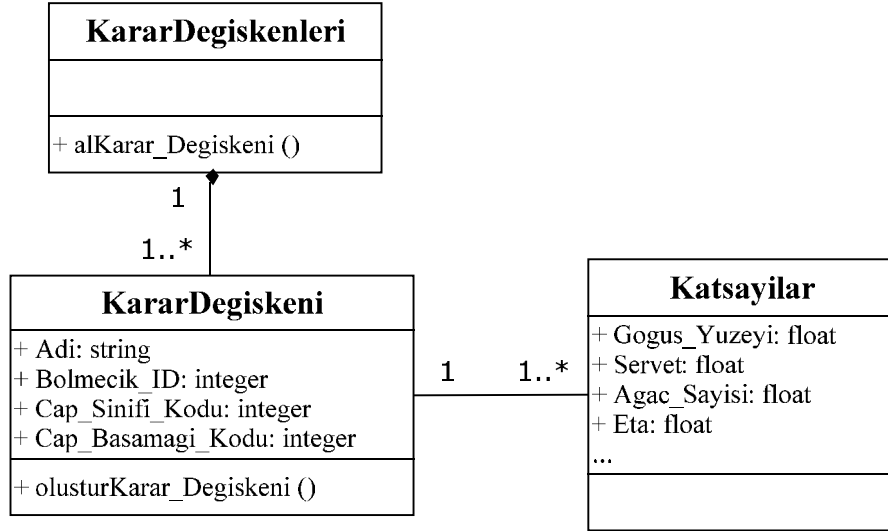
planı yapılacak planlama biriminin aktüel orman verilerinin seçimi (alBolmecik_Tablosu, alOptimal_Kurulus), bazı orman fonksiyonlarının sayısal olarak hesaplanması (hesaplaSu_Uretimi, Eta gibi) ve matrislerin oluşturulmasını gerçekleştiren bir takım metotlara sahiptir.

Optimizasyon
+ Periyot_Uzunlugu: integer + Planlama_Yorungesi: integer + Periyot_Sayisi: integer + Su_Uretim_Modeli: integer + Toprak_Erozyonu_Modeli: integer + Su_Birim_Degeri: currency + Karbon_Birim_Degeri: currency + Iskonto_Orani: float + Kisit_Turu_Kodu: integer + Amac_Kodu: integer + Eta_Turu: integer ...
+ alBolmecik_Tablosu () + alOptimal_Kurulus_Tablosu () + belirleKarar_Degiskenleri () + hesaplaEta () - hesaplaSu_Uretimi () - hesaplaToprakEroyonu () - hesaplaOdun_Urunu_Cesidi_Miktari () + hesaplaNBD () + olusturMatris () + cozMatrisi () ...

Şekil 50. Değişikyaşlı ormanlarda optimizasyon modeli sınıf yapısı

Optimizasyon sınıfının doğrudan bağlantılı olduğu birçok sınıf bulunmaktadır. Bunlardan biri karar değişkenleri sınıfıdır. Daha önce ifade edildiği gibi, aynıyaşlı ormanlarda temel planlama ögesi olan alan yerine değişikyaşlı ormanlarda her bir çap sınıfı veya basamağındaki ağaç sayısı (bazı koşullarda göğüs yüzeyi) kullanılmaktadır. Dolayısıyla değişikyaşlı ormanların optimizasyon tabanlı planlanmasında karar değişkenleri, “her bir meşcerenin her bir çap sınıfı veya basamağında (kullanıcı isteğine göre) kesilen ağaç sayıları” olarak belirlenmektedir. Değişikyaşlı meşcerelere ilişkin karar değişkenlerini ifade eden sınıf (KararDegiskenleri) yapısı Şekil 51’de verilmiştir. Karar değişkenleri sayısı, meşcere sayısı, çap sınıfı/basamağı sayısı, planlama periyodu sayısına bağlı olarak değişmektedir. Her bir karar değişkeninin bir adı olmakta ve bu adlandırmada,

meşcere ID numarası ve çap sınıfı/basamağı kodu kullanılmaktadır. Bununla birlikte her bir karar değişkeninin planlama modelindeki katsayılarının belirlenebilmesi için yardımcı bir sınıfa ihtiyaç duyulmaktadır. Katsayılar olarak adlandırılan bu sınıf, meşcerelerin çap sınıfları veya basamakları düzeyinde zamana bağlı olarak sahip olduğu hektardaki servet, göğüs yüzeyi, ağaç sayısı, eta, artım, çap, çap artımı gibi değerlerini hafızada tutmaktadır.



Şekil 51. KararDegiskenleri ve Katsayilar sınıf diyagramları ve ilişkisi

Optimizasyon sınıfının bağlantılı olduğu diğer sınıflar ise, aynıyaşlı ormanların optimizasyon tabanlı modellenmesi bölümünde ayrıntılı olarak açıklanan sınıflardır. Bunlar farklı orman amenajman planlama amaçlarını gruplandıran Amaclar sınıfı, değişik kısıtlayıcıları gruplandıran Kisitlar sınıfı, planlama problemi için oluşturulan matris çözücü program Lindo ile optimizasyon modelinin çözüm sonuçlarının saklandığı OptimizasyonSonuclari sınıflarıdır. Diğer taraftan, Optimizasyon modeline yansıtılması durumunda net karbon birikiminin hesaplanmasına yönelik kullanılan KarbonBirikimiTablosu sınıfı, odun ürünü çeşitlerinin hesaplanmasında kullanılan OdunUrunCesitleriTablosu sınıfı, odun üretiminden elde edilecek NBD'yi hesaplamakta kullanılan EkonomikVeriTablosu sınıfı, su üretimi değerlerini hesaplamak için kullanılan SuUretimModeli sınıfı ve toprak erozyonu değerlerini hesaplamak için kullanılan ToprakErozyonuModeli sınıfı, optimizasyon sınıfının doğrudan ilişkili olabileceği diğer sınıflardır. Bu sınıfların yapısı ise aynı yaşlı ormanların simülasyon ve optimizasyonu bölümündeki şekliyle aynıdır. Değişikyaşlı ormanların optimizasyon tabanlı planlanması

için geliştirilen tasarımı gösteren sınıf diyagramları yapısı ayrıntılı bir şekilde teze ek olarak tezin sonunda verilmiştir.

Değişikyaşlı ormanların optimizasyon tabanlı planlanması kapsamında burada verilen kavramsal tasarım, sadece değişikyaşlı meşcerelerden oluşan bir orman için söz konusudur. Diğer taraftan, aynıyaşlı ve değişikyaşlı meşcerelerden oluşan bir orman ekosistemi planlanırken, her iki işletme şeklinin ortak olarak ele alınması ve her türlü çıktıların birlikte ele alınarak değerlendirilmesi (bütünleşik yaklaşım) esastır. Ancak hem aynıyaşlı hem de değişikyaşlı meşcereleri tek bir optimizasyon modelinde bu çalışmada geliştirilen KDS içinde değerlendirmek mümkündür. KDS'nin temel üretim birimlerinin meşcere olması bunu kolay kılmaktadır. Burada aynıyaşlı ve değişikyaşlı meşcereler arasındaki temel fark dinamik yapılarının farklı biçimde modellenmesidir. Her bir meşcere (aynıyaşlı veya değişikyaşlı) sahip olduğu işletme şekli esaslarına göre planlanıp ortak bir noktada (sonuçlar sınıfında) toplandığı zaman aynıyaşlı ve değişikyaşlı meşcerelerden elde edilecek tüm olası planlama çıktıları birlikte değerlendirilecektir. Böylece her ikisini içeren planlama birimi için ortak amaç, hedef veya kısıtlayıcılar belirlemek mümkün olacaktır.

2.2.3.5. Performans Göstergeleri (Model Çıktıları)

Plan çıktıları veya performans göstergeleri, planlama stratejilerinin uygunluğunu izlemek ve değerlendirmek için kullanılan değerlerdir. Herhangi bir planlama stratejisinin bir planlama tekniği veya modeli ile çözülmesiyle birlikte istenilen çıktıları elde etmek mümkündür. Performans göstergelerini orman ekosisteminin alansal dağılımı, ormanın dinamik yapısı, müdahale edilen alanlar, odun üretim miktarları, odun dışı ürün ve hizmet üretim miktarları, ekonomik göstergeler olarak özet bir şekilde gruplandırılabilir. Diğer taraftan bu gruplandırmayı değiştirmek veya daha fazla performans çıktısı belirlemek yine karar vericiye bağlı olarak değişebilmektedir.

- Orman ekosisteminin alansal dağılımı ile ifade edilmek istenen, toplam orman alanı, işletme sınıfı, orman fonksiyonu veya ağaç türlerin periyotlara göre ya da planlama yörüngesi sonundaki yaş sınıfları dağılımlarıdır. Yaş sınıfı veya alan kontrolü olarak da tanımlanan bu çıktı, orman amenajmanında karar almada en önemli gösterge olarak bilinmektedir.

- Orman dinamik yapısı ise, dikili servet, göğüs yüzeyi, ağaç sayısı gibi meşcere parametrelerinin zamana bağlı olarak değişimi, her bir periyotta ağaçlandırılan alan miktarı veya ağaç türleri arasındaki zamana bağlı geçiş miktarları olarak açıklanabilir.
- Her bir periyotta veya belirli bir zaman süresi bitiminde gençleştirilen veya bakım yapılan alanların toplam orman alanı, işletme sınıfı, orman fonksiyonu veya ağaç türlerine göre dağılımı müdahale edilen alanları göstermektedir.
- Yine zamana bağlı olarak toplam orman alanı veya orman parçalarına ya da ağaç türlerine göre ormandan elde edilen gençleştirme ve bakım etası miktarları odun üretim miktarları şeklinde bir performans göstergesi olarak ortaya çıkmaktadır.
- Orman ekosistemine yapılan her bir müdahale ile birlikte, zamana bağlı olarak orman ekosisteminden sağlanan odun dışı ürün ve hizmetler odun dışı orman fonksiyonlarına ilişkin değerler (karbon depolama, oksijen üretimi, su üretimi gibi) olarak belirlenmektedir.
- Hem odun hem de odun dışı ürün ve hizmetlerin ekonomik olarak ortaya konulmasına bağlı olarak elde edilen ekonomik değerler ise ekonomik göstergeleri ifade etmektedir.

2.2.4. Gerçekleştirim

KDS'nin bazı temel özellikleri vardır. Bunlar görsellik, doğruluk, hız, iyi bir belgeleme, kolayca değiştirilebilme, güncellenebilme, etkin bir kodlama ve etkin bir işletim olarak sıralanabilir (Perry, 2003). Bir yazılım geliştirme aşaması olan gerçekleştirim aşamasında; tasarım aşaması biten yazılımın kodlama, kullanıcı arayüzü geliştirme, sınama ve kurma çalışmalarının yapıldığı görülmektedir.

2.2.4.1. Kodlama

Tasarım sonucu geliştirilen model mimarisinin fiziksel yapısını içeren modelin bilgisayar ortamında yazılım biçimine dönüştürülmesi çalışmalarının hepsi bu aşamada gerçekleştirilir. Her şeyden önce, yazılımın gerçekleştirilmesi için, belirli bir yazılım geliştirme ortamının seçilmesi gerekir. Burada kullanılacak programlama dili ve yazılım geliştirme araçlarının seçimi söz konusudur (Arifoğlu ve Doğru, 2001). Yazılımın belli bir düzende kodlanması, ilgili yazılımın sürekliliği ve daha sonraki aşamalarda bakımı için son derece önemlidir. En uygun kod yazım düzeninin seçilmesi, kodlamada açıklama satırlarına başvurulması ve anlamlı isimlendirme gibi bir takım kodlamaya yönelik

çalışmalar gerçekleştirim aşamasında üzerinde durulması gereken önemli hususlardır. Bu çalışmada geliştirilen KDS, nesne yönelimli bir programlama dili olan Delphi ortamında kodlanmıştır. Dolayısıyla kodlama, nesneye yönelik tasarım ve programlama ilkeleri benimsenerek yapılmıştır.

2.2.4.2. Kullanıcı Arayüzünün Geliştirilmesi

Bir yazılımın kullanıcı arayüzü geliştirilmeden önce, karar vericilerin karar verme sürecinde önemli düşündüğü tüm sorulara cevap verebilecek şekilde tasarlanmalıdır. Kullanıcı arayüzü sadece kullanımı kolay olmamalı, aynı zamanda karar verme sürecinde tutarlı bilgiler sunabilmeli, herhangi bir kararın sonuçlarını izlemeye izin vermeli ve karar vericilerin önceliklerindeki değişiklikleri kabul edebilmelidir. İyi bir kullanıcı arayüzünde sistem ile kullanıcı arasında, özenle oluşturulmuş kolay ve kullanılabilir menüler, renkli grafikler, şekiller veya tablolar sunan sunu ve rapor stilleri gibi kullanıcıya yönelik iyileştirmeler bulunmalıdır. Kullanıcı arayüzünün geliştirilmesinde Delphi programlama dilinin fonksiyonlarından faydalanılmıştır. KDS ve modüllere ilişkin kullanıcı arayüzleri, doğrudan kullanıcıların kolay ve rahat bir şekilde kullanmaları ve anlamaları esasları dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir.

2.2.4.3. Karar Destek Sisteminin Denenmesi

Yazılımın kodlama ve kullanıcı arayüzü geliştirildikten hemen sonra yazılım test edilir. Diğer taraftan yazılımın kodlanması ve testini birlikte bir süreç olarak değerlendirmek de mümkündür. Ancak yeterince testten geçmiş bir yazılım kullanıcılara teslim edilebilir. Bir yazılım projesi iyi bir test sürecinden geçmeden pazara girdikleri için hatalar kullanıcıların kullanımı ile ortaya çıkmaktadır. Bu aşamada doğru ürünün üretilip üretilmediği ve ürünün doğru üretilip üretilmediği ortaya konmaktadır.

Geliştirilen simülasyon ve optimizasyon tabanlı KDS Erzurum Orman Bölge Müdürlüğü Göle Orman İşletme Müdürlüğüne bağlı Yalnızçam Planlama biriminde test edilmiştir. Planlama biriminin yükseltisi 1795 metreden başlayıp 2972 metreye kadar çıkmaktadır. Planlama biriminde ormanlık alanların ortalama eğimi %33 olup, toplam alanın ortalama eğimi ise %22 civarındadır. Yalnızçam planlama birimi 44679 hektar olup alanın sadece % 15'i (6752 ha) ormanlık alandır ve bu alanın çoğunluğu saf sarıçam meşcerelerinden oluşmaktadır (Anonim, 2007).

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

Planlama birimi fauna açısından değerlendirildiğinde, Kafkasya Ekolojik Bölgesi/Sıcak Noktasında bulunan ve küresel ölçekte tehlike altındaki 50 adet yaban hayvanı türünün 16 adedinin Yalnızçam Dağlarında yaşadığı kaydedilmiştir. Türkiye’deki önemli kuş alanlarından birisidir (Anonim, 2007). Alan flora açısından değerlendirildiğinde, dünyanın tropikler dışında en zengin floristik merkezlerinden biri olarak bilinen ülkemiz, Avrupa- Sibiryaya, Akdeniz ve İran-Turan flora bölgelerinin kesişim noktasında yer almaktadır. Yalnızçam Ormanları, Avrupa-Sibiryaya ile İran-Turan flora bölgesinin geçiş zonu içerisinde kalmakta ve her iki bölgenin flora elemanları bakımından iyi temsil edilmektedir. Bu sebeple, çalışma alanının da içinde bulunduğu Ardahan yöresi, 10.000 civarında bitki taksonuna sahip ülkemiz florasında önemli bir yere sahiptir. Yalnızçam ormanları tarihi ve kültürel açıdan son derece önemli olan Urum Dere Kalesi, Kalecik ve Dedeşen Kalesi gibi tarihi eserleri içerisinde bulundurmaktadır. Bu nedenlerden dolayı planlama birimi turizm açısından iyi bir önem arz etmektedir. Değişken meşcere kuruluşları, renkli görünümleri, zengin peyzaj özelliklerine sahip olan alanlar ve Kura nehri boyunca doğal olarak oluşmuş peri bacaları, mini kanyonlar ve kura nehri etrafındaki düzlüklerde halkın piknik ve kamp yapması için elverişli alanlar ve kayak tesisleri ile Yalnızçam ormanları rekreasyon açısından önemli bir potansiyele sahiptir (Anonim, 2007).

Yalnızçam ormanlarındaki en önemli sorunlardan birisi düzensiz otlatmadır. Hayvanlar orman içinde ve civarı meralarda düzensiz olarak otlatılmaktadır. Özellikle yaylacılık yapılan alanlarda çok şiddetli otlatmalar yapılmaktadır. Bu nedenle tensil alanlarında gençlik ezilmekte veya otlatma esnasında koparılmaktadır. Diğer yandan orman içi ve meşcere altında köylüler tarafından her sene ot biçilmektedir. Bu nedenle otların arasında yer alan gençlik kesilmektedir. Ayrıca orman içi ve civarı köylüleri çok sert geçen kış için yakacak ihtiyaçlarını ormandan sağlamaktadırlar. Yalnızçam ormanlarını tehdit eden bütün bu unsurlar aktüel durumda düzensiz orman kuruluşunun oluşmasına ve dolayısıyla alan mevcut yaş sınıfı itibariyle değerlendirildiğinde yaşlı bir orman yapısının sergilendiği görülmektedir.

Yalnızçam planlama biriminde yapılan arazi ölçme ve değerlendirmelerine göre planlama biriminde üç temel orman fonksiyonuna hizmet edecek alanların bölmecek sayısı ve alan itibariyle dökümü Tablo 22’de, planlama biriminin işletme sınıfları itibariyle alan, toplam ağaç serveti ve artımı Tablo 23’ de verilmiştir.

Tablo 22. Yalnızçam planlama birimindeki fonksiyonlar, işletme amaçları/koruma hedefleri

Orman Fonksiyonları		İşletme Amaçları/ Koruma Hedefleri	Alan (ha)
EKONOMİK	Odun Ürünleri Üretimi	Odun Hammaddesi	2631.1
EKOLOJİK	Doğayı Koruma	Orman Ekosistemini İyileştirme	1049.8
		Yüksek Dağ Orman Ekosistemi a) Üst zonu	992.9
		b) Koruma Zonu (70 mt)	194.1
		BÇ Koruma ve İzleme	1592.9
	Ekolojik Etkilenme Bölgesi	280.9	
	Su Kenarı Koruma Alanları	Su Kaynaklarını Koruma	521.7
SOSYO- KÜLTÜREL	Sosyal Baskılı Alanlar	Sosyal Baskılı Alanları Koruma	36046.2
		Sosyal baskılı alanları koruma zonu (70 m)	841.1
	Estetik ve Rekreasyon	Kent Ormanı	411.2
		Peri bacası, Estetik, Kayalık	118.7
Toplam			44679.2

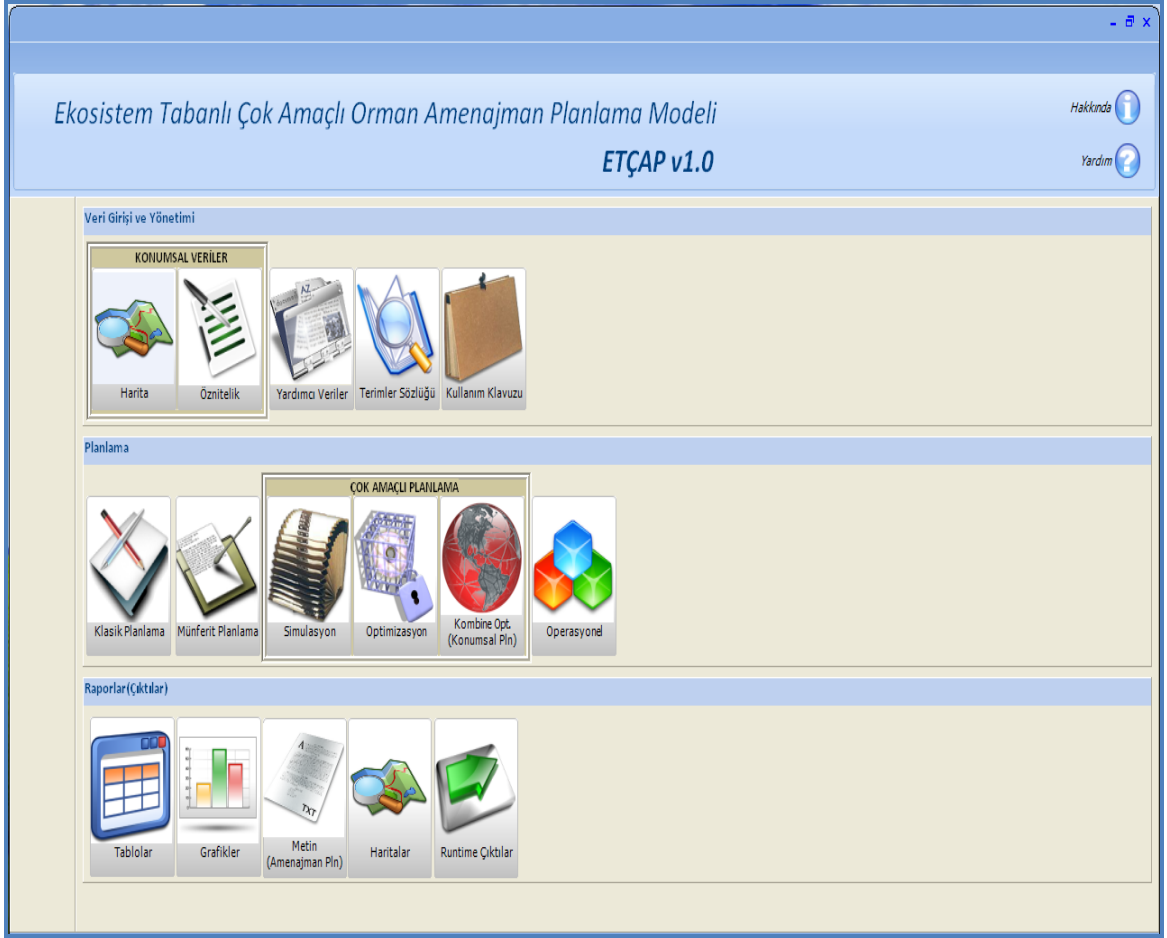
Tablo 23. Planlama birimi toplam alan, ağaç serveti ve artımının işletme sınıflarına dağılımı

İşletme sınıfı (İşletme Amacı)	Alan (Ha)	Toplam Hacim (m ³)	Toplam Artım (m ³ /yıl)
A-Sarıçam Üretim Ormanı	2502.9	536814	9625
B-Ekosistem İyileştirme	584.3	64670	822
C-Yüksek Dağ Orman Ekosistemi	1129.5	167463	2419
D-Biyçeşitlilik Koruma ve İzleme	861.4	108676	1983
E-Koruma (Su, Yol, Erozyon ve Bataklık)	216.8	34954	635
F-Estetik-Rekreasyon (Kent Ormanı, Eko turizm, Mağara, Peri Bacaları, Kanyon vb.)	411.2	29555	610
G-Sosyal Baskılı Alanları Koruma	1046.3	126199	2196
Toplam	6752.4	1068331	18290

3. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada Türkiye ormancılık koşullarına göre ve çağdaş orman amenajmanı kapsamında (Ekosistem Tabanlı Çok Amaçlı Planlama, ETÇAP) bir Karar Destek Sistemi geliştirilmiştir. Karar Destek Sisteminin ismi ise bundan sonra ETÇAP olarak adlandırılacaktır. ETÇAP'a dayalı Karar Destek Sistemi temel olarak Veri Girişi ve Yönetimi, Planlama ve Raporlar olmak üzere üç ana bölümden oluşmaktadır (Şekil 52). Veri girişi bölümünde çok amaçlı bir orman amenajmanı planı düzenlemek için gerekli her türlü veri ve bilgiler (aktüel veriler, hasılat tabloları, odun ürün çeşitleri tabloları gibi) tablo, metin, harita gibi formatlarda hazırlanmaktadır. Planlama bölümünde ise herhangi bir orman amenajman problemini çözmek için bir planlama tekniği seçilmektedir. Bunlar klasik (formüller), simülasyon, optimizasyon ve kombine optimizasyon teknikleri olarak adlandırılabilir. KDS'nin son bölümünü ise raporlar kısmı oluşturmaktadır. Burada ise, herhangi bir orman amenajmanı planlama senaryosunun çözüm sonuçları, belirtilen orman amenajmanı planı formatlarında grafik, tablo, harita veya metin şeklinde sunulmaktadır.

Klasik planlama modeli Sivrikaya (2008) tarafından farklı orman işletme şekilleri için geliştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında aynı yaşlı orman işletme şekli için birer simülasyon ve optimizasyon tabanlı orman amenajmanı planlama modelleri geliştirilmiştir. Geliştirilen klasik planlama modeli aynı zamanda, simülasyon ve optimizasyon modelleri için bir takım veri ve bilgileri sağlama yeteneğine sahiptir. Konumsal planlama modeli ise, bu çalışmada kavramsal tasarımı geliştirilen simülasyon ve optimizasyon modellerini takiben ve bu modellerin üzerine kimi konumsal özelliklerin eklenmesi ve kombine optimizasyon tekniklerinin (tavlama benzetimi, tabu arama veya genetik algoritma gibi) kullanılması ile birlikte geliştirilecektir. Burada yapılan çalışmanın konusu doğrudan simülasyon ve optimizasyon tabanlı orman planlama modelleri olduğu için bulgular ve değerlendirme kısmında sadece bu iki modele ilişkin bilgiler verilecektir. Bu aşamadan sonra simülasyon modeli ETÇAPSimülasyon ve optimizasyon modeli ise ETÇAPOptimizasyon olarak adlandırılacaktır.

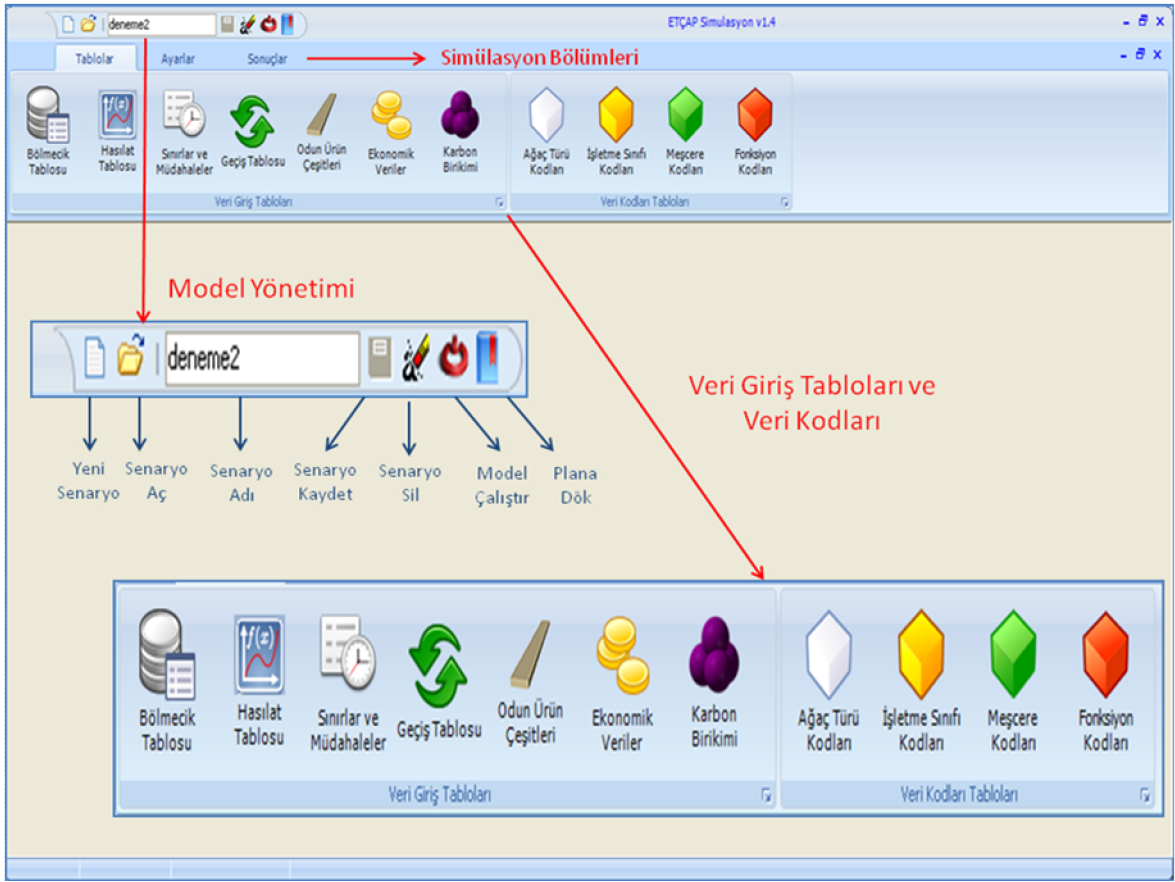


Şekil 52. ETÇAP karar destek sistemi ana penceresi

3.1. Simülasyon Tabanlı Orman Planlama Modeli (ETÇAPSimülasyon)

KDS ana penceresinden simülasyon modeli seçildiği zaman ETÇAPSimülasyon modeli başlangıç durumu penceresi açılacaktır (Şekil 53). ETÇAPSimülasyon modelinin başlangıç durum penceresinde, simülasyon modelinin;

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



Şekil 53. ETÇAP Simülasyon modeli başlangıç ana penceresi

3.1.1. Model (Senaryo) Yönetimi

Modelleme teknikleri genellikle bir takım amaç veya kısıtlayıcı özellikleri içeren farklı senaryolardan meydana gelmektedir. Bu nedenle herhangi bir simülasyon veya optimizasyon modeli açıldığı zaman öncelikle bir senaryo oluşturulması gerekmektedir. Şekil 53 incelendiği zaman, modelin sol üst köşesinde çoğu Windows programlarında olduğu gibi birkaç tane kısayol tuşlarının olduğu görülecektir. Bu kısayollar, simülasyon modelinde yeni bir simülasyon senaryosunun hazırlanması, varolan bir simülasyon senaryosunun açılması veya herhangi bir simülasyon senaryosunun silinmesi, senaryolar üzerinde yapılan değişikliklerin kaydedilmesi ve seçilen herhangi bir senaryonun raporlanması işlemlerini gerçekleştirmektedir. Sonuçta simülasyon tabanlı orman amenajmanı planlama modellerinde, kullanıcı veya karar vericiler farklı işletme amaçları, hedefleri, kısıtlayıcı koşullar veya silvikültürel müdahalelere bağlı olarak çok sayıda planlama senaryoları geliştirebilmekte ve bunlardan en uygun olanına karar vermek mümkün olabilmektedir.

3.1.2. Veri Giriş Tabloları

Tablolar menüsü, orman amenajmanı simülasyon modeli için gerekli veri ve bilgi tablolarını içermektedir. Bu tablolar, aktüel orman verilerinin tutulduğu bölmecik tablosu, optimal verilerin tutulduğu hasılat tabloları, silvikültürel müdahalelerin belirlendiği sınırlar ve müdahaleler tablosu, meşcerelere yapılan müdahaleler sonucu ağaç türünde veya bonitette meydana gelecek değişikliklerin belirlendiği geçiş tablosu, odun ürün miktarlarını hesaplamak için kullanılacak odun ürünü çeşitleri tablosu, odun üretimine yönelik ekonomik verilerin kaynağı olan ekonomik veri tablosu, karbon birikimi hesabının gerçekleştirilmesi için gerekli karbon birikimi tablosundan oluşmaktadır. Bununla birlikte bu bölümde doğrudan bölmecik tablosu veri tabanı ile ilişkili olan ve bir planlama biriminde yer alan ağaç türleri, işletme sınıfları, orman fonksiyonları ve meşcere tiplerinin kod ayarlarını kullanıcı tarafından sağlamak için “Veri Kodları Tabloları” adında ek bir bölüm bulunmaktadır (Şekil 53).

3.1.2.1. Bölmecik Tablosu

Bölmecik tablosunda herhangi bir orman planlama birimi için, bölmecik bazında her türlü bilgiler (işletme sınıfı, ağaç türü, gelişim çağı, kapalılık, meşcere tipi, orman fonksiyonu, servet, artım, göğüs yüzeyi, ağaç sayısı vs) tutulmaktadır (Şekil 54). Bölmecik tablosu aktüel orman verilerini içermekte ve aynı zamanda simülasyon modelinin ana veri kaynağını oluşturmaktadır. Kullanıcı planı yapmak istediği planlama birimine ait bölmecik tablosunu, bu tablo üzerinde yer alan “Veri AI” komutuyla modele dahil edebilmektedir. Bölmecik tablosu mdb, dbf veya xml uzantılı olabilir. Bununla birlikte, bölmecik tablosu ve diğer tüm tablolarda, süzme özelliğinin olması büyük bir avantaj olarak gözükmektedir. Herhangi bir bölmecik tablosunda, bölmecik tablosu penceresinin sol alt kısmında yer alan “Alan Ayarları” araç çubuğu yardımıyla veri tabanı üzerinde doğrudan değişiklikler yapmak mümkündür. Diğer taraftan bölmecik tablosunun sol tarafında bulunan “Alan Ayarları” komutu ile birlikte, herhangi bir veri tabanından çekilen bölmecik tablosu alanlarının kontrolü yapılabilmektedir. Böylelikle kullanıcıların bölmecik tablosunda bulunması gereken verileri yanlış veya eksik girmeleri önlenmektedir. Örneğin, ETÇAPSimülasyon modelinde yetişme ortamı verim gücünü belirten Bonitet_Sınıfı'nın modele dahil edilen bölmecik tablosundaki karşılığı BONITET olabilir. Kullanıcı bu tür karşılıkları bu tablo aracılığıyla düzenlemektedir. “Tablo Yapıları” olarak adlandırılan veri

giriş ekranı Şekil 55’de gösterilmiştir. Bu durum sadece bölmecik tablosu için geçerli olmayıp, hasılat tablosu, odun ürün çeşitleri tablosu gibi diğer tüm tabloların alan ayarlamaları için de söz konusudur. Dolayısıyla tüm tablolar için standart bir yapı “Tablo Yapıları” ekranı ile birlikte düzenlenmekte ve her türlü veri tablolarının uygun biçimde modele yansıtılması gerçekleştirilmektedir.

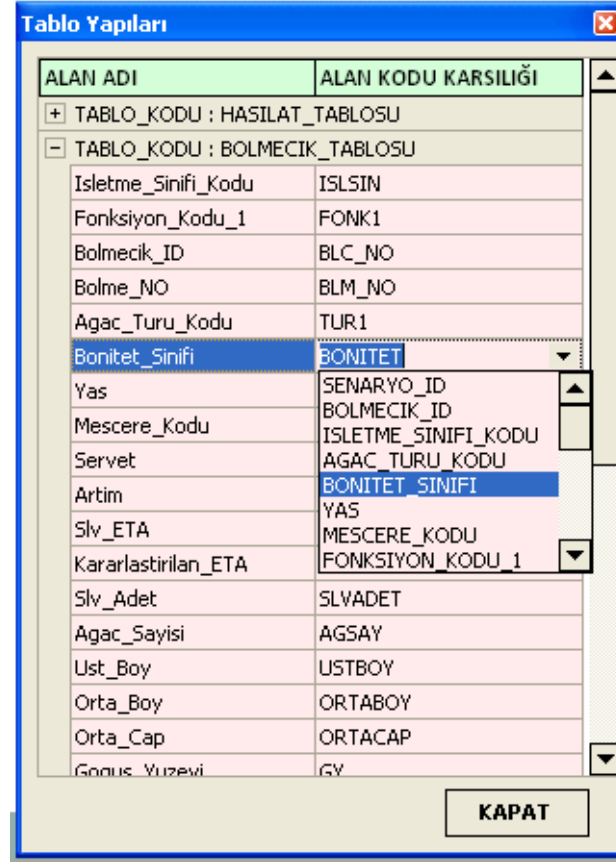
Bölmecik Tablosu													
Bölmecik ID	İşletme Sınıfı	Yaş	Meşçere Kodu	Fonksiyon 1	Fonksiyon 2	Servet (m3)	Artım (m3)	Silvikültürel ETA (m3)	Silvikültürel Adet	Ağaç Sayısı	Üst Boy (m)	Orta Boy (m)	Orta Çap (cm)
- Ağaç Türü: Sarçam													
- Bonitet : 1													
59 F(6)		80 (Çsd1/80/80)		Çs Odun Üretim(111003)	430003	110.697	2.114	0	0	118	0	16.2211	33.6892
150 G(7)		95 (Çsd1/60)		Çs Odun Üretim(111003)	460003	158.157	2.34	0	0	140	0	19.0208	35.7125
161 G(7)		95 (Çsd2/70)		Çs Odun Üretim(111003)	460003	239.857	4.131	9.732	19	251	0	21.0134	33.303
169 G(7)		75 (Çsd2/70)		Orman Ekosistemini iyileştirim	111003	659.05	4.131	9.732	19	251	0	21.0134	33.303
171 A(1)		60 (Çsd2/70)		Çs Odun Üretim(111003)	111003	615.61	4.131	9.732	19	251	0	21.0134	33.303
210 A(1)		65 (Çsd1/60)		Çs Odun Üretim(111003)	460003	87.65	2.34	0	0	140	0	19.0208	35.7125
218 C(3)		80 (Çsd2/70)		Sosyal Baskılı Alanları Koruma	111003	274.85	4.131	9.732	19	251	0	21.0134	33.303
227 A(1)		80 (Çsd2/70)		Çs Odun Üretim(111003)	460003	239.857	4.131	9.732	19	251	0	21.0134	33.303
334 G(7)		70 (Çsd2/70)		Sosyal Baskılı Alanları Koruma	-9	498.16	4.131	9.732	19	251	0	21.0134	33.303
357 A(1)		125 (Çsd2/70)		Çs Odun Üretim(111003)	111003	494.04	4.131	9.732	19	251	0	21.0134	33.303
389 E(5)		80 (Çsd3/50)		Çs Odun Üretim(111003)	460003	236.759	5.917	12.627	48	471	0	21.3195	24.4408
425 A(1)		70 (Çsd3/50)		Çs Odun Üretim(111003)	111003	447.68	5.917	12.627	48	471	0	21.3195	24.4408
446 G(7)		80 (Çsd3/50)		Su Kenarı Koruma(410003)	111003	236.759	5.917	12.627	48	471	0	21.3195	24.4408
480 D(4)		95 (Çsd3/90)		Sosyal Baskılı Alanları Koruma	111003	265.016	5.269	12.108	26	332	0	22.4104	30.5869
487 A(1)		95 (Çsd2/70)		Çs Odun Üretim(111003)	-9	382.94	4.131	9.732	19	251	0	21.0134	33.303
507 A(1)		115 (Çsd3/50)		Çs Odun Üretim(111003)	460003	503.95	5.917	12.627	48	471	0	21.3195	24.4408
566 A(1)		75 (Çsd2/70)		Çs Odun Üretim(111003)	460003	451.45	4.131	9.732	19	251	0	21.0134	33.303
591 A(1)		90 (Çsd3/90)		Çs Odun Üretim(111003)	111003	408.45	5.269	12.108	26	332	0	22.4104	30.5869
599 E(5)		120 (Çsd3/90)		Su Kenarı Koruma(410003)	111003	265.016	5.269	12.108	26	332	0	22.4104	30.5869
606 G(7)		95 (Çsd2/70)		Sosyal Baskılı Alanları Koruma	111003	112.8	4.131	9.732	19	251	0	21.0134	33.303
Sayı= 1478						Ort= 1.5911							

Şekil 54. Bölmeçik tablosu seçim ve düzenleme ekranı

3.1.2.2. Hasılat Tablosu

Hasılat tablosu orman ekosistemini oluşturan ağaç türleri için optimal durumu gösteren tablolardır. Planlama birimine ait ağaç türleri için kullanılacak olan hasılat tabloları, hasılat tablosu ekranının sol tarafında yer alan “Veri Al” komutu ile birlikte modele çekilmektedir (Şekil 56). Yine bölmeçik tablosunda olduğu gibi, hasılat tabloları mdb, dbf veya xml uzantılı dosyalar olarak kullanılması mümkündür. Hasılat tablosu üzerinde yer alan alanlar üzerinde, ekranın sol alt köşesinde bulunan alan ayarları araç çubuğu ile birlikte gerekli düzenlemeler yapılabilmektedir. Modele dahil edilen herhangi bir hasılat tablosunun alanlarının simülasyon modelindeki karşılıklarının kontrolünün ve

gerekli düzenlemelerinin yapılması yine hasılat tablosu penceresinin sol tarafında yer alan “Alan Ayarları” komutu ile açılan “Tablo Yapıları” ekranı üzerinden yapılmaktadır.



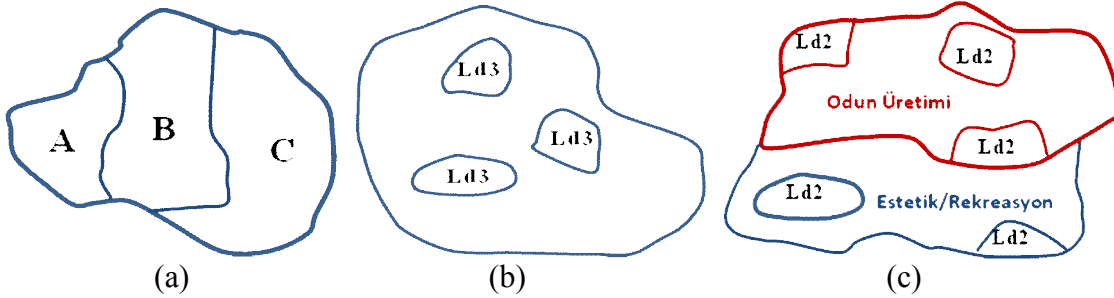
Şekil 55. Örnek bir tablo yapıları düzenleme ekranı

3.1.2.3. Sınırlar ve Müdahaleler Tablosu

Sınırlar ve müdahaleler tablosunda kullanıcı planlamak istediği orman planlama biriminde yer alan meşcereler için silvikültürel müdahale seçeneklerini belirlemektedir. Silvikültürel müdahaleleri uygulamak için kullanıcının öncelikle bu müdahalelerin uygulanacağı analiz alanlarını seçmesi gerekmektedir. Analiz alanları daha önce açıklandığı üzere, bir işletme sınıfı, planlama biriminde yer alan meşcere tipleri, herhangi bir orman fonksiyonunda yer alan meşcere tipleri gibi farklı şekillerde gruplandırılabilir (Şekil 57). Daha sonra, seçilen analiz alanı içerisinde yer alan meşcerelere silvikültürel müdahale reçetesi (gençleştirme, bakım, koruma gibi) hazırlanmaktadır. Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen silvikültürel müdahale reçetesinde, seçilen analiz alanları için maksimum ve minimum gençleştirme ve bakım

Hasılat Tablosu										
Yaş	Bonitet Endeksi	Üst Boy	Kalan Orta Boy (m)	Kalan Ağaç Sayısı	Kalan Göğüs Yüzeyi (m ²)	Kalan Orta Çap (cm)	Asli Orta Boy (m)	Kalan Gövde Hacmi (m ³)	Ayrılan Ağaç Sayısı	Ayrılan Orta Çap (cm)
+ Ağaç Türü : Kızılcıam										
- Ağaç Türü : Sarıçam										
- Bonitet : 1										
25	0	5.96	0	10051	28.31	6.2	0	270.28	1389	3.4
30	0	8.27	0	8883	38.45	7.4	0	220.7	1168	4.2
35	0	10.71	0	7553	45.5	8.9	0	283.88	1330	5.3
40	0	13.14	0	6253	50.2	9.8	0	351.6	1300	5.9
45	0	15.33	0	4962	53.54	11	0	404.25	1291	6.6
50	0	17.16	0	4182	55.99	12.2	0	445.46	780	7.4
55	0	18.74	0	3745	57.84	13.4	0	481.56	437	8.1
60	0	20.2	0	3344	59.32	14.7	0	515.56	401	8.8
65	0	21.42	0	2980	60.45	15.9	0	548.45	364	9.4
70	0	22.63	0	2632	61.39	17.2	0	579.52	348	10
75	0	23.61	0	2318	62.17	18.3	0	609.8	314	10.6
80	0	24.58	0	2034	62.93	19.5	0	637.36	284	11.2
85	0	25.43	0	1850	63.56	20.7	0	662.71	184	11.8
90	0	26.16	0	1714	64.08	21.8	0	686.05	136	12.3
95	0	26.89	0	1591	64.6	22.9	0	706.86	123	12.9
100	0	27.5	0	1456	65.11	24.1	0	724.85	135	13.5
105	0	28.11	0	1316	65.54	25.1	0	741.72	140	14
110	0	28.72	0	1187	65.95	26.3	0	756.88	129	14.5
115	0	29.2	0	1060	66.37	27.3	0	770.52	127	15

Şekil 56. Hasılat tablosu seçim ve düzenleme ekranı



Şekil 57. Analiz alanlarının a) işletme sınıfı b) meşcere tipi c) orman fonksiyonu içinde yer alan meşcere tipleri düzeylerinde belirlenmesi örnekleri

yaşları girilmektedir. Minimum ve maksimum bakım yaşları ile periyot genişliklerine bağlı olarak model tarafından otomatik olarak bir arayüz oluşturulmakta ve bu arayüzde kullanıcı, meşcerelerin yaş ve hektardaki servet veya göğüs yüzeyi miktarlarına göre bakım miktarlarını girmektedir. Örneğin, Şekil 58’de, “Yeni Tablo Oluştur” komutu ile birlikte “Orman Fonksiyonu” analiz alanı olarak seçilmiş ve Çs Odun Üretimi fonksiyonu için minimum ve maksimum kesim yaşları 100 ve 140 yıl olarak belirlenmiştir. Minimum ve

maksimum bakım yaşları ise sırasıyla 40 ve 90 yıl olarak alınmıştır. Bu aralıkta ise 40 yaşında %5, 60 yaşında %7 ve 80 yaşında %6 servete göre bakım miktarları (yüzdeleri) öngörülmüştür. Bununla birlikte kullanıcının isteğine bağlı olarak farklı düzeylerde analiz alanlarının kesişimi yapılmak suretiyle silvikültürel müdahale rejimleri belirlenebilmektedir. Örneğin orman fonksiyonları ve meşcere tipleri birlikte değerlendirilmek istendiğinde, her bir fonksiyon içerisinde yer alan meşcereleri görmek ve ona göre müdahaleleri tahsis etmek mümkündür.

Analiz Alanları

ISLETME_SINIFI_KODU
 AGAC_TURU_KODU
 BOLME_NO
FONKSIYON_KODU_1
 MESCERE_KODU
 BONITET_SINIFI
 YAS

→
 ←

FONKSIYON_KODU_1

↑
 ↓

TAMAM
İPTAL

↓

Sınırlar ve Müdahaleler Tablosu

Yeni Tablo Oluştur

Kapat

Min Kesim Yaşı	Max Kesim Yaşı	Min Bakım Yaşı	Max Bakım Yaşı
+ FONKSIYON_KODU_1 : Sosyal Baskılı Alanları Koruma(-9)			
- FONKSIYON_KODU_1 : Çs Odun Üretim(111003)			
100	140	40	90
YAŞ	Bakım Miktarı (Servet-%)	Bakım Miktarı (Göğüs Yüze-%)	
40	5		
50			
60	7		
70			
80	6		
90			
+ FONKSIYON_KODU_1 : Orman Ekosistemini iyileştirme (Rehabilitasyon)(380003)			
+ FONKSIYON_KODU_1 : Orman Ekosistemini iyileştirme (Rehabilitasyon)(390003)			
+ FONKSIYON_KODU_1 : Sosyal Baskılı Alanları Koruma(395003)			
+ FONKSIYON_KODU_1 : Biçeşitlilik Koruma ve İzleme(400003)			
+ FONKSIYON_KODU_1 : Ekolojik Etkilenme (Geçiş) bölgesi(405003)			
+ FONKSIYON_KODU_1 : Su Kenarı Koruma(410003)			
+ FONKSIYON_KODU_1 : Sosyal Baskılı Alanları Koruma(420003)			
+ FONKSIYON_KODU_1 : Sosyal Baskılı Alanları Koruma(430003)			
+ FONKSIYON_KODU_1 : Sosyal Baskılı Alanları Koruma Zonu (70 m.)(435003)			

Şekil 58. Analiz alanlarını ve silvikültürel müdahaleleri düzenleme ekranı

3.1.2.4. Geçiş Tablosu

Geçiş tablosu meşcerelere yapılan müdahalelere bağlı olarak o meşcerenin gençleştirme ve bakım kesimlerini takiben geçeceği yeni ağaç türü ve boniteti belirlemek için kullanılmaktadır. Bunun için kullanıcı bir tablo oluşturmakta, öncelikle kaynak (mevcut) ağaç türü ve bonitet ile bu ağaç türüne yapılacak müdahaleden sonra meşcerenin geçeceği yeni (başka bir ifadeyle hedef) ağaç türü ve boniteti belirli bir olasılıkla (geçiş oranı) seçmektedir (Şekil 59). Geçişlerin belirlenmesinde, geçiş tablosunun sol alt kısmında bulunan alan ayarları araç çubuğundan faydalanılmaktadır. Bir ağaç türünden başka bir ağaç türüne geçiş olması durumunda, yeni ağaç türüne ait hasılat tablosu, odun ürün çeşitleri tablosu, karbon birikimi katsayıları vs otomatik olarak model tarafından kullanılmaktadır.

Geçiş Tablosu					
Müdahaleden Önceki Durumu			Müdahaleden Sonraki Durumu		
Ağaç Türü	Bonitet	Müdahale Türü	Ağaç Türü	Bonitet	Geçiş Oranı
Sarıçam	2	<input checked="" type="radio"/> Bakım <input type="radio"/> Gençleştirme	Sarıçam	2	100
Sarıçam	3	<input checked="" type="radio"/> Bakım <input type="radio"/> Gençleştirme	Sarıçam	3	100
Sarıçam	4	<input checked="" type="radio"/> Bakım <input type="radio"/> Gençleştirme	Sarıçam	4	100
Sarıçam	5	<input type="radio"/> Bakım <input checked="" type="radio"/> Gençleştirme	Sarıçam	5	100
Sarıçam	5	<input checked="" type="radio"/> Bakım <input type="radio"/> Gençleştirme	Sarıçam	5	100
			<ul style="list-style-type: none"> Agacismi Kızılçam Karaçam Sarıçam Sedir Gökmar Porsuk Halepçanı Sahilçanı 		

Şekil 59. Geçiş tablosu düzenleme ekranı

3.1.2.5. Odun Ürün Çeşitleri Tablosu

Odun ürünü çeşitleri tablosu, meşcerelerin gençleştirme ve bakım müdahaleleri ile birlikte sunmuş olduğu odun üretimi miktarının (eta), ürün çeşitleri itibariyle miktarlarını göstermek için gereklidir. Bu tablolar meşcere çapına bağlı olarak ürün çeşitlerini (tomruk, maden direği, sanayi odunu ve yakacak odun) kabuklu ve kabuksuz olmak üzere yüzde oranlar şeklinde göstermektedirler. Bu tablolar planlama biriminde yer alan ağaç türleri için kullanıcı tarafından, pencerenin solunda yer alan “Veri Al” komutu ile modele dahil edilmektedir (Şekil 60). Ayrıca tablo üzerindeki alanlarda kullanıcı isteğine bağlı olarak değişiklikler yapmak mümkündür. Yine dışarıdan modele dahil edilecek olan tabloların alanlarının, simülasyon modeline uygunlukları ve karşılıklarının belirlenmesi “Alan Ayarları” komutu ile ekrana gelen “Tablo Yapıları” aracılığıyla yapılmaktadır. Odun ürünü çeşitleri tablosu, odun üretiminden elde edilecek gelir ve giderler ile birlikte, orman ekosisteminden zamanla atmosfere yayılacak olan karbon emisyonların hesaplanması için kullanılmaktadır.

Odun Ürün Çeşitleri Tablosu									
ÇAP (cm)	KABUKLU				KABUKSUZ				
	Toplam Tomruk Oranı	Maden Direği Oranı	Sanayi Odunu Oranı	Yakacak Odun Oranı	Toplam Tomruk Oranı	Maden Direği Oranı	Sanayi Odunu Oranı	Yakacak Odun Oranı	
- AĞAÇ TÜRÜ : Sarıçam									
13	0	39.2	31.8	29	0	27.8	22.6	20.6	
14	0	37.6	30.6	31.8	0	26.9	21.9	22.7	
15	0	36.2	29.5	34.3	0	26	21.2	24.7	
16	0	34.8	28.5	36.8	0	25.2	20.6	26.6	
17	0	33.5	27.5	39	0	24.4	20	28.4	
18	0	32.3	26.5	41.2	0	23.6	19.4	30.2	
19	0	31.2	25.7	43.1	0	22.9	18.9	31.8	
20	0	30.1	24.8	45.1	0	22.3	18.4	33.4	
21	29.4	29.1	24.1	17.4	21.8	21.7	17.9	13.1	
22	33.1	28.1	23.3	17.3	23.3	21.1	17.5	13.1	
23	33.2	27.2	22.6	17	25	20.5	17	13	
24	35.2	26.3	21.9	16.6	26.6	19.9	16.5	12.8	
25	37.1	25.5	21.2	16.2	28.1	19.4	16.1	12.6	
26	38.9	24.7	20.6	15.8	29.6	18.9	15.7	12.4	
27	40.8	23.9	20	15.3	31.3	18.3	15.4	12.2	
28	42.5	23.1	19.4	15	32.8	17.8	14.9	11.8	
29	44.1	22.4	18.9	14.6	34.2	17.4	14.6	11.6	
30	45.7	21.7	18.3	14.3	35.6	16.9	14.2	11.3	
31	47.2	21	17.8	14	36.9	16.4	13.9	11.2	
32	48.7	20.3	17.3	13.7	38.1	15.9	13.6	11	
33	50.2	19.7	16.8	13.3	39.6	15.5	13	10.9	
34	52.6	19	16.3	13.1	40.8	15	12.9	10.6	
35	53	18.4	15.8	12.8	42	14.6	12.6	10.5	

Şekil 60. Odun ürün çeşitleri tablosu seçim ve düzenleme ekranı

3.1.2.6. Ekonomik Veri Tablosu

Ekonomik veri tablosu, her bir ağaç türü ve bu ağaç türleri için odun ürünlerinin birim gelir ve giderlerinin belirlendiği tablolardır (Şekil 61). Kullanıcı tarafından seçilen ağaç türü için pencerenin solunda yer alan “Yeni Kayıt Ekle” ve “Alan Ayarları” ile birlikte odun üretimi NBD’nin hesaplanması için gerekli veriler bu tablodan girilmektedir. Girilecek değerler herhangi bir para biriminde girilebilir. Ancak burada önemli olan nokta, kullanıcının seçmiş olduğu para birimini, çözüm sonuçlarını değerlendirirken dikkate almasıdır. Bu tablo yardımıyla ayrıca ağaç türlerine göre ağaçlandırma maliyetleri girilmektedir.

Ekonomik Veri Tablosu						
İskonto Oranı : 4						
Odun Ürünü	Gelir (* /m3)	Giderler				Tevzi Gider (* /m3)
		Üretim Gideri (* /m3)	Tarife Bedeli (* /m3)	Satış Gideri (* /m3)		
+ Ağaç Türü : Kızılçam						
- Ağaç Türü : Sarıçam						
TOMRUK	100	10	10	5	9	
MADEN DİREĞİ	100	11	9	6	8	
SANAYİ	100	12	8	7	7	
YAKACAK	100	13	7	8	6	
- Ağaç Türü : Göknar						
TOMRUK						
MADEN DİREĞİ						
SANAYİ						
YAKACAK						
+ Ağaç Türü : Sedir						

Ağaçlandırma Giderleri :	
Ağaç Türü	Gideri (* /ha)
Kızılçam	500
Sarıçam	1000

Şekil 61. Ekonomik verileri düzenleme ekranı

3.1.2.7. Karbon Birikimi Tablosu

Karbon birikimi tablosu, her bir ağaç türü için aktüel servet ve etalarına dayanılarak meşcerelerin karbon depolama miktarlarını hesaplamak için kullanılan tablolardır (Şekil 62). Bu tablolar aracılığıyla girilen veriler yardımıyla bir orman ekosisteminin karbon birikimi, karbon emisyonu, net karbon birikimi ve net oksijen üretimi miktarlarını hesaplamak mümkündür. Karbon birikimi tablosunda, kullanıcı tarafından seçilen ağaç türü için, pencerenin solunda yer alan “Veri Al” ve “Yeni Tablo Oluştur” ile birlikte

karbon birikiminin hesaplanması için gerekli veriler bu tablodan girilmektedir. Tabloların alan değerleri üzerinde yapılacak değişiklikler ise ekranın sol alt köşesinde bulunan “Alan Ayarları” araç çubuğu ile gerçekleştirilmektedir. Dışarıdan girilen bir tablonun alanlarının, simülasyon modeline uygunluğu, ekranın solunda yer alan “Alan Ayarları” komutu ile ekrana getirilen “Tablo Yapıları” veri düzenleme tablosu ile kontrol edilmektedir.

Karbon Birikimi Tablosu										
Ağaç Türü	Biokütle Dönüşüm Faktörü	Topralaltı Biokütle Oranı	Ölü Servet Oranı	Karbon Eşdeğeri	Tomruk Ayrışma Oranı	Maden Dereği Ayrışma Oranı	Yakacak Odun Ayrışma Oranı	Sanayi Odunu Ayrışma Oranı	Ölü Servet Ayrışma Oranı	Kök Ayrışma Oranı
Sarıçam	0.56	0.2	0	0.5	0.03	0.05	1	0.08	0	0.05
Karaçam	0.56	0.2	0	0.5	0.04	0.06	1	0.07	0	0.06
Sedir	0.61	0.23	0	0.5	0.04	0.07	1	0.09	0	0.04

Şekil 62. Karbon birikimi tablosu seçim ve düzenleme ekranı

3.1.2.8. Kodlar Tablosu (Araç Çubuğu)

Kodlar araç çubuğunda yer alan “Ağaç Türleri”, “İşletme Sınıfı Kodları”, “Meşcere Kodları” ve “Fonksiyon Kodları” aracılığıyla, ETÇAPSimülasyon modeline dahil edilen herhangi bir bölmecik tablosuna göre planlama birimini oluşturan işletme sınıfları, ağaç türleri, meşcereler ve fonksiyonların kodlarını ve açıklamalarını görmek mümkündür (Şekil 63). Modele böyle bir yapının eklenmesi ile birlikte, amenajman yönetmeliğinde ağaç türleri için belirlenen sabit kalıplara benzer durumlar ortadan kalkmış ve kullanıcılara esneklik sağlanmış olacaktır. Kullanıcının her bir işletme sınıfı, ağaç türü, meşcere veya fonksiyon için istedikleri kodları ve bunların açıklamalarını düzenlemeleri mümkün

olacaktır. Örneğin verilen şekillerde Yalnızçam Planlama birimi işletme sınıfları, ağaç türleri, meşcere ve fonksiyonlara ilişkin kodlar ve açıklamaları gösterilmiştir. Bu tablolar ETÇAPSimülasyon modeli tarafından aktüel orman verilerinin tutulduğu bölmecik tablosundan otomatik olarak çekilmektedir.

Sembol	Ağaç İsmi
Çz	Kızılcıam
Çk	Karaçam
Çs	Sarıçam
S	Sedir
G	Gök nar
P	Porsuk
Çh	Halepçanı
Çm	Sahilçanı
Çr	P.radiata
D	Duglaz
An	Andız
Di	Diğer İbreliler

(a)

Kod	ADI
1	A(1)
2	B(2)
3	C(3)
4	D(4)
5	E(5)
6	F(6)
7	G(7)

(b)

Kod	ADI
10	Çsa0(10)
20	Çsc1(20)
30	Çsc1/a0(30)
40	Çsc2(40)
50	Çsc3(50)
60	Çscd1(60)
70	Çscd2(70)
80	Çscd2/a0(80)
90	Çscd3(90)
100	Çsd/a(100)
110	Çsd1(110)
120	Çsd1/a(120)

(c)

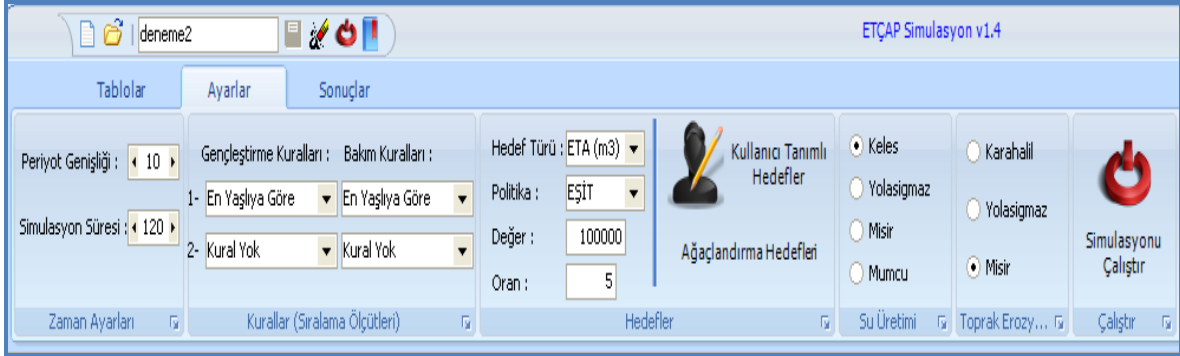
Kod	ADI
-9	Sosyal Basklı Alanları Korumu
111003	Çs Odun Üretim(111003)
380003	Orman Ekosistemini iyileştirdi
390003	Orman Ekosistemini iyileştirdi
395003	Sosyal Basklı Alanları Korumu
400003	Bioçeşitlilik Koruma ve İzler
405003	Ekolojik Etkilenme (Geçiş) E
410003	Su Kenarı Koruma(410003)
420003	Sosyal Basklı Alanları Korumu
430003	Sosyal Basklı Alanları Korumu
435003	Sosyal Basklı Alanları Korumu

(d)

Şekil 63. Orman ekosistemini oluşturan a) ağaç türlerinin b) işletme sınıflarının c) meşcerelerin d) orman fonksiyonlarının kod ve açıklamaları tablo ekranları

3.1.3. Simülasyon Ayarları

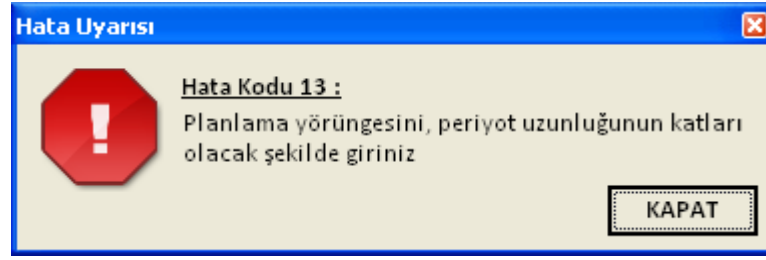
ETÇAPSimülasyon modelinin ikinci bölümünü oluşturan “Ayarlar” sekmesi, herhangi bir simülasyon senaryosunun belirlenmesi için gereken zaman ayarları, kuralların belirlenmesi, hedeflerin ortaya konulması, yardımcı modellerin seçilmesi ve simülasyon modelinin oluşturulması gibi bileşenlerden meydana gelmektedir (Şekil 64).



Şekil 64. Simülasyon ayarları ekranı

Bir simülasyon modelinde öncelikle kullanıcı tarafından girilmesi gerekli olan veriler, periyot genişliği ve simülasyon süresi uzunluklarıdır. ETÇAPSimülasyon modelinde periyot genişlikleri 5 ve 5'in katları olacak şekilde belirlenebilmektedir. Simülasyon süresi ise periyot genişliklerinin katları olacak şekilde belirlenmektedir.

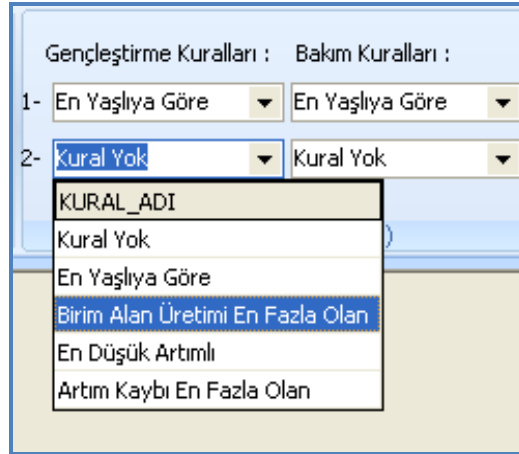
Bununla birlikte, bazı durumlarda, modele veri girerken veya model oluşturulurken bir takım hataların olması mümkündür. Bu durumda sistem zaman zaman hata verecektir. Örneğin, kullanıcı periyot genişliğini 10 yıl, simülasyon süresini 125 gibi periyot genişliğinin katları olacak şekilde girmediği zaman, sistem bir hata uyarısı verecektir (Şekil 65). Hem ETÇAPSimülasyon hem de ETÇAPOptimizasyon modellerinin, ilerleyen zamanlarda farklı kullanıcılar tarafından kullanılması durumunda ortaya çıkabilecek sistem ile ilgili her türlü hatalar, belirli bir düzende “Hata Uyarı Kodları” ve açıklamaları şeklinde ETÇAP KDS’ne dahil edilecektir.



Şekil 65. Örnek bir hata uyarı penceresi

3.1.3.1. Kuralların Belirlenmesi

Simülasyon modellerinin diğer önemli bir bileşeni kurallardır. ETÇAPSimülasyon modelinde kurallar (sıralama kriterleri) olarak adlandırılan pencere aracılığı ile birlikte karar verici, gençleştirme veya bakım yapılacak meşcerelerin kesim önceliklerini belirlemektedir (Şekil 66). ETÇAPSimülasyon modelinin bir özelliği ise hem gençleştirme hem de bakım için kullanıcının iki adet kural belirleme olanağına sahip olmasıdır. Bunun avantajı ise, örneğin, aynı yaşa sahip birden fazla meşcere olması durumunda ikinci bir kural ile birlikte bu meşcereler tekrar bir sıralamaya girmekte ve kesime alınmaktadır.

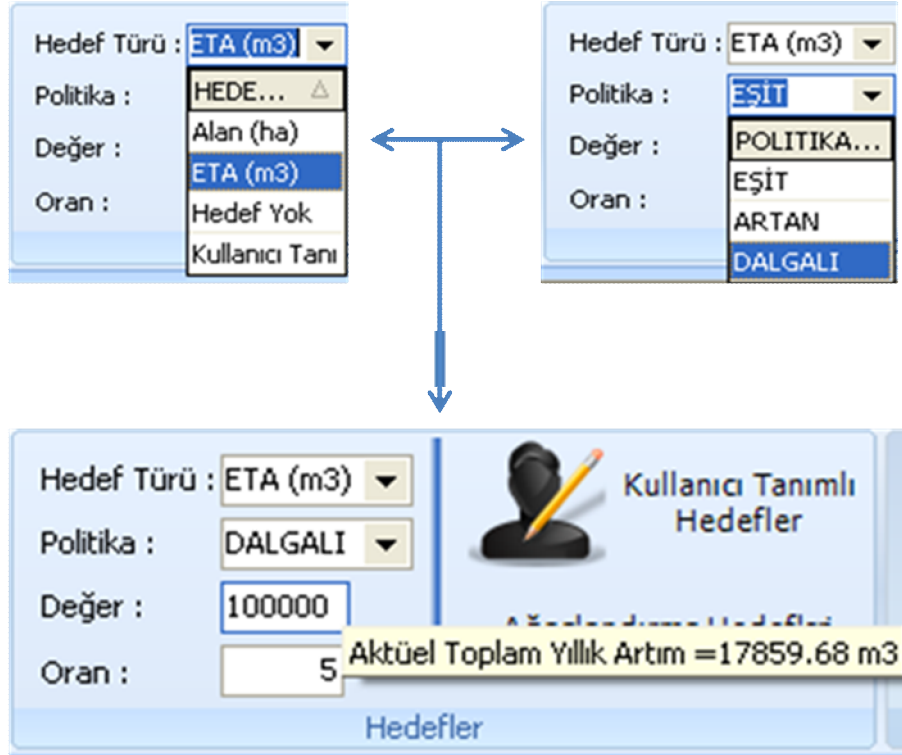


Şekil 66. Gençleştirme ve bakım kesim kuralları belirleme ekranı

3.1.3.2. Hedeflerin Düzenlenmesi

Hedefler orman simülasyon modellerinin önemli bileşenlerinden bir tanesidir. Burada kullanıcı tarafından, alan ve hacim kontrolüne dayalı hedefler veya politikalar belirlenmektedir. Kullanıcı öncelikle hedef türlerinden (alan veya eta) bir tanesini seçer. Bir sonraki adımda seçtiği hedef türüne göre bir politika hedefi (örneğin eta hedefi seçmiş

ise eşit eta, dalgalı eta, giderek artan eta politikası veya kullanıcı tanımlı eta politikaları gibi) ortaya koyar. Daha sonra her bir periyot için bir eta hedefi ortaya koyar. Son olarak periyotlar arası alan veya eta kontrolleri için belirli bir dalgalanma veya sapma oranı belirler. Örneğin Şekil 67’de eta hedef türü, dalgalı eta politikası, her bir periyot için 100,000 m³ eta hedefi ve %5 dalgalanma oranını gösteren bir örnek verilmiştir. Bununla birlikte ETÇAPSimülasyon modelinde eta hedef değeri metin kutusu üzerine gelindiğinde planlama biriminin aktüel yıllık toplam artım miktarı açıklayıcı metin (ipucu) olarak ekrana gelmektedir. Bu ise kullanıcıların veya karar vericilerin eta hedef miktarını doğru bir şekilde belirlemesine yardım etmektedir. Benzer ipucu, ağaçlandırılacak alan miktarının ekranda gösterilmesinde yine verilmektedir.



Şekil 67. Hedefleri düzenleme örneği

Bununla birlikte kullanıcı veya karar vericilerin periyotlara bağlı otomatik olarak değil de, her bir periyot için kullanıcının isteklerine göre alan veya eta hedefleri girmesi mümkündür (Şekil 68). Benzer şekilde kullanıcı her bir periyotta ne kadarlık bir alanı hangi ağaç türüyle ağaçlandırmak istiyorsa, bu hedeflerini, ağaçlandırma hedefleri ekranı yardımıyla gerçekleştirebilmektedir (Şekil 69).

Yeni Hedefler Belirle
KAPAT

Sembol	Ağaç İsmi
Çz	Kızılçam
Çk	Karaçam
▶ Çs	Sarıçam
S	Sedir
G	Göknar


Toplam ETA

Hedef Ekle


TURU	ALAN_ETA	ALINACAK_DEGER	ALAN_KODU	HEDEF_DEGER
[-] PERİYOT NO : 1				
TOPLAM	ETA (m3)	AĞAÇ TÜRÜ	3	100000
[-] PERİYOT NO : 2				
TOPLAM	ETA (m3)	AĞAÇ TÜRÜ	3	85000
[-] PERİYOT NO : 3				
TOPLAM	ETA (m3)	AĞAÇ TÜRÜ	3	70000
[-] PERİYOT NO : 4				
TOPLAM	ETA (m3)	AĞAÇ TÜRÜ	3	60000
[-] PERİYOT NO : 5				
TOPLAM	ETA (m3)	AĞAÇ TÜRÜ	3	90000
[-] PERİYOT NO : 6				
TOPLAM	ETA (m3)	AĞAÇ TÜRÜ	3	100000

Şekil 68. Kullanıcı tanımlı eta ve alan hedefleri düzenleme ekranı

Ağaçlandırma Hedefleri



Yeni Tablo Oluştur



KAPAT

Sembol	Ağaç İsmi
Çz	Kızılçam
Çk	Karaçam
Çs	Sarıçam
S	Sedir

Hedef Ekle

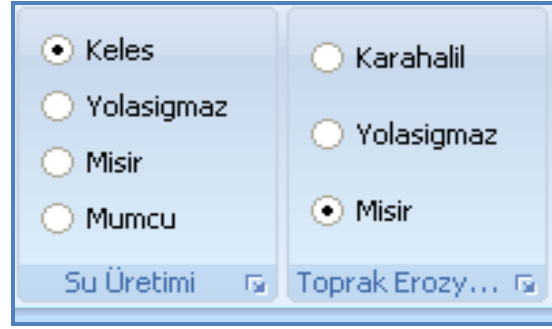
AĞAÇ TÜRÜ	Ağaçlandırılacak Alan (ha)
- PERİYOT_NO : 1	
3	100
- PERİYOT_NO : 2	
3	100
- PERİYOT_NO : 3	
3	150
- PERİYOT_NO : 4	
3	120
- PERİYOT_NO : 5	
3	150
+ PERİYOT_NO : 6	
+ PERİYOT_NO : 7	
+ PERİYOT_NO : 8	
+ PERİYOT_NO : 9	
+ PERİYOT_NO : 10	
+ PERİYOT_NO : 11	
+ PERİYOT_NO : 12	

Şekil 69. Ağaçlandırma hedefleri düzenleme ekranı

3.1.3.3. Yardımcı Modellerin Seçilmesi

ETÇAPSimülasyon modelinde, yapılan çalışmalar bölümünde belirtildiği üzere dört farklı su üretimi ve üç farklı toprak erozyonu modeli yazılıma dahil edilmiştir (Şekil 70). Kullanıcı planlama probleminin çözümünde su üretimi veya toprak erozyonu miktarlarını hesaplamak istiyorsa, bu modellerden faydalanabilmektedir. İsteddiği modele göre simülasyon modelini koşturabilmektedir. Herhangi bir model seçmemesi durumunda simülasyon modeli varsayılan su üretim modeline (seçili olan) veya toprak erozyonu modeline göre modeli koşturmakta ve sonuçları kullanılan bu modele göre sunmaktadır. Daha önce belirtildiği üzere, Türkiye'nin herhangi bir planlama birimi veya bölgesinde su

üretimi veya toprak erozyonu hesaplanmasına yönelik ve meşcere parametrelerine bağlı modeller geliştirildiği takdirde, geliştirilen bu modeller hem simülasyon hem de optimizasyon modeline, modelin sağlam ve esnek yapısının sunmuş olduğu avantajla birlikte, kolaylıkla dahil edilebilecektir.



Şekil 70. Su üretimi ve toprak erozyonu modelleri seçim penceresi

3.1.3.4. Modelin Koşturulması

ETÇAPSimülasyon modelinde bir simülasyon senaryosuna ilişkin her türlü veri ve bilgiler ilgili veri giriş tablolarına girilip, gerekli simülasyon ayarları yapıldıktan sonra, model koşturulur. Modelin koşturulmasında “Ayarlar” sekmesinin en sonunda yer alan “Simülasyon Çalıştır” düğmesi veya ana pencere ekranında ki aynı görüntüye sahip kısayol düğmesi kullanılarak model koşturulur. Her bir senaryonun koşturulması ile birlikte elde edilen çıktılar değerlendirildikten sonra, duruma bağlı olarak ayarlarda değişiklik yapmak suretiyle yeni senaryolar oluşturulup model tekrar koşturulabilir. İstenilen sayıda simülasyon senaryosu geliştirilip çözülebilmekte ve her bir senaryo kaydedilip daha sonra tekrar görülebilmektedir. Diğer taraftan, ETÇAPSimülasyon modelinin önemli bir özelliği bulunmaktadır. Kullanıcıların çok fazla veya az hedef miktarları girmesi durumunda “İkili Hedef Bulma (İKİHEB)” yöntemi ile birlikte en uygun hedefi yakalamaya çalışmaktadır. Örneğin, kullanıcının periyodik olarak alınması öngörülen $100,000 \text{ m}^3$ bir eta hedefi girdiğini düşünelim. Eğer bu değer çok fazla ise, model, bu hedef değerinin yarısını almakta ve o hedefe ulaşmaya çalışmaktadır. O hedefe ulaşması durumunda, $75,000 \text{ m}^3$ ($50,000-100,000 \text{ m}^3$ arası) hedefine ulaşmaya çalışmaktadır. $75,000 \text{ m}^3$ eta hedefini alması durumunda $87,500 \text{ m}^3$ ($75,000-100,000 \text{ m}^3$ arası) ulaşmama durumunda ise $67,500 \text{ m}^3$ ($50,000-75,000 \text{ m}^3$ arası) eta hedefine ulaşmaya çalışmaktadır. Böylece en uygun eta hedefini yakalamaya çalışmaktadır. Bu şekli ile birlikte ETÇAPSimülasyon yöntemi,

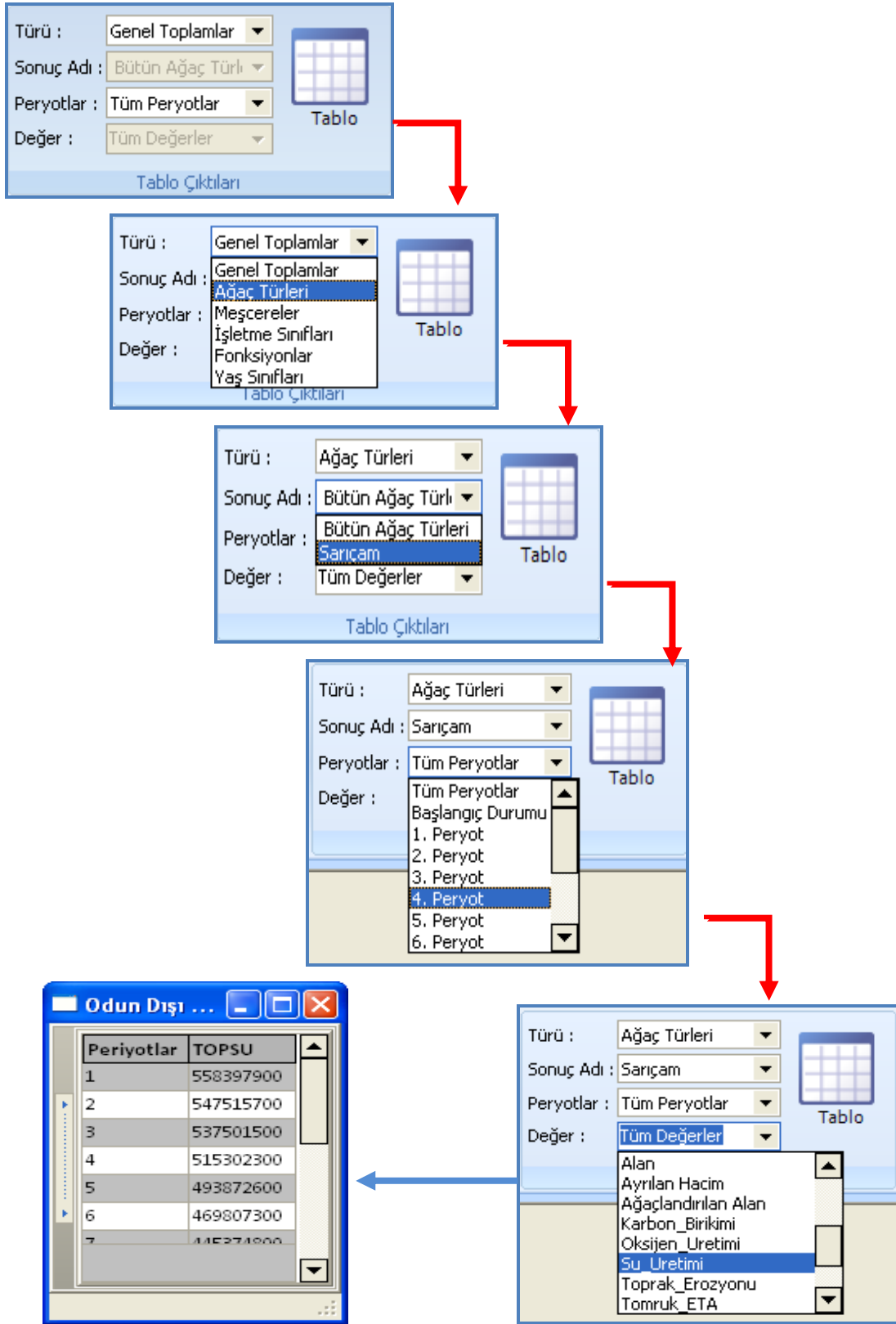
Soykan (1979) tarafından geliştirilen simülasyon modellerinden farklılık göstermektedir. SESİMOD modeli, kullanıcı tarafından her bir periyot için belirlenen alan veya eta hedeflerine ulaşmaya çalışmaktadır. KASİMOD modeli, kullanıcı tanımlı hedeflere ulaşırken, bir sonraki periyottaki alan veya eta değerini bir önceki periyottaki hedef değerini belirli miktarda kademeli olarak artırmak suretiyle belirlemekte ve sonuçta her bir periyot için alan ve etaları tahmin etmektedir. GRASİMOD modeli ise, aktüel ve optimal kuruluşu bilinen bir orman ekosisteminde, öncelikle minimum ve maksimum eta hedeflerini belirlemektedir. Daha sonra, ilk periyotta minimum hedefe ulaşıldıktan sonra, izleyen periyotlardaki eta değerlerini, maksimum değere ulaşacak şekilde artırmakta ve o periyot için eta miktarlarını tahmin etmektedir.

3.1.4. Sonuçlar (Çıktılar)

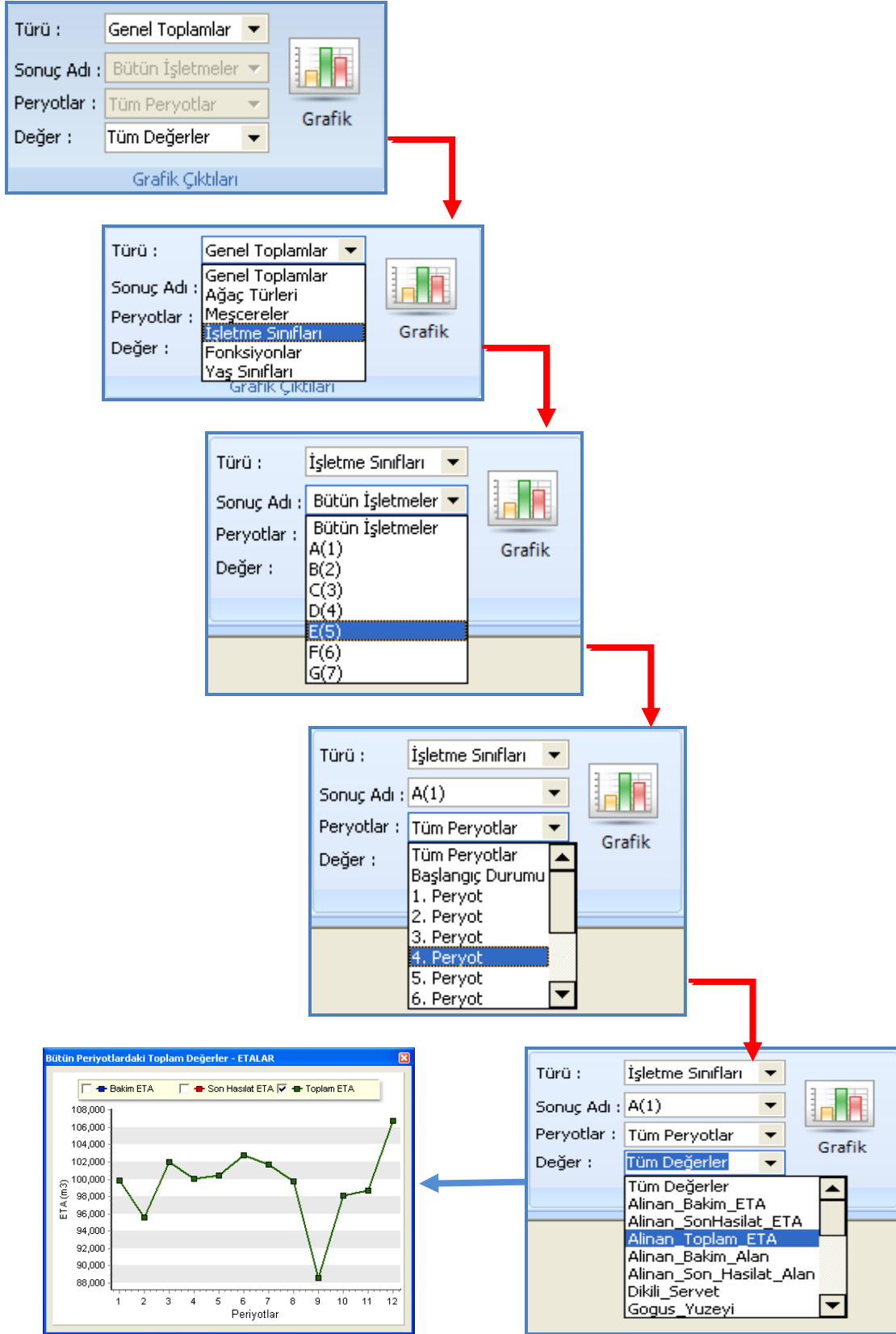
ETÇAPSimülasyon modeline ilişkin her türlü veri ve bilgilerin ilgili tablolara girilmesi ve simülasyon ayarlarının belirlenmesinden sonra simülasyon modeli koşturulur ve ilgili senaryoya ait her türlü çıktılar ETÇAPSimülasyon modelinin “Sonuçlar” sekmesinden izlenebilir (Şekil 71). Şekilden görüleceği üzere, simülasyon sonuçları bölmecik çıktıları, tablolar ve grafikler olarak üç ana bölüme ayrılmıştır.

Şekil 71. Simülasyon sonuçları ana ekranı

ETÇAPSimülasyon modelinde, herhangi bir simülasyon senaryosu koşturulduktan sonra, elde edilen sonuçları (ağaç serveti, artımı, göğüs yüzeyi, su üretimi, karbon birikimi) zamana bağlı olarak, planlama birimi, işletme sınıfı, orman fonksiyonu, yaş sınıfı, meşcere ve hatta bölmeçik düzeyinde görmek mümkündür (Şekil 72 ve 73).



Şekil 72. Simülasyon çıktılarının tablo formatında gösterilme detay aşamaları



Şekil 73. Simülasyon çıktılarının grafik formatında gösterilme aşamaları

3.1.5. ETÇAP Simülasyon Modelinin Örnek Planlama Biriminde Uygulanması

Simülasyon tabanlı bir orman amenajman planlama modelinde, model için gerekli olan ve daha önce ayrıntıları açıklanan her türlü veri tablolarının simülasyon modeline öncelikle dahil edilmesi gereklidir. Bunlar hasılat tablosu, odun ürün çeşitleri tablosu, karbon birikimi tablosu, silvikültürel müdahaleler ve sınırlar tablosu, ekonomik veriler tablosu, aktüel orman verilerinin yer aldığı bölmecik listesi gibi veri tabanlarından oluşmaktadır. Bu verilere ek olarak, simülasyon modelinin zaman ayarları, kurallar ve hedeflerinde yapılacak değişikliklerle birlikte çok sayıda orman amenajmanı planlama senaryoları geliştirilebilmektedir. Bu senaryolara bağlı olarak, karar verici orman ekosisteminin dinamik yapısını izleyebilmekte ve en iyi kararlara bu senaryoları değerlendirmek suretiyle erişebilmektedir.

Bu çalışma kapsamında ETÇAP Simülasyon modelinin yapılan çalışmalar bölümünde özellikleri verilen Yalnızçam planlama biriminde test edilmesi amacıyla çok sayıda alternatif senaryo geliştirilmiştir. Ancak burada örnek olması açısından bir senaryo ve bu senaryonun çıktıları grafik ve tablolar şeklinde sunulmuştur. Simülasyon senaryosunun temel özellikleri aşağıda verilmiştir:

- Yalnızçam planlama birimine ait bölmecik tablosu (aktüel orman verileri) kullanılmıştır.
- Sarıçam ağaç türü için geliştirilmiş hasılat tablosu kullanılmıştır.
- Simülasyon senaryosunun basit ve sade olması için silvikültürel müdahaleler sadece işletme sınıfı bazında verilmiştir. Sarıçam odun üretimi, ekosistem iyileştirme, yüksek dağ orman ekosistemi ve estetik/rekreasyon işletme sınıfları için minimum ve maksimum kesim yaşları sırasıyla 120 ve 180 olarak belirlenmiştir. 30, 50, 70 ve 90 yaşlarında girilmek üzere dikili servetin %5'i bakım etası öngörülmüştür. Biyoçeşitlilik koruma, koruma (su, toprak vs) ve sosyal baskılı alanları koruma işletme sınıfları için minimum ve maksimum kesim yaşları sırasıyla 180 ve 250 yıl olarak öngörülmüştür. 40, 60, 80, 100 ve 120 yaşlarında dikili servetin %5'i olacak şekilde bakım etası kararlaştırılmıştır.
- 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.

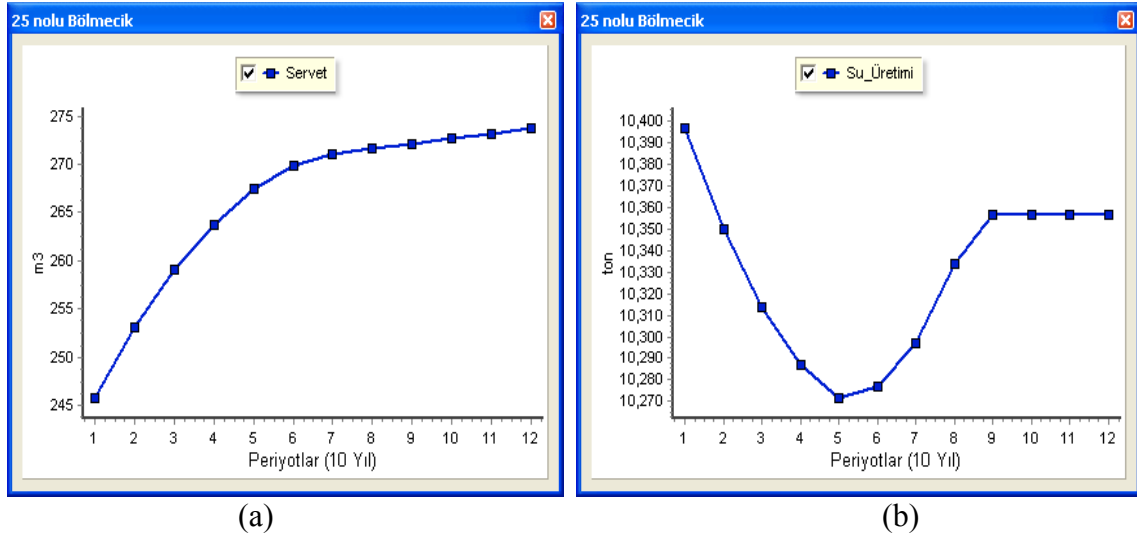
- Ekonomik verilerin hesaplanmasında ihtiyaç duyulan gelir ve giderler (üretim, tevzi, satış, tarife bedeli) için daha önce ilgili planlama biriminde Mumcu (2007) tarafından kullanılan veriler kullanılmıştır. Sarıçam için birim ağaçlandırma gideri hektarda 1,000 YTL olarak belirlenmiştir. İskonto oranı 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, simülasyon süresi 120 yıl alınmıştır
- Gençleştirme ve bakım kesim kuralı olarak “en yaşlı meşcerelerin kesilmesi” kararlaştırılmıştır.
- Belirli bir hedef sapma değeri altında her periyotta 100,000 m³ toplam eta hedefi belirlenmiştir.
- Her periyotta 100 hektarlık OT ağaçlandırılması öngörülmüştür.
- 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.

Tüm özellikleri yukarıda verilen simülasyon senaryosunun sonuçlarını (çıktıları) grafik ve tablo formatlarında açıklamak mümkündür. Simülasyon sonuçları bölümünde açıklandığı üzere, herhangi bir simülasyon senaryosunun çıktılarını hem bölmecik bazında, hem de işletme sınıfı, ağaç türü, orman fonksiyonu, meşcere, yaş sınıfı veya planlama birimine düzeyinde grafik ve tablo formatlarında görebiliriz. Örneğin, burada belirtilen simülasyon senaryosunun çözümüne göre 120 yıllık simülasyon süresince 25 numaralı bölmeçiğe ait birim hektardaki istenilen her türlü çıktılarını (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 formatında Şekil 74’de görebiliriz. Burada sonuçlar ekranının sol tarafında yer alan “Tablo Başlıkları” komutu ile birlikte açılan “Sütun Başlıkları” tablosu ile birlikte kullanıcı istediği çıktıları sonuçlar tablosunda görebilir istemediklerini kaldırabilir. Diğer taraftan kullanıcı sonuçları başka bir ortama kaydedebilir (Dosyaya Kaydet komutu aracılığıyla) ve daha sonra bu

sonuçları değerlendirebilir. Bu ise ETÇAPSimülasyon modelinin sunmuş olduğu önemli özelliklerden bir tanesidir. Bununla birlikte tabloda yer alan ve yukarıda ifade edilen her türlü çıktıyı yine grafik formatında görebiliriz. Örneğin Şekil 75’de 25 numaralı bölmeçiğin simülasyon süresi boyunca her bir periyottaki dikili servet ve su üretim miktarları gösterilmiştir.

Periyot	Bolmecik	Servet	Artim	Gogus_Yuz	Su Üretimi	Toprak	Net_Karbon	Net_Oksijen	NBD
0	25	236.84	2.34	15.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	25	245.75	2.28	15.23	51972.01	19.55	31.70	84.52	0.00
2	25	253.12	2.11	15.44	51843.99	19.46	26.21	69.89	0.00
3	25	259.04	1.85	15.59	51747.58	19.40	21.04	56.11	0.00
4	25	263.79	1.48	15.70	51674.87	19.35	16.88	45.01	0.00
5	25	267.43				19.32	12.97	34.58	0.00
6	25	269.87				19.33	8.65	23.07	0.00
7	25	271.06				19.37	4.26	11.36	0.00
8	25	271.61				19.44	1.94	5.17	0.00
9	25	272.15				19.48	1.94	5.17	0.00
10	25	272.69				19.48	1.90	5.07	0.00
11	25	273.22				19.48	1.90	5.07	0.00
12	25	273.76				19.48	1.90	5.07	0.00

Şekil 74. 25 numaralı bölmeçiğe ait simülasyon sonuçları ekranı



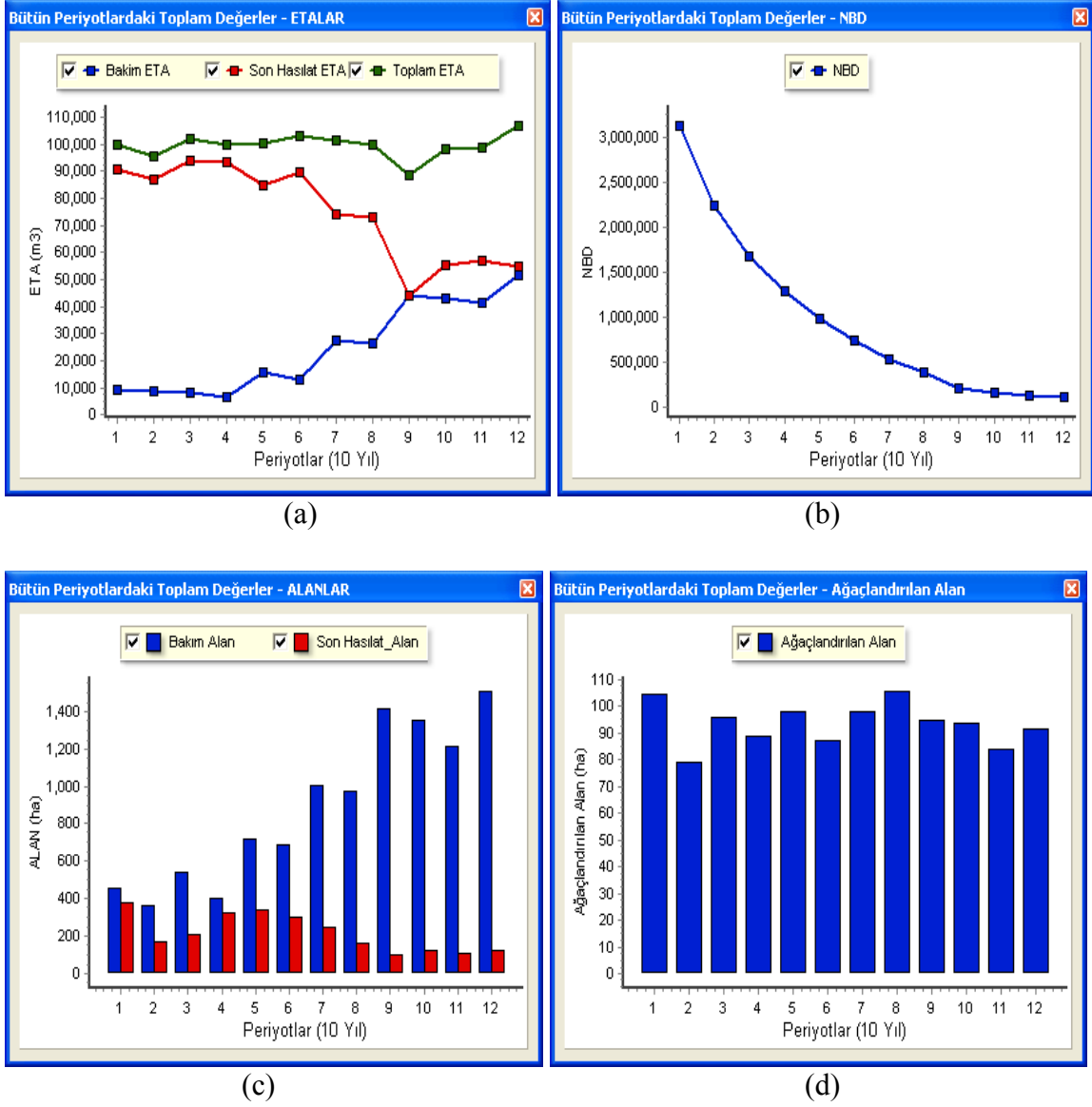
Şekil 75. 25 numaralı bölmeceğin 120 yıllık süreçteki a) servet ve b) su üretimi

Daha önce ifade ettiğimiz gibi her türlü çıktıyı istenilen analiz alanı düzeyinde ve tablo veya grafik formatında görmek ETÇAPSimülasyon modelinde mümkündür. Buradan hareketle Şekil 76’da planlama senaryosunun çözümü ile birlikte, 12 periyot boyunca ağaç türü bazında (sarıçam) elde edilen her türlü toplu çıktılar görülmektedir. Bu tabloda sarıçam ağaç türünden 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. Benzer şekilde her türlü çıktıyı planlama birimi düzeyinde, işletme sınıfı düzeyinde, meşcere, orman fonksiyonu veya yaş sınıfı düzeyinde topluca veya tek tek tablo formatında görmek yine simülasyon modelinin sunmuş olduğu çok büyük avantajdır. Yine tablo formatında sonuçlar elde edilirken kullanıcı “Tablo Başlıkları” komutu ile birlikte açılan “Sütun Başlıkları” tablosundan istediği sonuçları gösterme veya göstermeme esnekliğine sahiptir. Kullanıcı bu sonuçları istediği takdirde “Dosyaya Kaydet” komutu ile birlikte istediği yere kaydedebilmektedir.

Değerler	0. Periyot	1. Periyot	2. Periyot	3. Periyot	4. Periyot	5. Periyot	6. Periyot
BakımETA	0.0000	9056.8288	8788.3436	8382.6989	6621.7969	15800.7179	13255.4984
SON Hasılat ETA	0.0000	90828.7598	86782.5264	93661.2940	93395.4524	84647.3951	89540.7478
Toplam ETA	0.0000	99885.5886	95570.8700	102043.9920	100017.2490	100448.1130	102796.2460
Bakım Alan	0.0000	458.2516	361.3812	538.3522	405.4186	718.4205	684.6720
Son Hasılat Alan	0.0000	379.8808	166.8642	207.9521	323.3285	338.8223	302.9665
Dikili Servet	1641265.40	1712180.64	1743983.01	1779378.72	1894543.87	2026018.05	2203038.29
Göğüs Yüzeği	6345.0000	7412.5100	7749.6468	8518.7893	10580.5159	13005.8356	15625.6127
Ağaç Sayısı	145670.0000	1109294.00	1542506.00	1657438.00	2351265.00	3389720.00	4234521.00
Alan	39121.3614	39121.3614	39121.3614	39121.3614	39121.3614	39121.3614	39121.3614
Ayrılan Hacim	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Ağaçlandırılan Al	0.0000	104.3948	79.1280	95.7247	88.6572	98.0053	87.0288
NET Karbon Biriki	0.0000	36472.3913	15487.4290	15673.5929	40016.9914	44674.0600	60095.5177
NET Oksijen Üreti	0.0000	97259.7113	41299.8112	41796.2483	106711.9780	119130.8280	160254.7150
Su Üretimi	0.0000	73977216.70	73764146.20	73278048.10	71975036.90	70442234.80	68786535.80
Toprak Erozyonu	0.0000	30178.3847	30032.4820	29699.6202	28807.3668	27757.7612	26624.0002
Tomruk ETA	0.0000	58552.7224	56414.3656	51624.2408	57402.3481	60656.4965	60425.1273
Maden Direği ET	0.0000	15904.3539	14980.7893	19220.4270	16213.6931	14874.1997	15963.9812
Yakacak Odun ET	0.0000	11573.6396	11030.5793	14591.2339	12314.4808	11939.8124	12542.3615
Sanayi Odunu ET	0.0000	13824.5446	13101.5634	16479.1386	14122.3111	13090.0820	13958.3626
NBD	0.0000	3124987.06	2242731.64	1674307.49	1281989.64	972210.5820	735876.7620

Şekil 76. Ağaç türü düzeyinde simülasyon sonuçları

İlgili planlama senaryosundan, orman ekosistemi bazında simülasyon süresi boyunca her periyot için toplam etada hedeflenen $100,000 \text{ m}^3$ eta belirli bir sapma ile birlikte gerçekleşmiştir (Şekil 77a). Toplamda yaklaşık $1,183,958 \text{ m}^3$ eta elde edilirken bu etanın $897,748 \text{ m}^3$ son hasılat etası ve $286,211 \text{ m}^3$ ise bakım etası olarak gerçekleşmiştir. Etalara ilişkin grafik üzerinde kullanıcı istenilen zaman için istenilen eta türünü görebilmektedir. Planlama biriminin 2007-2026 tarihli orman amenajman planı incelendiğinde, 20 yıllık süreç içerisinde planlama biriminden yıllık $6,385 \text{ m}^3$ son hasılat ve $2,417 \text{ m}^3$ ara hasılat olmak üzere toplamda $177,640 \text{ m}^3$ toplam eta alınması öngörülmüştür (Anonim, 2007). Simülasyon modeli sonuçları değerlendirildiğinde ise ilk periyotta $99,885 \text{ m}^3$ ($90,828 \text{ m}^3$ son hasılat, $9,056 \text{ m}^3$ ara hasılat) ikinci periyotta ise $95,570 \text{ m}^3$ ($86,792 \text{ m}^3$ son hasılat, $8,788 \text{ m}^3$ ara hasılat) eta olmak üzere, 20 yıllık periyotta $195,455 \text{ m}^3$ toplam eta üretimi tahmin edilmiştir. Sonuçta simülasyon modeli $17,815 \text{ m}^3$ daha fazla eta ortaya çıkarmıştır. Simülasyon senaryosu sonuçlarına göre, odun üretiminden elde edilen NBD değişimi ise beklenildiği gibi giderek artan bir eğilim izlemiştir (Şekil 77b).



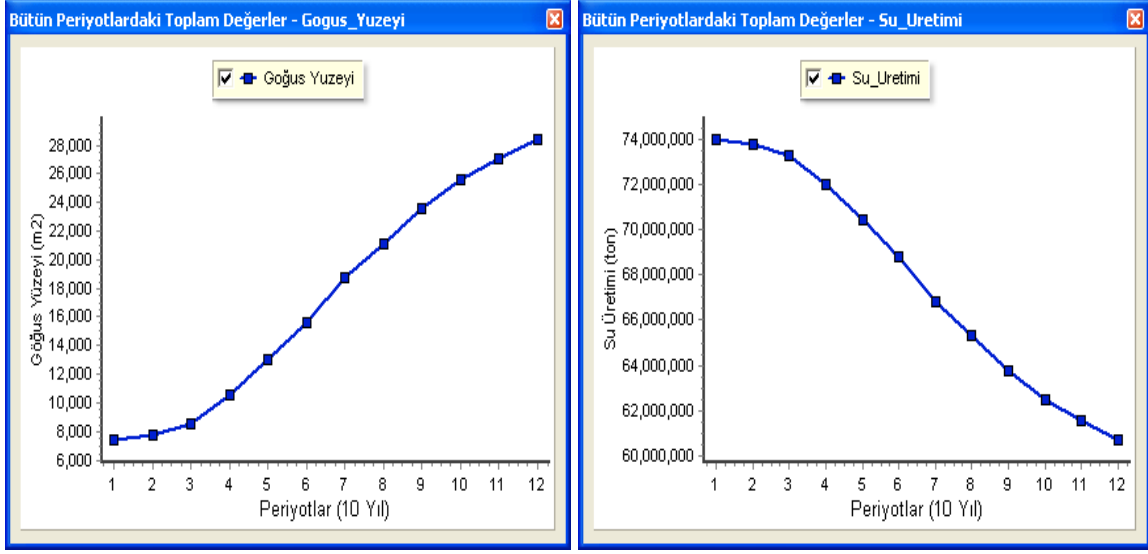
Şekil 77. Planlama birimi düzeyinde gerçekleşen a) eta miktarları b) NBD miktarları c) gençleştirme ve bakım alanları d) ağaçlandırma alanları

Diğer taraftan her bir periyotta meydana gelen gençleştirme (son hasılat) ve bakım alan miktarı incelendiğinde, bakım alanlarının gittikçe arttığı gözlenmektedir (Şekil 77c). İlk 20 yıllık periyotta simülasyon senaryosu sonuçlarına göre toplam 545 ha alan gençleştirilirken, 819 ha alan bakıma alınmıştır. Planlama biriminin 2007-2026 tarihli amenajman planında ise 20 yıllık planlama periyodu içerisinde öngörülen toplam gençleştirme alanı 666 hektardır (Anonim, 2007). Simülasyon senaryosunda hedeflenen 100 hektarlık ağaçlandırma hedefi ise neredeyse gerçekleşmiş bulunmaktadır (Şekil 77d).

Simülasyon modeli bölmecik bazında çalıştığından ve uygulamada (gerçek koşullarda) her bölmeciğin farklı miktarda alanları olmasından dolayı, hem eta hem de alan (ağaçlandırma veya gençleştirme) hedeflerinin mutlak elde edilmesi mümkün olmamaktadır. Örneğin bir bölmeciğin alanı 10 hektar olabilirken bir başka bölmeciğin alanı 60 hektar olabilmekte ve yine herhangi bir OT bölmeciği bazen 700-800 hektar büyüklüğünde olabilmektedir. Dolayısıyla meşcere alan farklılıkları nedeniyle hedeflere mutlak surette ulaşılması simülasyon modellerinde (raster tabanlı ve hipotetik orman örnekleri hariç) çoğunlukla söz konusu değildir. Ancak daha sonra, bölmeciklerin parçalanmasının mümkün olduğu doğrusal programlama tabanlı optimizasyon modeli üzerinde görüleceği gibi, kullanıcı tarafından hedeflenen değerlere tam olarak ulaşmak mümkün olabilecektir.

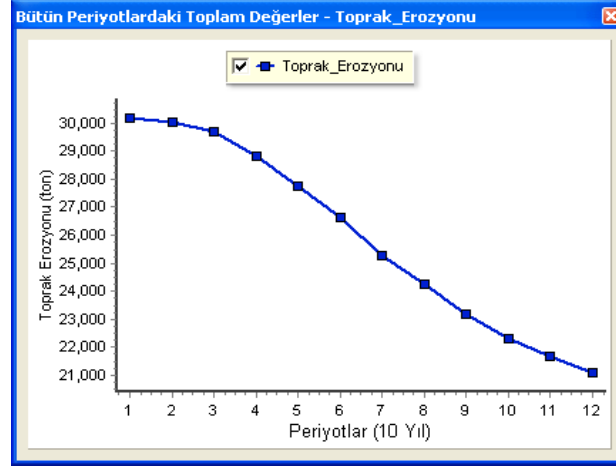
Planlama senaryosu çözüm sonuçlarına göre, planlama biriminin zamana bağlı olarak göğüs yüzeyi gelişimi giderek artan bir eğilim göstermektedir (Şekil 78a). Meşcerelerin göğüs yüzeyi ile doğrudan bağlantılı olan su üretimi ve toprak erozyonu miktarları ise, artan göğüs yüzeyinin aksine giderek azalan bir eğilim göstermektedir (Şekil 78b, 78c). Bu ise modelin belirlenen kanuniyetlere göre doğru çalıştığını bir anlamda göstermektedir. Çünkü yapılan çalışmalar bölümünde ayrıntılı olarak açıklandığı üzere, meşcerelerin göğüs yüzeyinin artması ile birlikte artan buharlaşmaya bağlı olarak su üretimi azalmakta, toprağın koruma potansiyelinin (kök ve gövde gelişimi ile birlikte toprağı tutma gücü) artması ilse toprak erozyonu miktarları azalmaktadır. Benzer sonuçlar Keleş vd. (2007), Başkent vd. (2008) ve Başkent ve Keleş (2008) çalışmalarında görülmektedir. Planlama senaryosunun 120 yıllık simülasyon boyunca üretilen su üretimi miktarı 812,952,117 ton olurken, toplam toprak erozyonu miktarı ise 310,933 ton olarak gerçekleşmiştir.

Planlama senaryosunun çözümü sonucu meydana gelen karbon birikimi ve oksijen üretimi zamana bağlı olarak ikinci periyottan sonra genellikle artan bir seyir işlemiştir (Şekil 79a ve 79b). İlk periyottan ikinci periyoda geçişte net karbon birikiminin azalmasının nedeni, ilk periyotta meydana gelen hacim artımının düşük olması ve yine o periyotta elde edilen etadan kaynaklanan karbon emisyonudur. İlerleyen periyotlarda karbon birikimi ve oksijen üretiminin artması ise, gençleştirilen alanlarının optimal olarak gelişmesi ve her bir periyotta gerçekleştirilen ağaçlandırma alanlarının toplam serveti (Şekil 79c) sürekli olarak artırmasından kaynaklanmıştır (Keleş vd., 2007; Başkent vd., 2008; Başkent ve Keleş, 2008). Planlama senaryosunun çözümü neticesinde, toplamda 1,877,093 ton oksijen üretimi gerçekleşirken, 703,910 ton karbon birikmiştir.



(a)

(b)

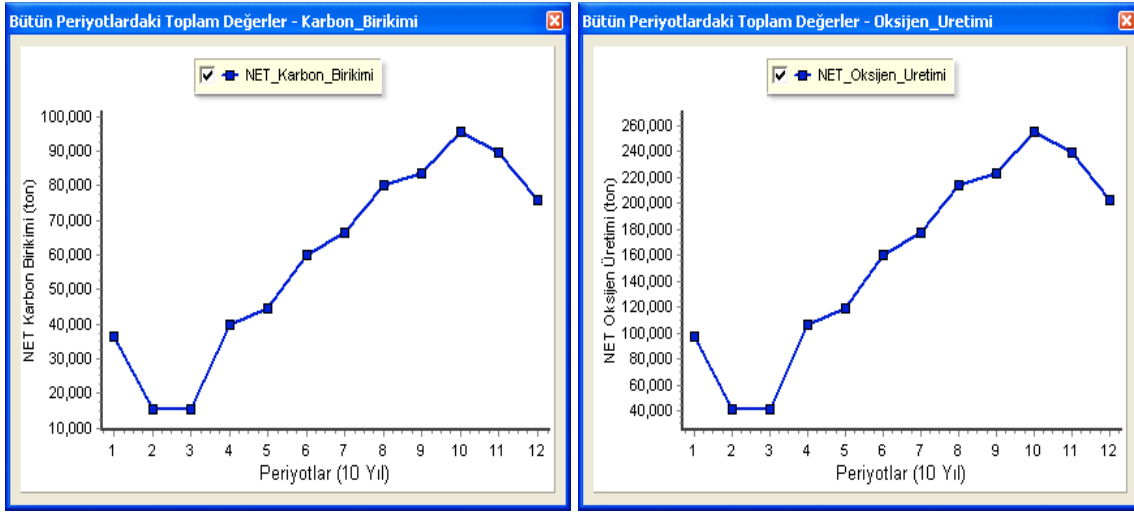


(c)

Şekil 78. Planlama birimi düzeyinde gerçekleşen a) göğüs yüzeyi b) su üretimi c) toprak erozyonu miktarları

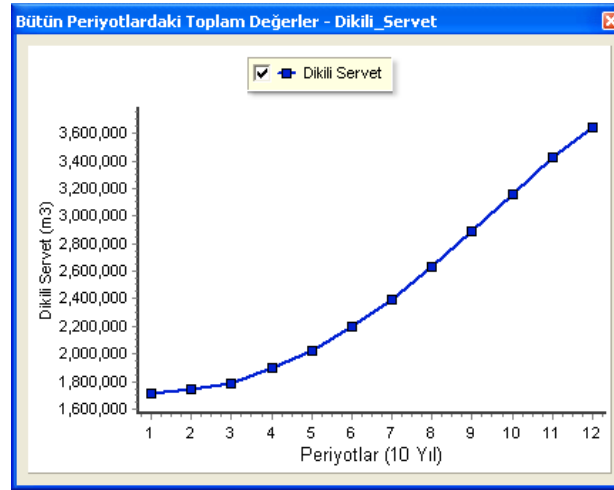
ETÇAPSimülasyon modelinde, planlama senaryosunun çözümü sonucu orman ekosisteminin her bir periyottaki yaş sınıfı dağılımını izlemek mümkündür (Şekil 80). Burada örnek olarak verilen planlama senaryosunda, planlama biriminin belirli periyotlardaki yaş sınıfları dağılımı incelendiğinde, planlama yörüngesi sonunda eşit yaş sınıfı dağılımının olmadığı görülecektir. Bu ise planlama senaryosunda eşit optimal periyodik alan (OPA) kısıtı yerine yaklaşık eşit eta kontrolü politikasının tercih edilmesinden kaynaklanmıştır. Diğer taraftan planlama birimi düzeyinde eşit OPA elde edilmesi, her bir işletme sınıfı için farklı idare sürelerinin kullanılmasından dolayı mümkün olmayacaktır. Ancak işletme sınıfı düzeyinde (örneğin üretim işletme sınıflarında),

istenildiği zaman eşit yaş sınıfları dağılımını elde etmek mümkündür. Diğer bir ifadeyle, farklı meşcerelere farklı idare sürelerinin kullanılması veya bazı meşcerelerin korumaya alınarak, uzun süreli olarak yaşlanmasına izin verilmesi nedeniyle, eşit OPA koşulunun planlama birimi düzeyinde sağlanması zordur. Ayrıca, planlama senaryoları geliştirilirken, daha önce bahsedildiği gibi hem eşit eta hem de eşit alan kısıtlarının herhangi bir modelde (özellikle optimizasyon modellerinde) aynı anda gerçekleştirilmesi çoğunlukla mümkün olmamaktadır.



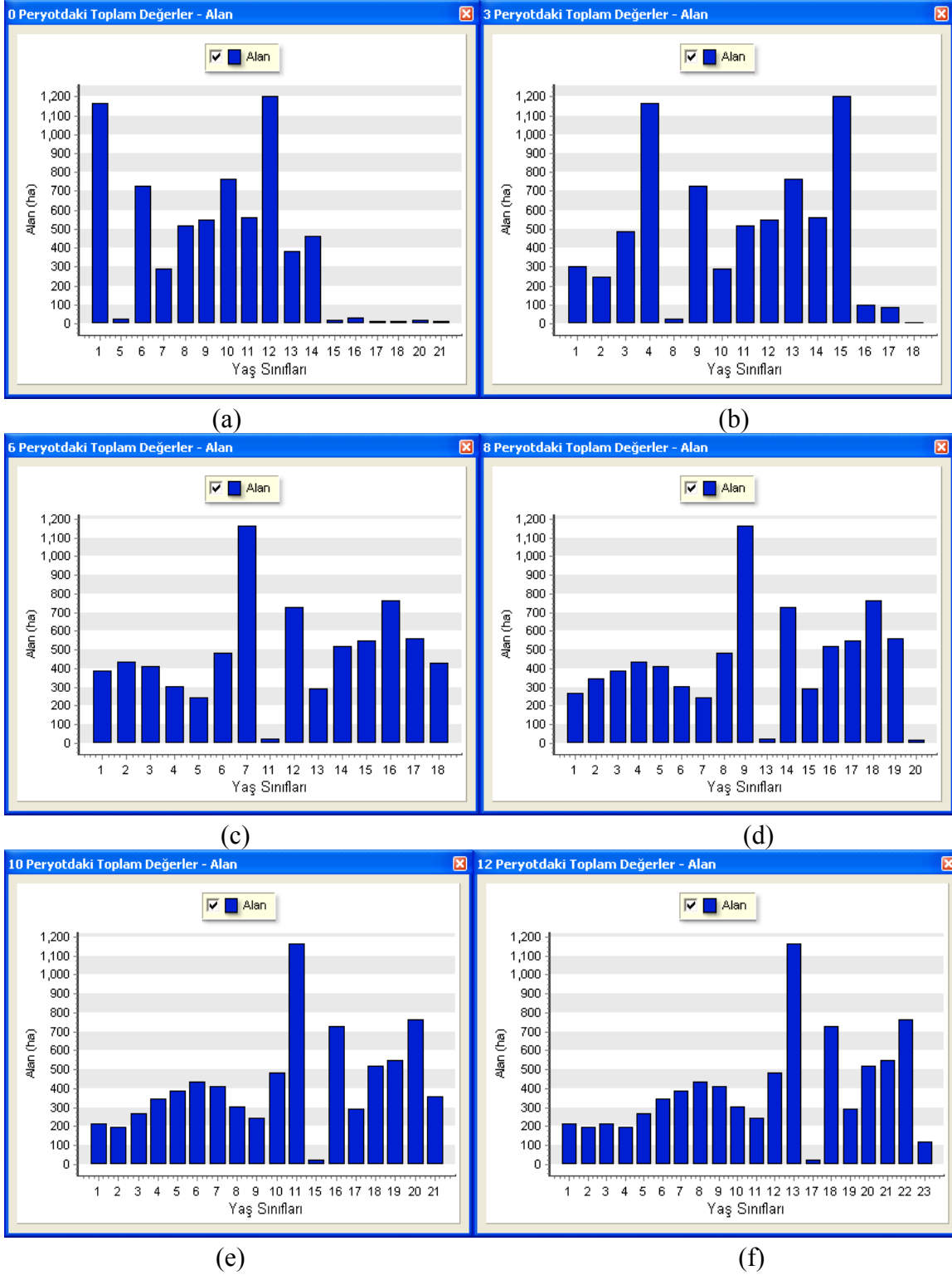
(a)

(b)



(c)

Şekil 79. Planlama biriminin zamana bağlı a) karbon birikimi b) oksijen üretimi c) dikili servet değişimi

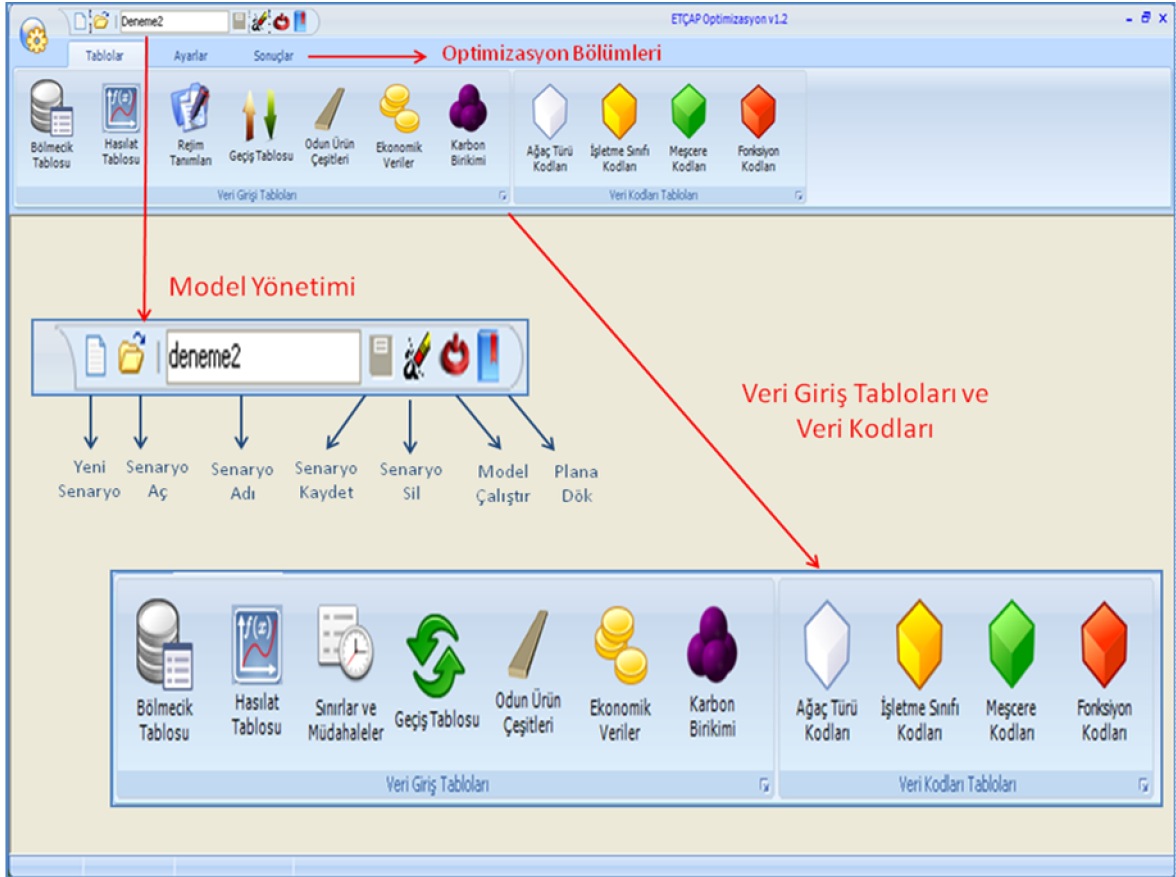


Şekil 80. Orman ekosisteminin a) başlangıç durumundaki b) 30 yıl sonraki c) 60 yıl sonraki d) 80 yıl sonraki e) 100 yıl sonraki f) planlama süresi sonundaki yaş sınıfları dağılımı

3.2. Doğrusal Programlama Tabanlı Orman Planlama Modeli (ETÇAPOptimizasyon)

KDS ana penceresinden optimizasyon modeli seçildiği zaman ETÇAPOptimizasyon modeli başlangıç durumu penceresi açılacaktır (Şekil 81). ETÇAPOptimizasyon modelinin başlangıç durum penceresi incelendiği zaman optimizasyon modelinin ETÇAPSimülasyon modelinde olduğu gibi;

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



Şekil 81. ETÇAPOptimizasyon modeli başlangıç penceresi

Doğrusal programlama tabanlı modeller de, yine simülasyon modellerinde olduğu gibi genellikle bir takım amaç veya kısıtlayıcı özellikleri içeren farklı senaryolardan meydana gelmektedir. Bu nedenle herhangi bir optimizasyon modeli açıldığında zaman

öncelikle bir senaryo oluşturulması gerekmektedir. Modelin sol üst köşesinde çoğu Windows programlarında olduğu gibi birkaç tane kısayol tuşlarının olduğu görülecektir (Şekil 81). Bu kısayollar, optimizasyon modelinde yeni bir optimizasyon senaryosunun hazırlanması, varolan bir optimizasyon senaryosunun açılması veya herhangi bir optimizasyon senaryosunun silinmesi ve senaryolar üzerinde yapılan değişikliklerin kaydedilmesi işlemlerini gerçekleştirmekte olup “model/senaryo yönetimi” olarak adlandırılmaktadır.

3.2.1. Tablolar

Tablolar sekmesi, orman amenajmanı optimizasyon modelinin ihtiyaç duyacağı veri ve bilgi tablolarını içermektedir. Bu tablolar, aktüel orman verilerinin tutulduğu bölmeçik tablosu, optimal verilerin tutulduğu hasılat tabloları, meşcerelere yapılan müdahaleler sonucu ağaç türünde veya bonitette meydana gelecek değişikliklerin belirlendiği geçiş tablosu, odun ürün miktarlarını hesaplamak için kullanılacak odun ürünü çeşitleri tablosu, odun üretimine yönelik ekonomik verilerin kaynağı olan ekonomik veri tablosu, karbon birikimi hesabının gerçekleştirilmesi için gerekli karbon birikimi tablosundan oluşmaktadır. Rejim Tanımları tablosu dışında kalan diğer tüm tablolar ve Kodlar hakkında detaylı bilgiler ETÇAPSimülasyon modelinde verildiği için burada tekrar açıklanması gereği duyulmamıştır. ETÇAPOptimizasyon modelinde ETÇAPSimülasyon modeline göre biraz fark gösteren Rejim Tanımları tablosu ise aşağıda açıklanmıştır.

3.2.1.1. Silvikültürel Rejim Tanımları

Rejim tanımları tablosunda, kullanıcı planlamak istediği orman planlama biriminde yer alan meşcereler için silvikültürel müdahale seçeneklerini (müdahale reçetesini) belirlemektedir (Şekil 82). Her bir silvikültürel rejim, minimum ve maksimum kesim yaşları, kullanıcı tanımlı bakım yaşları ile belirlenen bakım yaşları için yine kullanıcı tarafından tanımlanan bakım oranlarından oluşmaktadır. Bakım oranları, meşcerelerin serveti veya göğüs yüzeyine göre bakım yüzdesi olarak alınmaktadır. Her bir silvikültürel rejimin aynı zamanda bir adı ve kodu bulunmaktadır. Daha sonra bu rejimler, kullanıcı tarafından orman ekosistemini oluşturan analiz alanlarına tahsis edilecektir.

Rejim Şablonları

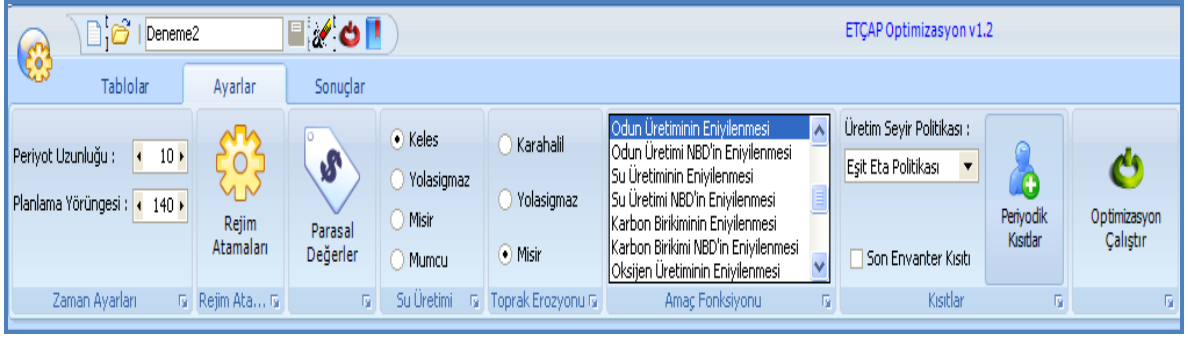
REJİM ID	REJİM ADI	YAŞ ARALIĞI	MİN KESİM YAŞI	MAK KESİM YAŞI
1	Mudahale 1	10	120	180
	BAKIM YAŞI	BAKIM MİKTARI (Servet-%)	BAKIM MİKTARI (Göğüs Yüzeği-%)	
	30	5		
	50	5		
	70	5		
	90	5		
2	Mudahale 2	10	180	250
	BAKIM YAŞI	BAKIM MİKTARI (Servet-%)	BAKIM MİKTARI (Göğüs Yüzeği-%)	
	40	5		
	60	5		
	80	5		
	100	5		
	120	5		

KAPAT

Şekil 82. Silvikültürel rejim tanımlamaları ekranı

3.2.2. Optimizasyon Ayarları

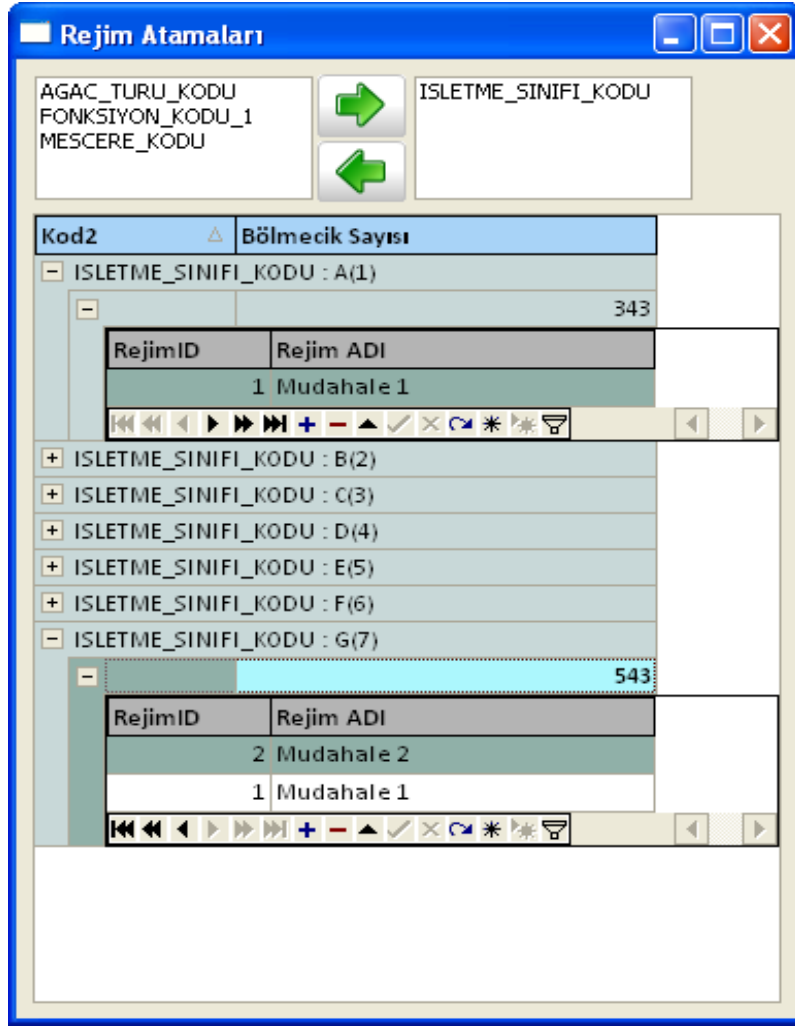
Optimizasyon ayarlarının (doğrusal programlama temel parametrelerinin belirlenmesi) yapıldığı bölümü oluşturmaktadır (Şekil 83). Bir optimizasyon senaryosunun oluşturulması ve modelin oluşturulabilmesi için, periyot uzunluğu ve planlama süresi uzunluğunun belirlenmesi, daha önce kararlaştırılan silvikültürel müdahale rejimlerinin analiz alanlarına tahsis edilmesi, odun dışı orman fonksiyonlarına ait birim parasal değerlerin belirlenmesi, yardımcı modellerin seçilmesi ve son olarak amaç fonksiyonu ve kısıtlayıcı koşulların düzenlenmesi gereklidir.



Şekil 83. Optimizasyon ayarları başlangıç penceresi

3.2.2.1. Silvikültürel Rejim Atamaları

Rejim atamaları penceresinde, daha önce rejim tanımları penceresinde kullanıcı tarafından belirlenen silvikültürel rejimler orman ekosistemini oluşturan analiz alanlarına atanmaktadır. Burada her bir analiz alanı için kullanıcı tarafından bir veya birden fazla silvikültürel müdahale reçetesi tahsis edilmektedir. Herhangi bir rejim ataması yapılmayan meşcereler ise doğal seyrine bırakılmış olarak varsayılır ve normal büyüme seyrine devam eder. Şekil 84’de, orman ekosistemini oluşturan işletme sınıflarına, kullanıcı tarafından tanımlanmış silvikültürel rejimlerin tahsisinin yapıldığı örneğe ilişkin pencere görülmektedir. Burada kullanıcı öncelikle analiz alanı olarak, sadece işletme sınıfını seçmiştir. Bunu takiben, model tarafından otomatik olarak işletme sınıfları kod ve adları ile birlikte, her bir işletme sınıfına atanmak üzere “açılır liste” şeklinde silvikültürel müdahale rejimleri ekrana gelmektedir. Kullanıcı istediği işletme sınıfına, daha önce tanımlanmış olduğu silvikültürel müdahale rejimlerinden istediklerini burada seçmektedir. Örneğin Şekil 84’de kullanıcı *A* işletme sınıfına “Müdahale 1” adlı, *G* işletme sınıfına ise “Müdahale 1” ve “Müdahale 2” rejimlerini tahsis etmiştir. Bununla birlikte, bu pencerede her bir analiz alanına (örneğin işletme sınıfı) giren bölmecik sayısını aynı zamanda görmek mümkündür (örneğin *A* işletme sınıfında 343 bölmecik bulunmaktadır). Silvikültürel rejimlerin bölmeciklere tahsisi, optimizasyon modellerinde aynı zamanda alternatif karar değişkenlerinin oluşturulmasında çok önemlidir.



Şekil 84. Silvikültürel rejimlerin tahsis edilmesi ekranı

3.2.2.2. Odun Dışı Orman Fonksiyonları Parasal Değerler Tablosu

Daha önce açıklandığı gibi, ETÇAPSimülasyon modelinde sadece odun üretimi ekonomik olarak modele yansıtılmıştır. Fakat ETÇAPOptimizasyon modelinde odun üretimi yanında diğer orman fonksiyonları (su üretimi, toprak koruma, karbon birikimi ve oksijen üretimi) için daha önceden hesaplanmış (nasıl hesaplanabileceği yapılan çalışmalar bölümünde özetle açıklanmıştır) birim ekonomik değerlerin modele girilmesi suretiyle bu orman fonksiyonları için de NBD'ler hesaplanabilmektedir. Optimizasyon ayarları sekmesinde “Parasal Değerler” düğmesi ile ekrana getirilen “Orman Fonksiyonları Ekonomik Değerleri” tablosu yardımıyla diğer orman fonksiyonları için birim ekonomik değerler girilmektedir (Şekil 85). Ayrıca bu tabloda yer alan ıskonto oranının girilmesi ile her bir fonksiyon için NBD'ler zamana bağlı olarak tahmin edilmektedir. Ekonomik değerler birim üretim başına (örneğin ton, m³) girilmektedir. Kullanıcı bu tabloya istediği

ülkenin para birimini girebilmektedir. Ancak her bir fonksiyon için ortak bir para biriminin belirlenmesi sonuçların yorumlanması açısından önemlidir. Yine kullanıcı girdiği para birimine göre sonuçları elde edeceğini unutmamalıdır.

Şekil 85. Orman fonksiyonları ekonomik değerler veri giriş ekranı

3.2.2.3. Yardımcı Modellerin Seçilmesi

ETÇAPOptimizasyon modelinde, ETÇAPSimülasyon modelinde olduğu gibi üç farklı su üretimi ve toprak erozyonu modeli bulunmaktadır (Şekil 86). Kullanıcı planlama probleminin çözümünde, su üretimi veya toprak erozyonu miktarlarını hesaplamak istiyorsa, bu modellerden herhangi birini seçebilmektedir. Kullanıcı herhangi bir model seçmediği zaman ETÇAPOptimizasyon modeli varsayılan su üretim veya toprak erozyonu modeline göre bu fonksiyonların miktarlarını tahmin etmektedir.

Şekil 86. Yardımcı modellerin seçilmesi ekranı

3.2.2.4. Amaç Fonksiyonun Seçilmesi

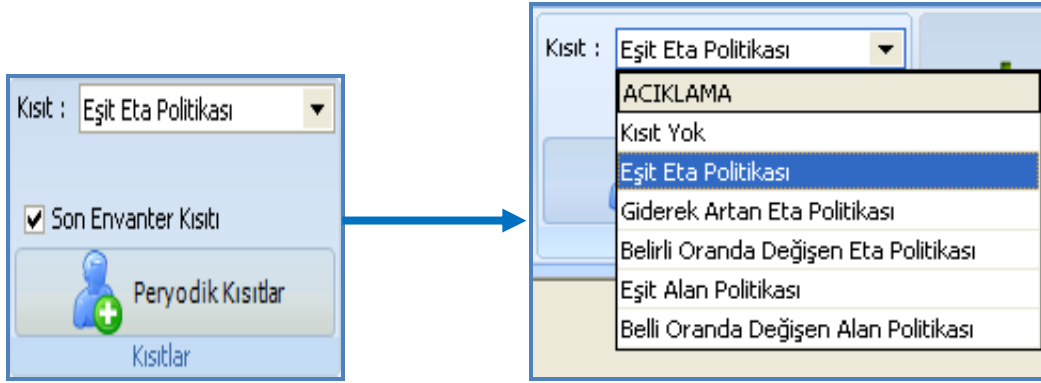
Tüm optimizasyon modellerinde olduğu gibi, ETÇAPOptimizasyon modelinde de kullanıcı tarafından bir amaç fonksiyonu seçilmek zorundadır. Bu çalışma kapsamında geliştirilen optimizasyon modelinde, odun üretimi, su üretimi, karbon birikimi, oksijen üretimi ve toprak erozyonu fonksiyonları için mutlak miktarlar ve ekonomik değerlerin eniyilenmesi şeklinde alternatif amaç fonksiyonları bulunmaktadır (Şekil 87). 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, kullanıcılar tarafından gelecek olan taleplere bağlı olarak, program geliştiriciler tarafından farklı kombinasyonlarla birlikte alternatif amaç fonksiyonlarının üretilmesi mümkün olabilecektir. Burada sadece 11 adet amaç fonksiyonu alternatifi uygun görülmüştür.



Şekil 87. Amaç fonksiyonu seçim ekranı

3.2.2.5. Kısıtlayıcı Koşulların Belirlenmesi

ETÇAPOptimizasyon modelinde, amaç fonksiyonu belirlendikten sonra kullanıcı tarafından isteğe bağlı olarak kısıtlayıcı koşullar ortaya konulmaktadır. Orman amenajmanında kısıtlayıcı koşullar olarak, simülasyon modelinde ayrıntılı olarak açıklandığı üzere bir takım alan ve hacim kontrol politikaları bulunmaktadır. Bunlar ise eşit eta veya alan, giderek artan eta, belirli oranda periyotlar arasında değişen alan veya hacim kontrol politikalarından birini seçebilmektedir (Şekil 88). Yine kullanıcı istediği takdirde “Son Envanter Kısıtı” modele ekleyebilmektedir. Bu kısıt çoğunlukla orman ekosisteminin başlangıçtaki aktüel durumunu, planlama süresi sonunda güvenceye almak için kullanılmaktadır.



Şekil 88. Alan ve eta kontrol politikaları seçme ekranı

Bununla birlikte, periyot bazında hedeflerin (kısıtlar) belirlenmesi de ETÇAPOptimizasyon modelinde mümkündür. Kullanıcı periyot bazında eta, gençleştirme alanı, su üretimi, toprak erozyonu, karbon birikimi, oksijen üretimi, ağaçlandırma hedefleri belirleyebileceği gibi (her bir çıktı için istenilen periyotta arzu edilen miktarlar), planlama yörüngesini kapsayacak şekilde genel bir hedef de taktir edebilmektedir (Şekil 89). Örneğin planlama yörüngesi boyunca $300,000 \text{ m}^3$ eta üretimi bir hedef olarak belirlenebilir.

Kullanıcı her bir fonksiyona, ağaçlandırma veya gençleştirme alanına bağlı olarak istediği kadar kısıt ortaya koyabilmektedir. Ancak burada dikkat edilmesi gereken nokta, çok sayıda kısıtın olması durumunda ve özellikle birbiriyle çelişen kısıtlayıcıların varlığında, uygun bir çözüm elde edilemez. Örneğin, hem alan kontrolünü hem de eta kontrolünü aynı anda yapmak çoğunlukla mümkün olmamaktadır. Bu durumda model çözümsüz “infeasible” bir sonuç verecektir.

Periyodik Kısıt Tanımları

Ağaçlandırma Su Üretimi Toprak Erozyunu

Karbon Birikimi Oksijen Üretimi

ALAN ETA

ETA Kısıtı var

Genel Toplam :

Periyodik :

PERİYOD	ETA DEĞERİ
1	30000
2	40000
3	50000
4	20000
5	50000
6	60000
7	55000
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	

KAPAT

Şekil 89. Kullanıcı tanımlı periyodik kısıt tanımlamaları ekranı

3.2.2.6. Modelin Koşturulması

ETÇAPOptimizasyon modelinde bir optimizasyon senaryosuna ilişkin her türlü veri ve bilgiler ilgili veri giriş tablolarına girilip, gerekli optimizasyon ayarları yapıldıktan sonra, model koşturulur. Modelin koşturulmasında “Ayarlar” sekmesinin en sonunda yer alan “Optimizasyon Çalıştır” düğmesi veya ana pencere ekranında ki aynı görüntüye sahip kısayol düğmesi kullanılarak model koşturulur. Böylece ETÇAPOptimizasyon modeli öncelikle matrisleri kurmakta, bunları matris çözücü programa aktarmakta ve matris çözücünden elde edilen sonuçları bir rapor yazıcı ile birlikte farklı formatlarda kullanıcılara sunmaktadır. Her bir senaryonun koşturulması ile birlikte elde edilen çıktılar değerlendirildikten sonra, duruma bağlı olarak ayarlarda değişiklik yapmak suretiyle yeni senaryolar oluşturulup model tekrar koşturulabilir. İstenilen sayıda optimizasyon senaryosu geliştirilip çözülebilmekte ve her bir senaryo kaydedilip daha sonra tekrar

görülebilmektedir. Bununla birlikte, optimizasyon modellerinde simülasyon modellerinin aksine her zaman uygun bir çözüm elde edilemeyebilir. Bu ise kullanıcı tarafından tanımlanan kısıtlayıcı koşulların özelliğine göre değişmektedir. Örneğin, kullanıcının hem eşit alan hem de eşit eta gibi modeli zorlayıcı iki tür kısıtı aynı zamanda modele dahil etmesi durumunda, modelin uygun bir çözüm verme olasılığı düşük olabilecektir. Uygun çözüm olmadığı durumlarda, model “uygun olmayan çözüm” uyarısı verecektir. Böyle durumlarda kullanıcı, model yapısında değişiklikler yapmak suretiyle modeli yeniden koşturmak durumunda kalabilecektir.

3.2.3. Optimizasyon Sonuçları (Çıktılar)

Optimizasyon modeli koşturulduktan sonra, uygun çözüm olması durumunda, ilgili senaryoya ait her türlü çıktılar ETÇAPOptimizasyon modelinin Optimizasyon Sonuçları sekmesinden izlenebilir (Şekil 90). Şekilden görüldüğü gibi, optimizasyon sonuçları farklı bölümlerden oluşmaktadır. Karar değişkenleri bölümünde kullanıcı periyot genişliği, planlama yörüngesi uzunluğu ve silvikültürel müdahale rejimlerine göre bölmecikler için oluşturulmuş karar değişkenleri ve katsayılarını görmektedir. Sonuçları göster ile birlikte kullanıcı planlama probleminin LINDO programı ile çözülmesi sonucu elde edilmiş sonuçları görebilmektedir.



Şekil 90. Optimizasyon sonuçları ana ekranı

Odun üretim çıktıları bölümünde kullanıcı orman ekosisteminden planlama süresi boyunca elde edilen odun üretimine yönelik çıktıları tablo veya grafik formatında görebilmektedir. Odun üretimine yönelik çıktıları ise bakım etası, gençleştirme etası, toplam eta, tomruk, maden direği, sanayi odunu ve yakacak odun üretim miktarları olarak

gruplandırılmıştır. Optimizasyon sonuçları bölümünün müdahale alanları çıktıları bölümünde ise bakım alanları, gençleştirme alanları ve ağaçlandırma alanları bileşenlerinden oluşmaktadır. Orman dinamiği bölümünde orman ekosisteminin dikili servet, göğüs yüzeyi ve yaş sınıfları yapısında meydana gelen değişiklikler yer almaktadır. Su üretimi, toprak erozyonu, karbon birikimi ve oksijen üretimi gibi odun dışı orman fonksiyonlarının zamana bağlı değişimi odun dışı orman fonksiyonları bölümünde gruplandırılmıştır. Son olarak tüm orman fonksiyonlarından planlama süresi boyunca sağlanan NBD'ler ekonomik çıktılar bölümünden tablo veya grafik formatlarında görülebilmektedir.

Bir sonraki bölümde optimizasyon modeli ve çıktılarının daha iyi anlaşılması için doğrusal programlama tabanlı bir orman amenajmanı planlama modeli geliştirilmiş ve çözülmüştür. Bu model çıktıları grafik ve tablo formatında sunularak optimizasyon çıktılarının tüm özelliklerinin açıklanması hedeflenmiştir.

3.2.4. ETÇAPOptimizasyon Modelinin Örnek Planlama Biriminde Uygulanması

Optimizasyon tabanlı bir orman amenajman planlama modelinde, model için gerekli olan ve daha önce ayrıntıları ifade edilen her türlü veri tabloların optimizasyon modeline öncelikle dahil edilmesi gereklidir. Bunlar hasılat tablosu, odun ürün çeşitleri tablosu, karbon birikimi tablosu, ekonomik veriler tablosu, aktüel orman verilerinin yer aldığı bölmecek listesi gibi veri tabanlarından oluşmaktadır. Bu verilere ilaveten, optimizasyon modelinin zaman ayarları, silvikültürel rejimlerin belirlenmesi ve atanması gibi yapılacak değişikliklerle birlikte çok sayıda orman amenajmanı planlama senaryoları geliştirilebilmektedir. Bu senaryolara bağlı olarak, karar verici orman ekosisteminin dinamik yapısını izleyebilmekte ve en iyi kararlara bu senaryoları değerlendirmek suretiyle erişebilmektedir.

Bu bölümde, ETÇAPOptimizasyon modelinin yapılan çalışmalar bölümünde ayrıntıları verilen Yalnızçam planlama biriminde uygulanması amacıyla örnek bir planlama senaryosu geliştirilmiştir. ETÇAPOptimizasyon modeli ile planlama birimi için çok sayıda alternatif senaryo geliştirilmek mümkün olmasına rağmen, burada sadece bir senaryonun açıklanması yeterli görülmüştür. Örnek olması açısından, bir senaryo ve bu senaryonun çıktıları grafik ve tablolar şeklinde sunulmuştur. Optimizasyon senaryosunun temel özellikleri aşağıda verilmiştir:

- Yalnızçam planlama birimine ait bölmeçik tablosu (aktüel orman verileri) kullanılmıştır.
- Sarıçam ağaç türü için geliştirilmiş hasılat tablosu kullanılmıştır.
- Optimizasyon senaryosunun basit ve sade olması için silvikültürel müdahaleler sadece işletme sınıfı bazında verilmiştir. Sarıçam, ekosistem iyileştirme, yüksek dağ orman ekosistemi ve estetik/rekreasyon işletme sınıfları için minimum ve maksimum kesim yaşları sırasıyla 120 ve 180 olarak belirlenmiştir. 30, 50, 70 ve 90 yaşlarında ise dikili servetin %5'i bakım etası öngörülmüştür. Biyoçeşitlilik koruma, koruma (su, toprak vs) ve sosyal baskılı alanları koruma işletme sınıfları için minimum ve maksimum kesim yaşları sırasıyla 180 ve 250 yıl olarak öngörülmüştür. 40, 60, 80, 100 ve 120 yaşlarında dikili servetin %5'i olacak şekilde bakım etası kararlaştırılmıştır.
- 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.
- Ekonomik verilerin hesaplanmasında ihtiyaç duyulan gelir ve giderler (üretim, tevzi, satış, tarife bedeli) için daha önce ilgili planlama biriminde Mumcu (2007) tarafından kullanılan veriler ile birlikte tahmini bazı değerler kullanılmıştır. Sarıçam için birim ağaçlandırma gideri hektarda 1000 YTL olarak belirlenmiştir. İskonto oranı ise %3 olarak kararlaştırılmıştır.
- Karbon birikiminin hesaplanmasında Asan vd (2002) tarafından ibrelili 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 140 yıl alınmıştır.
- Odun dışı orman fonksiyonlarının parasal değerleri su için 1, 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.

- Amenajman planı ile kıyaslama yapmak amacıyla 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 senaryosuna ilişkin bir takım çıktılar, bundan sonraki bölümde tablo ve grafik formatında açıklanacaktır. Örneğin, Şekil 91’de orman ekosistemini oluşturan her bir bölmecik için silvikültürel müdahale rejimleri, periyot uzunluğu ve planlama yörüngesi uzunluklarına bağlı olarak üretilen karar değişkenleri görülmektedir. Optimizasyon modelinde, karar değişkenleri aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır.

X_{ijt} : i . bölmeciğin t . periyotta j . müdahale rejimine tabi tutulacağı alan (ha)

Bununla birlikte, bu çalışmada geliştirilen optimizasyon modelinde, yukarıda ifade edilen karar değişkeni tanımını içerisine bölmeciklerin kesim yaşı ilave edilmiştir. Bu ise, meşcerelerin gençleştirme dönemlerinin harita çıktısı üzerinde gösterimini kolaylaştırmak için eklenmiştir.

Şekilde ayrıca, kırmızı kenar çerçevesi ile belirtilmiş bir karar değişkeni örneği görülmektedir. Bu karar değişkeni optimizasyon modelinde, 383.63B159R1K120 olarak tanımlanmaktadır. 383.63 sayısı 159 no’lu bölmeciğin (B159) 7. periyotta 1 numaralı müdahale rejimine (R1) tabi tutulması durumunda o meşcereden elde edilecek hektardaki son hasılat miktarını (m^3) göstermektedir. K120 ise o bölmeciğin o andaki kesim yaşını ifade etmektedir. Benzer şekilde, her bir bölmecik için farklı müdahale rejimleri ve periyot sayısına bağlı olarak oluşturulan karar değişkenleri ve katsayıları birlikte topluca et matrislerini oluşturacaktır. Yine şekilden görüleceği gibi, “Karar Değişkenleri” penceresinde planlama modeline ilişkin her türlü çıktı (son hasılat etası, su üretimi, ağaçlandırma, karbon birikimi gibi) için mevcut karar değişkenleri ve katsayılarını görmek mümkündür. Karar değişkenlerini görmek için “Karar Değişkenleri” düğmesini kullanmak yeterlidir.

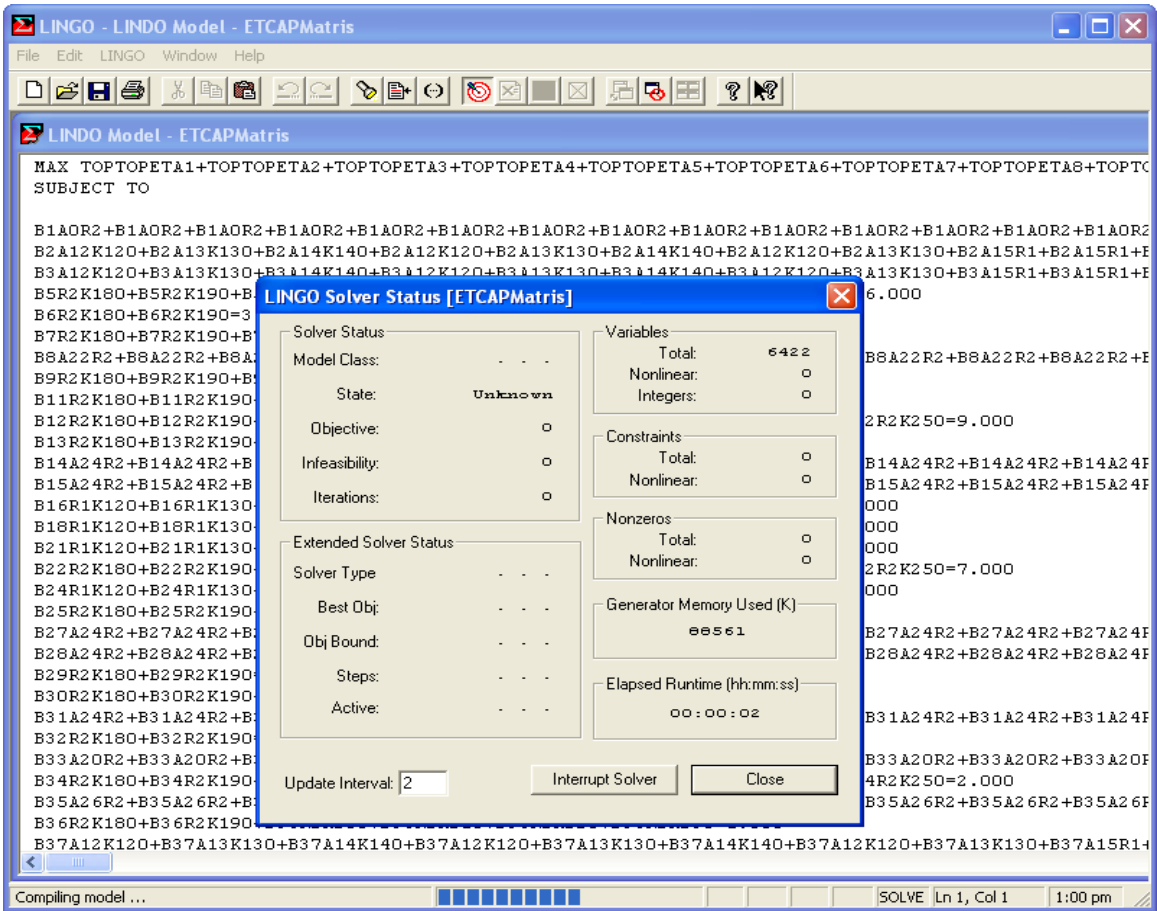
SonhasilatETA				Göster	Seçilen Bölmeçikler	Dosyaya Kaydet	Kesim Periyotları										
Yas	Mudahale_Turu	YasSinifi	Servet	1. P	2. P	3. P	4. P	5. P	6. P	7. P	8. P	9. P	10. P	11. P	12. P	13. P	14. P
0	0	0	0	0	0	0	0	0	95.303	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	95.303	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	95.303	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	95.303	0	0	0	0	0
158	2	0	230	0	0	0	0	0	0	0	0	0	95.303	0	0	0	0
158	2	0	240	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	95.303	0	0	0
158	2	0	250	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	95.303	0	0
159	1	0	120	0	0	0	0	0	0	0	683.63	0	0	0	0	0	0
159	1	0	130	0	0	0	0	0	0	0	0	389.01	0	0	0	0	0
159	1	0	140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	392.77	0	0	0	0
159	1	0	150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	393.31	0	0	0
159	1	0	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	393.04	0	0
159	1	0	170	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	393.18	0
159	1	0	180	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	393.08
160	1	0	120	0	0	0	502.57	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
160	1	0	130	0	0	0	0	507.19	0	0	0	0	0	0	0	0	0
160	1	0	140	0	0	0	0	0	510.80	0	0	0	0	0	0	0	0
160	1	0	150	0	0	0	0	0	0	511.29	0	0	0	0	0	0	0
160	1	0	160	0	0	0	0	0	0	0	511.55	0	0	0	0	0	0
160	1	0	170	0	0	0	0	0	0	0	0	511.25	0	0	0	0	0
160	1	0	180	0	0	0	0	0	0	0	0	0	510.52	0	0	0	0
161	2	0	180	0	0	0	0	0	0	0	0	242.34	0	0	0	0	0
161	2	0	190	0	0	0	0	0	0	0	0	0	242.34	0	0	0	0
161	2	0	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	242.34	0	0	0

↓ ↓ ↓ → Periyotlar ←

Bölmeçik No Rejim ID Kesim Yaşı

Şekil 91. Karar değişkenleri tasarımına yönelik katsayıları gösterir tablo görüntü ekranı

“Sonuçları Göster” düğmesi ile birlikte, ETÇAPOptimizasyon modeli tarafından orman amenajmanı planlama problemine ilişkin doğrusal programlama matrisi görülebilmektedir. Aşağıda, LINDO programının ETÇAPOptimizasyon modelinde matrisleri çözerken elde edilen bir görüntüsü ile birlikte, LINDO ile elde edilen çözüm sonuçları görülmektedir (Şekil 92 ve Şekil 93). ETÇAPOptimizasyon modeli otomatik olarak matrisi LINDO matris çözücü programına atmakta ve matris ilgili program tarafından simplex yöntemi ile çözülmektedir.



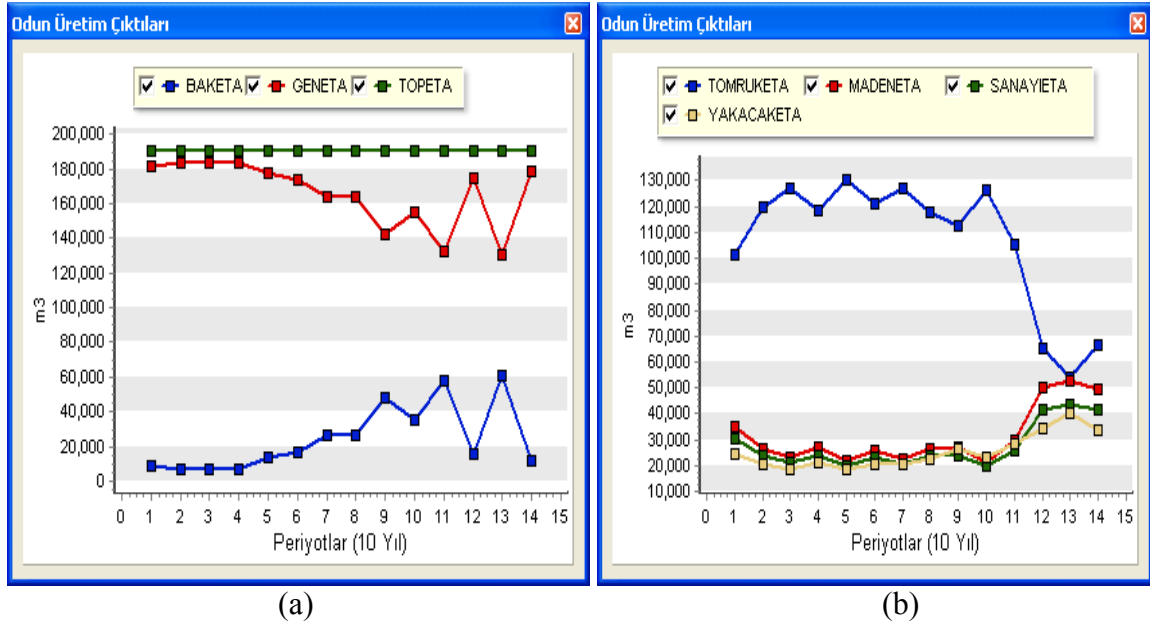
Şekil 92. Orman amenajmanı planlama problemi doğrusal programlama modeli yapısının (matrisinin) LINDO programında görüntüsü

1	Global optimal solution found.		
2	Objective value:	2666994.	
3	Total solver iterations:	2036	
4			
5			
6	Variable	Value	Reduced Cost
7	TOPTOPETA1	190499.5	0.000000
8	TOPTOPETA2	190499.5	0.000000
9	TOPTOPETA3	190499.5	0.000000
10	TOPTOPETA4	190499.5	0.000000
11	TOPTOPETA5	190499.5	0.000000
12	TOPTOPETA6	190499.5	0.000000
13	TOPTOPETA7	190499.5	0.000000
14	TOPTOPETA8	190499.5	0.000000
15	TOPTOPETA9	190499.5	0.000000
16	TOPTOPETA10	190499.5	0.000000
17	TOPTOPETA11	190499.5	0.000000
18	TOPTOPETA12	190499.5	0.000000
19	TOPTOPETA13	190499.5	0.000000
20	TOPTOPETA14	190499.5	0.000000
21	B1M	23.32600	0.000000
22	B1A1R2K0	0.000000	-0.5301315E-14
23	B1A2R2K0	0.000000	0.7105427E-14
24	B1A3R2K0	0.000000	24.33994
25	B1A4R2K0	0.000000	0.000000
26	B1A5R2K0	0.000000	21.09705
27	B1A6R2K0	0.000000	0.3552714E-14
28	B1A7R2K0	0.000000	17.17058
29	B1A8R2K0	0.000000	0.000000
30	B1A9R2K0	0.000000	8.453457
31	B1A10R2K0	0.000000	0.8521519E-01

Şekil 93. LINDO çözüm sonuçları penceresi

ETÇAPOptimizasyon 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.

İlgili planlama senaryosundan, 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 sırasıyla Şekil 94a ve 94b'de grafik formatında gösterilmiştir. Şekil 95'de ise tablo formatında verilmiştir. Şekilden kolaylıkla görüleceği üzere, planlama senaryosunda her periyotta 190,500 m³ olacak şekilde eşit eta hedefi elde edilmiştir. Toplamda yaklaşık 2,326,450 m³ son hasılat (gençleştirme) etası alınırken 340,543 m³ bakım etası alınmıştır. Grafik üzerinde ayrıca kullanıcı isteğine bağlı olarak, her bir eta çeşidini ayrı ayrı görmek mümkündür.



Şekil 94. Odun üretimi çıktılarının a) bakım, gençleştirme ve toplam eta b) odun ürün çeşitlerinin periyotlara bağlı değişiminin grafik formatında gösterimi

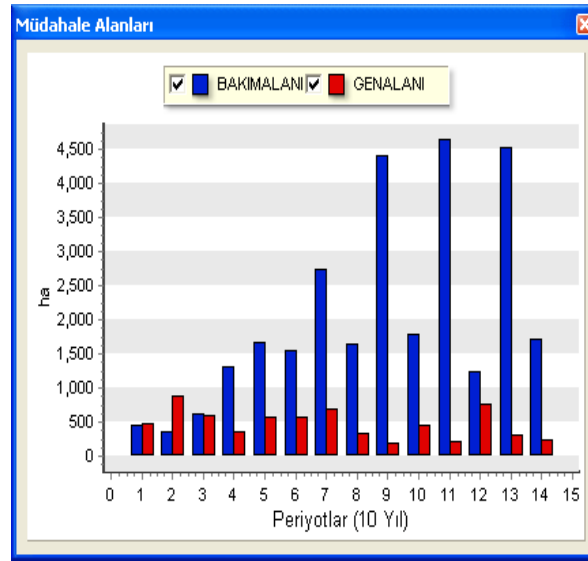
Planlama senaryosuna göre ilk 20 yıl içerisinde planlama biriminden alınması tahmin edilen toplam eta miktarı 380,999 m³ olarak gerçekleşmiştir. Planlama biriminin 2007-2026 orman amenajman planında 20 yıllık süreç içerisinde alınması öngörülen toplam eta miktarı ise 177,640 m³'tür. Dolayısıyla optimizasyon tabanlı planlama senaryosunda daha fazla eta elde edilmiştir. Aynı planlama biriminde, Mumcu (2007) tarafından farklı idare

sürelerine bağlı olarak geliştirilen farklı alternatif planlama senaryoları, aynı zamanda bu çalışma kapsamında irdelenmiştir. 100 yıllık planlama yörüngesini kapsayacak şekilde geliştirmiş olduğu planlama senaryoları sonuçları değerlendirildiğinde 10 yıllık süreyi içeren planlama periyotlarında senaryolara bağlı olarak 200,000-500,000 m³ arasında değişen etalar tahmin edilmiştir. Ağaçlandırma olmayan veya çok az miktarda gerçekleşen planlama senaryolarında periyodik toplam eta miktarları genellikle 200,000 m³ dolayında gerçekleşmiştir. 20 yıllık süreçte ise bu miktar yaklaşık 400,000 m³ civarında olmakta ve bu miktar bu çalışma kapsamında geliştirilen optimizasyon senaryosuna sonucuna (380,999 m³) oldukça yakın çıkmıştır. Gerek ETÇAPOptimizasyon ve gerekse Mumcu (2007) ve 2007-2026 orman amenajman planı çıktıları arasında meydana gelen bu farklılıklar, işletme amaç ve hedeflerine bağlı olarak karar verici tarafından belirlenen silvikültürel müdahale, idare süreleri, ağaçlandırma gibi parametrelerin farklı olmasından kaynaklanmaktadır.

Periyotlar	BAKETA	GENETA	TOPETA	TOMRUKETA	MADENETA	SANAYIETA	YAKACAKETA
1	9056.839	181442.7	190499.5	101329.9	35144.6	30146.17	24257.56
2	7238.937	183260.6	190499.5	119512.4	26757.76	23699.52	20415.36
3	6782.301	183717.2	190499.5	126919.9	23495.65	21189.51	18943.62
4	7125.086	183374.5	190499.5	118464.7	27149.11	23952.37	21004.32
5	13241.42	177258.1	190499.5	130318.7	21671.34	19710.28	18628.26
6	16297.63	174201.9	190499.5	120897.1	25919.17	23020.34	20896.21
7	26112.14	164387.4	190499.5	127216.9	22337.27	20275.62	20532.52
8	26383.19	164116.4	190499.5	117566.2	26745.54	23690.62	22589.58
9	48464.24	142035.3	190499.5	112734.2	27148.15	23951.32	26419.99
10	35066.57	155433	190499.5	126185.3	21560.37	19669.08	22939.75
11	57709.21	132790.3	190499.5	105393.7	30029.33	26174.33	28663.22
12	15260.09	175239.4	190499.5	65307.79	50105.66	41648.4	34257.78
13	60392.06	130107.5	190499.5	54177.93	52599.95	43616.19	40379.67
14	11413.62	179085.9	190499.5	66269.39	49678.35	41318.84	33998.01

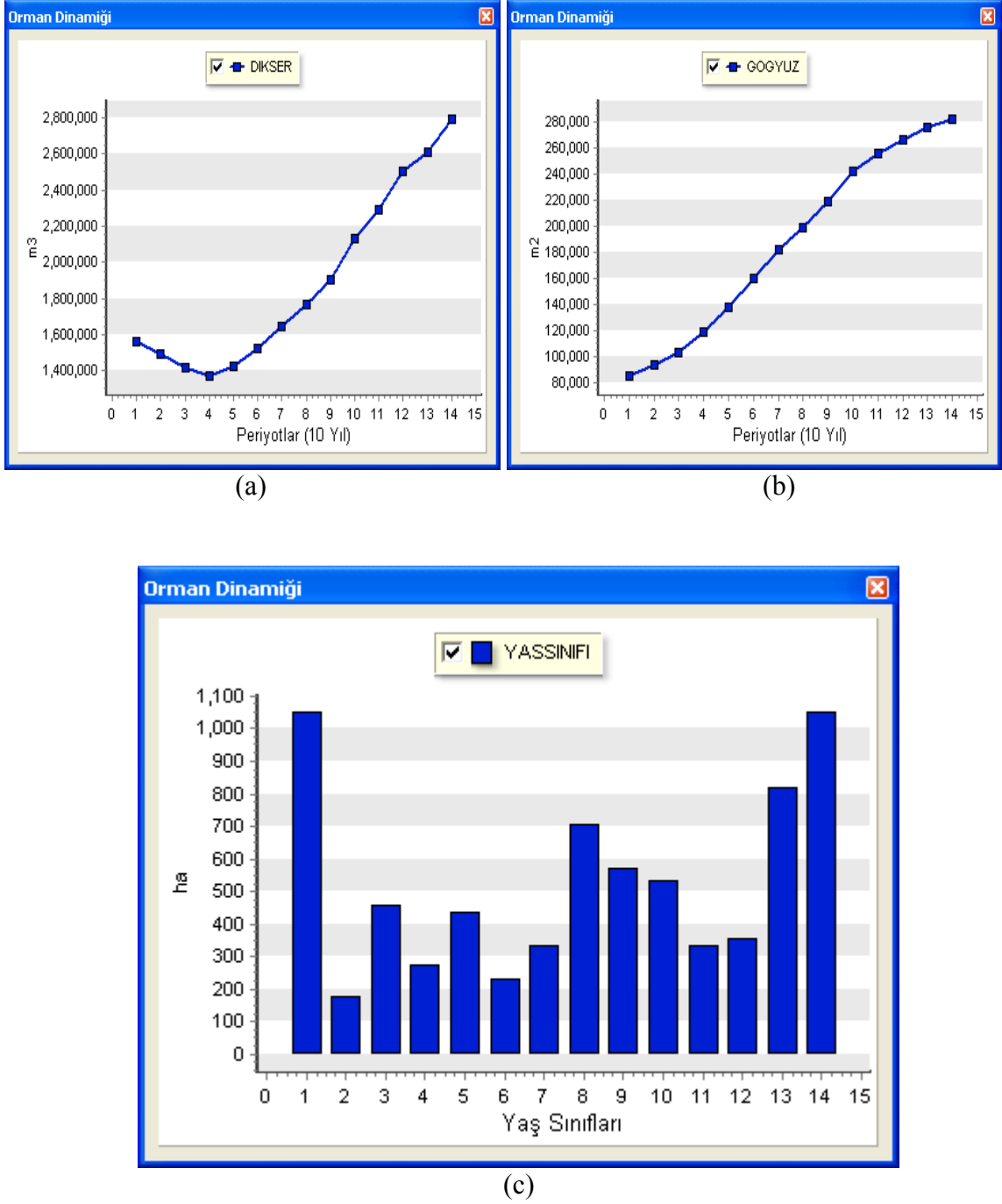
Şekil 95. Eta miktarlarının periyotlara bağlı değişiminin tablo formatında gösterimi

Çözüm sonuçlarına göre, her bir periyotta gerçekleşen gençleştirme ve bakım alanları miktarları simülasyon planlama senaryosu sonuçlarına benzer olarak gerçekleşmiştir (Şekil 96). Planlama yörüngesi boyunca gerçekleşen gençleştirme alan miktarı 6,214 hektar, toplam bakım alanı 18,730 hektardır. Optimizasyon senaryosu çözüm sonuçlarına göre ilk 20 yıl içerisinde 1,327 ha alanın gençleştirilmesi tahmin edilirken, 2007-2026 orman amenajman planında bu miktar 666 ha olarak öngörülmüştür. Bununla birlikte çözüm sonuçlarının her birini aynı zamanda tablolar şeklinde görmek yine ETÇAPOptimizasyon modelinde mümkündür.



Şekil 96. Gençleştirme ve bakım alanlarının zamana bağlı değişimi

Ormanın dinamik yapısının zaman bağlı değişimini göstermek için bu senaryo kapsamında dikili servet, göğüs yüzeyi ve planlama yörüngesi sonundaki yaş sınıfları değişimi sırasıyla Şekil 97a, 97b ve 97c'de verilmiştir. Ayrıca bu çıktıların hepsini tablo formatında görmek mümkündür. Şekillerden görüldüğü gibi, orman ekosisteminin dikili servet ve göğüs yüzeyi miktarları sürekli olarak bir artış göstermektedir. Ormanın planlama yörüngesi sonundaki yaş sınıfları dağılımı incelendiğinde, eşit bir dağılımın olmadığı görülmektedir. Bu ise planlama senaryosunda eşit OPA yerine eşit eta politikasının tercih edilmesinden kaynaklanmaktadır.



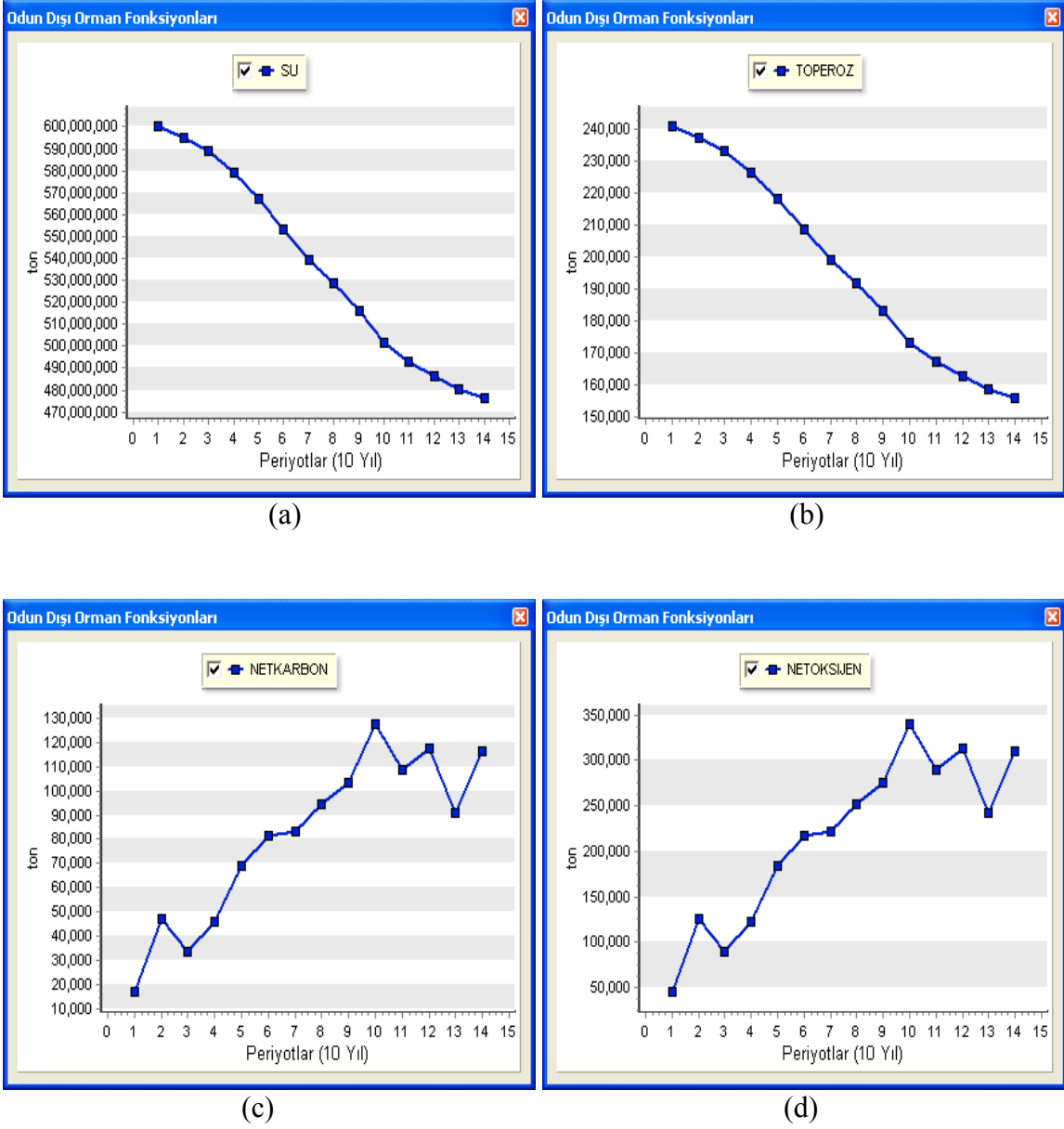
Şekil 97. Orman dinamiği bileşenlerinin a) zamana bağlı dikili servet b) zamana bağlı göğüs yüzeyi c) simülasyon süresi sonundaki yaş sınıflarının değişimi

Diğer taraftan odun dışı orman fonksiyonlarında zamana bağlı olarak önemli değişiklikler gözlenmiştir. Planlama yörüngesi sonunda toplam 7,505,708,500 ton su üretimi gerçekleşirken, 2,754,686 ton toprak erozyonu meydana gelmiştir. Her iki fonksiyonun zamana bağlı değişimi incelendiğinde giderek azalan bir seyrin olduğu görülmektedir (Şekil 98a ve 98b). Bu durum Şekil 97b ile kıyaslandığı zaman sürekli artan

göğüs yüzeyine bağlı olarak su üretiminin ve toprak kaybı miktarının azaldığı kolaylıkla görülebilmektedir. Bu sonuçlar aynı zamanda modelin verilen kanuniyetlere ve kısıtlara göre doğru çalıştığının bir göstergesidir. Buna benzer bulgular değişik bilimsel çalışmalarda da yer almaktadır (Mısır, 2001; Keleş, 2003; Karahalil, 2003; Keleş vd., 2007; Başkent ve Keleş, 2008). Diğer taraftan planlama yörüngesi sonunda net karbon birikimi 1,136,811 ton, net oksijen üretimi ise 3,031,508 ton olarak gerçekleşmiş ve her iki fonksiyon zamana bağlı olarak sürekli bir artış göstermiştir (Şekil 98c ve 98d). Orman ekosisteminin 140 yıllık sürede dikili servet miktarındaki artışın gözlemlendiği Şekil 97a incelendiği zaman, net karbon birikimi ve net oksijen üretim miktarlarının artış göstermeleri normaldir. Çünkü her iki fonksiyon doğrudan servet ve eta ile doğrudan orantılıdır (Keleş ve Başkent, 2007; Başkent vd., 2008; Başkent ve Keleş, 2008).

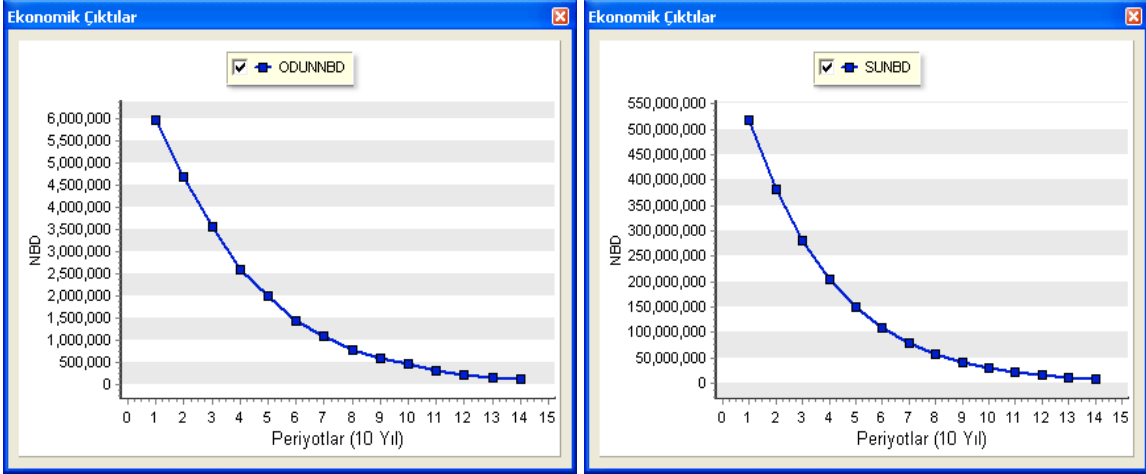
Optimizasyon çıktıları ana bölümünde son olarak her bir orman fonksiyonundan planlama süresi boyunca elde edilecek ekonomik değerler tablo ve grafik formatında görülebilmektedir. Planlama senaryosunun çözüm sonuçlarına göre planlama süresi sonunda orman ekosisteminden fonksiyonlar itibariyle elde edilen gelirler: su üretimi için 1,913,666,971 YTL, toprak erozyonu için 3,726,734 YTL, karbon için 3,268,099 YTL, oksijen için 6,536,205 YTL ve odun için 23,894,844 YTL olarak gerçekleşmiştir. Her bir fonksiyonun toplamından elde edilen net gelir ise (Su NBD + Odun NBD + Karbon NBD + Oksijen NBD – Toprak NBD) 1,943,639,385 YTL olarak tahmin edilmiştir (Şekil 99).

Karbon birikimi ve oksijen üretiminden kaynaklanan NBD'ler incelendiği zaman, birinci periyottan ikinci periyoda geçişte NBD miktarlarında oldukça büyük bir artışın olduğu gözlemlenmiştir. Bu ise birinci ve ikinci periyot arasında meydana gelen net karbon birikimi (+30,026 ton) ve oksijen üretimi (+80,068 ton) miktarlarının çok fazla artış göstermesinden kaynaklanmaktadır. Bunun en önemli nedeni ise, planlama yörüngesi başlangıcının öncesinde (0'dan önce) planlama biriminde yapılan üretim ve bu üretimden kaynaklanan emisyonların modele dahil edilmemesidir. Böylece, ilk birkaç periyot içerisinde meydana gelen net karbon birikimleri daha sonraki periyotlara oranla daha yüksek çıkabilmektedir. Bilindiği üzere, her bir periyotta yapılan üretim sonucu ortaya çıkan odun ürünleri, hem o periyotta hem de ilerleyen periyotlarda karbon emisyonları yaymakta ve net karbon birikimi azalmaktadır (Keleş ve Başkent, 2007; Başkent vd., 2008; Başkent ve Keleş, 2008).



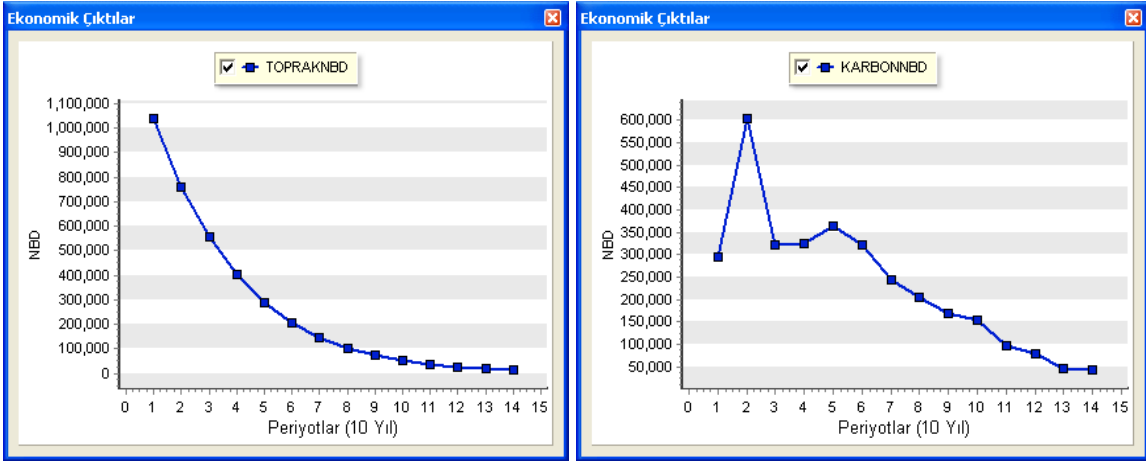
Şekil 98. Odun dışı fonksiyonların a) su üretimi b) toprak erozyonu c) net karbon birikimi d) net oksijen üretimi zamana bağlı değişimi

Bununla birlikte, optimizasyon senaryosu çözüm sonucu odun üretiminden elde edilen NBD ile Mumcu (2007) tarafından aynı planlama biriminde yapılan çalışma sonucu elde edilen NBD miktarları kıyaslanmıştır. Optimizasyon senaryosuna göre herhangi bir ağaçlandırma olmaması durumunda, odun üretiminden yılda yaklaşık 170,677 YTL gelir elde edilebilirken, Mumcu (2007) tarafından geliştirilen senaryoda bu miktar 186,037 YTL olarak gerçekleşmiştir. Bu ise her iki modelin birbirine yakın sonuçlar verdiğini göstermektedir.



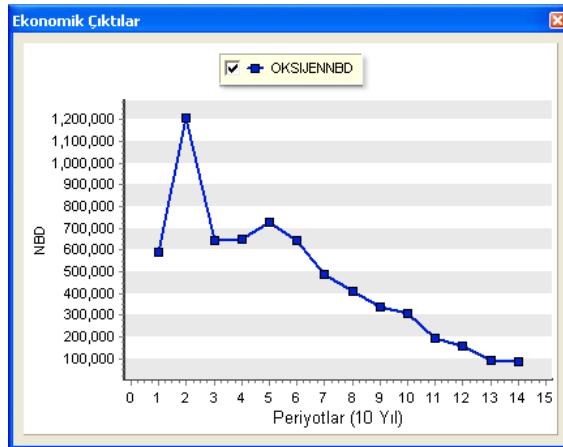
(a)

(b)



(b)

(d)



(e)

Şekil 99. Orman fonksiyonlarının a) odun b) su c) toprak d) karbon ve e) oksijen NBD'lerinin zaman bağlı değişimi

3.3. Simülasyon ve Optimizasyon Modellerinin Genel Değerlendirmesi

Herhangi bir karar destek sisteminin veya yazılımın değerinin belirlenebilmesi için bir takım ölçütlere göre değerlendirme yapmak gerekmektedir. Bu ölçütler KDS'nin geliştirildiği alana (ziraat, ormancılık, sanayi vs) göre değişmekle birlikte, bir KDS'nin geliştirilmesinde güvenilirlik, tekrar kullanılabilirlik, taşınabilirlik, hızlı ve verimli çalışma, belirli amaçlara bağlı olarak değişiklik yapma imkanı, maliyetler, kullanılan yazılım ve donanım gereksinimleri gibi birçok faktör oldukça önemlidir.

Bu çalışma kapsamında geliştirilen KDS simülasyon ve doğrusal programlama tabanlı orman amenajmanı planlama modelleri (sırasıyla ETÇAPSimülasyon ve ETÇAPOptimizasyon) ile bu modellere ilişkin temel veri kaynağı olan hasılat ve büyüme modellerinden (meşcere simülasyon modeli) oluşmaktadır. Bu özellikleri ile KDS modüler bir yapıya sahip olup, kullanıcıların birden fazla modelleri izlemesine yardım etmektedir. Modellerin geliştirilmesinde Türkiye ormancılığı ve orman amenajmanı planlama yaklaşımı ve esasları (ETÇAP) dikkate alınmıştır. Bu modeller yapısı ve özellikleri itibariyle öncelikle Türkiye ormancılığında kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Ancak modeller üzerinde yapılacak değişimler ile birlikte Türkiye ormancılığına yakın özelliklere sahip ülke veya bölgelerde kullanılması söz konusu olabilecektir.

Hem meşcere simülasyonu hem de simülasyon ve optimizasyon modelleri bölmecik bazında hesaplamalar yapmaktadır. ETÇAPSimülasyon ve ETÇAPOptimizasyon modelleri amaç itibariyle planlama birimi (işletme şefliği) düzeyinde planların yapılmasına hizmet etmek amacıyla tasarlanmış olup istenildiğinde daha geniş alanlar için (işletme müdürlüğü) orman amenajman planlarının yapılmasına olanak sağlamaktadır. Burada modellerin hızını sınırlandıran en önemli nokta, planlama biriminin büyüklüğünden ziyade toplam bölmecik sayısı, planlama süresi ve periyot genişliğine bağlı periyot sayısı ve silvikültürel müdahale rejimlerinin sayısıdır. ETÇAPSimülasyon modelinde genellikle bu hususta herhangi bir problem yaşanması beklenmezken, ETÇAPOptimizasyon modelinde planlama problemine ilişkin matrisin çok büyük olması, model çözümüne yönelik bir sorunu ortaya çıkarabilecektir. Bu ise modelin oluşturulması ve çözümü için geçen zamanı artıracaktır. Ancak günümüz bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler bu gibi ihtiyaçları karşılayacak kapasitedir.

Arayüzü geliştirilen ETÇAPSimülasyon ve ETÇAPOptimizasyon modelleri aynı yaşlı ormanların planlanması esasına dayanmaktadır. Dolayısıyla değişik yaşlı veya

baltalık gibi orman işletme şekillerinin her iki modelde kullanılabilmesi için bu orman formlarına bağlı planlama modellerinin geliştirilip KDS'ne yansıtılması gereklidir.

KDS içerisinde yer alan her iki planlama modelinde planlama periyotlarının genişliği en düşük 5 olmak üzere 5 ve bunun katları şeklinde düzenlenmiştir. Planlama yörüngesi açısından ise herhangi bir zaman kısıtlaması yoktur. Diğer bir ifadeyle, hem ETÇAPSimülasyon hem de ETÇAPOptimizasyon modelinde kullanıcı tarafından isteğe bağlı bir planlama süresinin uzunluğu girilebilmektedir. Ancak, çok uzun planlama yörüngesi kullanılması, beraberinde meşcere parametrelerinin gelecek yıllardaki tahmininde belirsizlikler meydana getirebilecektir. Çünkü kullanılan hasılat tabloları genellikle belirli bir üst sınıra (örneğin 200 yaş) kadar meşcere parametrelerini vermektedir. Yine bu durum meşcere parametreleri ile doğrudan bağlantılı olan plan çıktılarının (odun üretimi, göğüs yüzeyi, karbon birikimi gibi) tutarsız veya yanlış hesaplanmalarına neden olabilecektir.

KDS'nin en büyük avantajlarından birisi daha önce ifade edildiği gibi karar vericilere çok sayıda alternatifler üretme imkanı sunmasıdır. Simülasyon ve optimizasyon tabanlı modeller ile birlikte, kullanıcılar farklı planlama problemlerine bağlı olarak istedikleri sayıda alternatif planlama senaryoları üretebilmekte, biyofiziksel ve ekonomik analizler yapabilmektedirler. Her bir senaryo sonucu incelenmek ve birbirleri ile kıyaslanmak suretiyle orman dinamiği kavranabilmektedir.

ETÇAPSimülasyon ve ETÇAPOptimizasyon modelleri birden fazla orman fonksiyonunu içermektedir. Bunlar odun üretimi, su üretimi, toprak koruma, karbon birikimi ve oksijen üretimi fonksiyonlarıdır. Her iki model ile birlikte geliştirilecek olan alternatif orman amenajmanı planlama senaryoları ile bu tür orman değerlerine ait çıktıların gelecek yıllardaki miktarlarını tahmin etmek mümkündür. ETÇAPSimülasyon modelinde sadece odun üretimine yönelik ekonomik değerler dikkate alınırken, ETÇAPOptimizasyon modelinde tüm fonksiyonlara ilişkin ekonomik değerler (NBD) planlamaya yansıtılmıştır. Dolayısıyla ETÇAPOptimizasyon modelinde ekonomik analizler yapmak mümkündür.

Orman amenajman planlarının yapımına hizmet edecek iyi bir KDS aynı zamanda konumsal özellikleri planlamaya yansıtılma özelliğine sahip olmalıdır. ETÇAPSimülasyon ve ETÇAPOptimizasyon modelleri konumsal olmayan modellerdir. Başka bir deyişle, her iki model henüz konumsal analizler ve sorgulamalar yapamamakta ve konumsal çıktılar (haritalar) üretememektedir. Ancak modellerde, en küçük üretim

birimlerinin bölmecikler olması, ileride geliştirilecek konumsal planlama modellerinde, konumsal parametrelerin planlamalara yansıtılmasında büyük fırsatlar ve kolaylıklar sağlayabilecektir. Örneğin herhangi bir simülasyon veya optimizasyon senaryosunun çözüm sonuçlarında, her bir bölmeciğe hangi periyotta hangi silvikültürel müdahalenin uygulanacağı, çıktıların türü ve miktarları gibi bilgiler yer almaktadır. Buradan hareketle, KDS'ne dahil edilecek bir rapor yazıcı modülü ile birlikte, orman planlama birimi için stratejik ve taktiksel düzeylerde, son hasılat ve ara hasılat kesim planları ve bunlara ait haritalar üretilmesi kolaylıkla mümkün olabilecektir. Böylece mevcut orman amenajman yönetmeliğine uygun orman amenajmanı plan yazımı/dökümü gerçekleştirilebilir.

KDS nesne tabanlı Delphi programlama tekniği ile Windows ortamında geliştirilmiştir. Bu nedenle mevcut yöntem itibarıyla Linux ve Unix gibi işletim sistemlerinde kullanılamamaktadır. Bu ise yazılımın taşınabilir olmadığını göstermektedir. Diğer taraftan KDS tamamıyla nesne tabanlı tasarım ve programlama tekniklerine göre geliştirildiğinden bir takım avantajlara sahip olabilmektedir. İlerde meydana gelebilecek değişmelere (örneğin planlama yönergelerindeki değişiklikler, odun dışı orman fonksiyonlarına ilişkin yeni modellerin geliştirilmesi, yeni hasılat veya büyüme modellerinin geliştirilmesi gibi) bağlı olarak KDS üzerinde değişikliklerin yapılması, yazılım bakımının yapılması daha kolay ve daha az zaman alıcı olacaktır. Yine bakım ve iyileştirme maliyetleri daha az olacaktır.

KDS, ifade edildiği üzere, yazılım geliştirmede yaygın olarak kullanılan Delphi programlama dili ile geliştirilmiştir. Fakat çalıştırılabilir kod elde edildikten sonra, Delphi ile herhangi bir bağımlılığı bulunmamaktadır. Dolayısıyla Delphi programlama dilinde zamanla ortaya çıkabilecek değişiklikler, modellerin çalıştırılmasına herhangi bir engel teşkil etmeyecektir. Bununla birlikte, KDS geliştirilirken kullanılan değişkenler, tipler, sınıflar, metotlar vs bir kodlama standardına göre gerçekleştirilmiştir. Sonradan eklenecek ya da değiştirilecek modüller, bu standartlara göre oluşturulursa, herhangi bir sorunla karşılaşmadan, KDS güncellenebilir ve geliştirilebilir.

KDS, modüler bir yapıya sahiptir ve her modül birbiriyle haberleşmektedir. Modüler yapının vermiş olduğu avantaj ile birlikte KDS'nin güncellenmesi ve bakımı kolay olmaktadır. Modüler yapıya sahip olan herkes, istediği programlama dilini kullanarak herhangi bir modülü güncelleyip, KDS'ne dahil edebilir. Bu ise hem programlama dili bağımlılığını hem de kullanıcı bağımlılığını ortadan kaldıracaktır. Özellikle araştırma amaçlı yapılacak çalışmalarda bu şekilde olması beklenmektedir. Yalnız, geliştirilecek bu

modüller, uygulamada kullanılmadan önce, bir merkezi kurum tarafından (OGM) onaylanmak suretiyle KDS'ne dahil edilmesi gerekmektedir. Diğer bir ifadeyle, KDS ile doğrudan ilgili olabilecek merkezi bir kontrol mekanizması olmalıdır. Bu merkezi organizasyon aynı zamanda, KDS'nin eğitim ve bakımından sorumlu olmalıdır. KDS güncellenebilir olduğu için, KDS'ne yönelik eğitimler, periyodik olarak verilebilir.

KDS'nin kullanılabilmesi için herhangi bir kişisel bilgisayar yeterli olabilmektedir. Çok kapasiteli bir bilgisayara ihtiyaç duyulmamaktadır. Ancak KDS'nin kurulacağı bilgisayarda Windows işletim sisteminin kurulu olması gerekmektedir. Bu çalışmada kullanılan aktüel orman verileri CBS yardımıyla oluşturulmuştur ve bu kapsamda ArcGIS 9x yazılımı kullanılmıştır. KDS'nin kullanılması için gerekli tüm veri ve bilgiler Sivrikaya (2008) tarafından geliştirilen klasik planlama modelinden (ORMPLAN) elde edilmiştir. ORMPLAN'da veri tabanı Access ortamında hazırlanmıştır. Ancak ETÇAPSimülasyon ve ETÇAPOptimizasyon modellerinin kullanılabilmesi sadece bu yazılıma bağlı değildir. İhtiyaç duyulan veriler herhangi bir veri tabanı veya CBS yazılımı ile üretilip ETÇAPSimülasyon ve ETÇAPOptimizasyon modellerine yansıtılabilir. Burada dikkat edilecek husus, verilerin uygun formatta hazırlanması zorunluluğudur.

Bununla birlikte, ETÇAPOptimizasyon modeli, bir matris oluşturma programı olup, kurulan matrisin çözümü için bir matris çözücü programa gereksinim vardır. Bu çalışmada matrisler LINDO matris çözücü programına göre oluşturulmuş ve dolayısıyla ETÇAPOptimizasyon modelinin çalışması için bu programa ihtiyaç duyulmaktadır. Diğer taraftan modelin esnekliği ve güçlü yapısı nedeniyle farklı matris çözücü programlara göre matrislerin oluşturulması ve sonuçların üretilmesi imkanı vardır. Başka bir ifadeyle, hangi matris çözücü olursa olsun, KDS'nde yer alan matris kurucu modülü güncellenerek, KDS'ne dahil edilecek yeni matris çözücüye uygun formatta matrisler oluşturulabilir. Elde edilen sonuçlar grafik ve tablolar şeklinde sunulmakta ve dışarıdan bir rapor yazıcı programa ihtiyaç duyulmamaktadır. Harita formatında çıktıların üretilmesini sağlamak için ise, .shape veri formatını destekleyen herhangi bir CBS yazılımının KDS'ne dahil edilmesi yeterli olabilecektir.

ETÇAPSimülasyon ve ETÇAPOptimizasyon modelleri kullanarak çok amaçlı bir orman amenajman planlamasının gerçekleştirilebilmesi için bölmecik tablosu, hasılat tablosu, odun ürün çeşitleri tablosu, ekonomik veriler, odun dışı orman fonksiyonlarına ilişkin temel veriler, silvikültürel müdahale rejimleri gibi bir takım veri ve bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır. Orman amenajman planlarının doğru, eksiksiz ve bilimsel kriterlere göre

hazırlanması için, plan yapım sürecinde kullanılacak verilerin güvenli, uyumlu, yeterli ve detaylı olması gerekmektedir. Ayrıca, planın başarısı veri tabanında mevcut verilerin/bilgilerin kalitesiyle doğrudan ilişkilidir. Çünkü verilerin programa yanlış veya eksik girilmesi durumunda sonuçlar da hatalı olacaktır. Bu bağlamda, veri girişinde hatalı ve/veya eksik veri girişini önlemek için formlar mümkün olduğunca elle değil, fare kullanılarak bilgisayar ortamına girilecek şekilde düzenlenmiştir. Veri girişi yapılırken bir takım veriler program tarafından doğruluk kontrolleri yapılmaktadır. Programa veri girişi yapılırken veya dışarıdan veri alınırken verilerin istenilen formatlarda olması için veri standardı ve veri tablosu desenleri ortaya konmuştur.

KDS Türkiye’de teknik ormancılık uygulamaları, bilimsel çalışmalar ve eğitimde kullanılmak için tasarlandığı için Türkçe olarak hazırlanmıştır. KDS ve bu çalışma kapsamında geliştirilen ETÇAPSimülasyon ve ETÇAPOptimizasyon modellerinin arayüzleri oldukça anlaşılabilir, kullanımı kolay ve kullanıcı dostudur. Özellikle simülasyon ve optimizasyon gibi karar verme teknikleri üzerine yapılacak birkaç haftalık eğitimle birlikte, temel ormancılık eğitimini almış şahıslar tarafından etkin şekilde kullanılabilirler. KDS’ni kullanmak isteyen kişilerin LINDO, MS Access ve Delphi gibi programları kullanma zorunluluğu yoktur. Fakat orman amenajmanı planlama süreci, CBS, ve yöneylem araştırması teknikleri hakkında bilgi sahibi olması kullanıcıların KDS’ni öğrenme sürecini kısaltacak ve daha çok verim almasını sağlayacaktır. Bununla birlikte KDS’nin kullanıcılar tarafından daha kıza zamanda ve daha az emek harcayarak öğrenmelerine yardımcı olmak amacıyla bir terimler sözlüğü yazılmıştır. Bu sözlüğe, ETÇAP KDS’nin arayüzünde yer alan Terimler Sözlüğü düğmesinden, pdf formatında ulaşmak mümkündür.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Orman amenajmanı tarihi bir süreç içerisinde geçerken, toplumun orman ekosistemlerinden giderek artan, çeşitlenen ve zaman zaman da birbirleriyle çelişen beklentilerini en iyi şekilde karşılamının yolu aranmaktadır. 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 sosyo-kültürel amaçların sıkça dile getirilmesidir.

Bu araştırma kapsamında, ETÇAP planlama felsefesine dayalı bir KDS tasarımı ve ilgili yazılımların kodlaması çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu KDS öncelikle, CBS yardımı ile üretilen/türetilen konumsal verileri (grafik-harita ve öznitelik) işleyebilme ve kullanabilme özelliğine sahiptir. Diğer veriler (hasılat tabloları, stratejiler, planlama parametreleri, ürün çeşitleri tabloları vs) yine belirlenen formatta sisteme veri girdisi olarak dahil edilmiştir. Tamamen nesne tabanlı bir yaklaşımla tasarlanan bu KDS, yine nesne tabanlı bir programlama/yazılım dili ile (Delphi) kodlanmıştır. Bu tasarımda, planlamanın temel bileşenleri “sınıflar” olarak belirlenmiş ve karşılıklı ilişkileri UML ile ortaya konmuştur. Yöneylem araştırması tekniklerinden yararlanılarak geliştirilen KDS, geleneksel simülasyon ve matematiksel optimizasyon (doğrusal programlama) tekniklerini içeren iki alt modülünü (ETÇAPSimülasyon ve ETÇAPOptimizasyon) içermektedir. Her iki modülde orman ekosistemlerinin uzun vadede projeksiyonunu meşcere (bölmeçik) bazında yapmakta ve plan çıktılarını tablo ve grafik olarak sunmaktadır. KDS’nin en önemli bileşeni olan meşcere hasılat ve büyüme alt modeli (AROBEM), mevcut meşcereler için bu çalışma kapsamında geliştirilen prototip büyüme modeli ile birlikte meşcerelere uygulanan silvikültürel müdahaleler kapsamında, meşcerelerin büyüme yapısı

ve şekli, aktüel meşcere verilerinin optimal meşcere verileri ile ikili karşılaştırılması esasına dayanarak geliştirilmiştir. Gençleştirmeye alınmış meşcerelerin büyümesi ise, ilgili ağaç türü için daha önce geliştirilen ampirik hasılat tablosuna göre gerçekleşmektedir. Bu KDS odun üretiminin yanı sıra, su üretimi, toprak kaybı, karbon birikimi ve oksijen üretimi gibi ormanın sunduğu değerleri de kapsayacak şekilde hazırlanmıştır. Tasarlanan KDS modüler yapıda olup, yeni özelliklerin eklenmesi ve programın bakımı daha kolay olmaktadır. Prototip olarak geliştirilen KDS'nin kolay kullanımını sağlamak amacıyla bir arayüz programı ile desteklenmiştir. Bu KDS'nin beklenen sonuçları ve çıktıları sunup-sunmadığının kontrolünü yapmak amacıyla örnek bir uygulama gerçekleştirilmiştir.

Geliştirilen orman amenajmanı KDS; orman ekosistemlerinden CBS ile elde edilen sayısallaştırılmış konumsal verileri baz alarak, optimal karar verme teknikleri yardımıyla karar vericilere stratejik ve taktiksel düzeyde seçenekler sunmakta ve ekonomik analizler yapabilmesine imkan vermektedir. Böylece stratejik planlama ile taktiksel planlama arasında uyum sağlanarak hiyerarşik planlama sürecine geçiş kolaylaşmıştır. Orman amenajman planlarının hazırlanmasına hizmet edecek KDS'nin tasarımı ve geliştirilmesi, nesne tabanlı bir programlama dili ile birlikte bilgisayar ortamında yapıldığı için, tasarımın olası değişiklik ve gelişmeler karşısında yenilenmesi ve güncelleştirilmesi işlemleri de kolaylaşmıştır.

Geliştirilen orman amenajmanı KDS; eğitim, araştırma ve uygulamalarda kullanılabilecek, sonuç olarak bilime ve uygulamaya bir dizi katkılar sağlayabilecektir. Bu katkılar aşağıda ayrıntılı olarak verilmiştir.

- Planlama problemlerinin çözümünü bilimsel yaklaşımlara dayandırarak sistem anlayışını ve problemlere bütünsel yaklaşım tarzını kazandıracaktır.
- Orman ekosistemleri gibi karmaşık ve özellikle açık – dinamik sistemlerin çalışma prensipleri kavranacak, uzun vadeli kestirimler yapılarak sürdürülebilirlik sağlanabilecektir.
- Çok sayıda planlama seçeneklerini geniş bir yelpazede daha etkili bir şekilde değerlendirme imkanı sağlanacak, sayısal ve görüntü formlarındaki çıktılarla da işletmecinin kararlarını paydaşlara (halka, diğer profesyonellere ve orman sahibine) anlatmada kolaylık sağlayacaktır.
- Planlamaların sanal ortamda yapılması ile birlikte, farklı işletme amaçları ve silvikültürel müdahale rejimlerine bağlı olarak, istenildiği kadar alternatifler üretilebilecek, uygulamaya aktarılmadan orman kuruluşu ile işletme amaçları

arasındaki sebep – sonuç ilişkileri, her türlü ortamda denenip bulunabilecektir. Ormanın zamana bağlı değişimi (orman dinamiği) kavranacak ve böylelikle karar vericilerin daha isabetli kararlar alması gerçekleştirilecektir.

- Ekonomik analiz ve yorumlar planlamaya dahil edileceğinden, planlar daha gerçekçi işletme planları niteliği kazanabilecektir.
- Oldukça zahmetli ve maliyetli olan orman amenajman planlarının hazırlanması, bilgisayar ortamında daha hızlı, güvenilir ve daha ekonomik olarak yapılabilecektir.
- Uluslar arası taahhütler, ormancılık ana planları ve kalkınma planlarında belirtilen ormancılık hedeflerine ulaşılabilir. Diğer bir ifadeyle amenajman planlarının hazırlanmasında, küresel bazda geliştirilen ormancılık prensipleri ve bunun doğal yansıması olan sürdürülebilir orman amenajmanı gösterge ve ölçütlerinin planlamada kullanılabilmesi kolaylaşacaktır.
- Orman ekosistemlerinin tüm değerlerini dikkate alan ekosistem tabanlı çok amaçlı planlama seçeneklerinin üretilmesi ve sonuçta en iyi/uygun orman işletme planlarının yapımı söz konusu olacaktır. Aynı zamanda, geliştirilen KDS çelişen işletme amaçları arasında düzenleyici bir görev üstlenerek olası çatışmaları izleme ve kontrol etmeye yardım edecektir.
- Ülkemizde yapılan planlarda çok yönlü faydalanmayı içeren optimal kararların alınamaması bir tarafa; zaman, iş ve ekonomik gerekçelerden dolayı bazı ormanlık alanının amenajman planı avans kesimleri ile yapılmaktadır. Geliştirilen KDS aracılığı ile süresi biten planlar zamanında yenilenebilecek, periyodik dönemler arasındaki plan değişiklikleri izlenebilecektir ve böylece denetim ve kontrol için gerekli bilişim sağlanabilecektir
- Bir taraftan, geniş alanlarda hazırlanan stratejik planlarla ülkemizin karşılaştığı endüstriyel odun açığı ortaya konulabilecek diğer taraftan ise, çevre etkisi dikkate alınarak orman ekosistemlerin sürekliliğini işleyebilecek model planların yapımı gerçekleşecektir.
- Türkiye’de ormancılık planlama eğitiminde, eğitimi kaliteli seviye çekmek ve bütünlük sağlamak amacıyla, ormancılık uygulama ve yüksek öğretiminde de kullanılabilir. Böylece, planlamada eğitim bütünlüğü sağlanacak ve dolayısıyla ileride gündeme gelecek ormancılıkta akreditasyon sürecine hizmet edecektir.
- İyi nitelikli bir KDS ile birlikte, uygulayıcıların yada kullanıcıların planlama, silvikültür, ekoloji ve ekonomi gibi konularda kazanmış oldukları bilgileri aynı anda

kullanabilmeleri, bunlar arasındaki mübadeleleri analiz etme ve yorumlamaları mümkün olabilecektir.

- Özellikle, bugün tüm dünyada bilgi çağında kalkınmanın temeli bilgiye sahip olmak ve onu pazarlamaktan geçtiği bilinmektedir. Geliştirilecek farklı KDS'leri ile birlikte, ülke sermayesinin ve dolaylı olarak da bilginin dışa akması belli derecede kısıtlanarak, ülke ekonomisine ve kalkınmasına yardımcı olunacaktır. Üstelik geliştirilen KDS'nin profesyonelleştirilmesi durumunda bilgi akışının dışa açılımı da söz konusu olabilecektir.

Bu açıklamalar değerlendirildiğinde, zaman ve emek kaybına neden olmadan orman amenajman planlarının düzenlenmesinde KDS'lerinin geliştirilmesi ve bunların uygulamada kullanılmasının kaçınılmaz olduğu görülmektedir. Diğer taraftan, Türkiye' de bir planlama modeli veya KDS' inin orman amenajman planlarının yapımında etkin olarak kullanılabilmesi için bir dizi gereksinimler söz konusudur. Bunlar öneriler şekline getirilerek aşağıda verilmiştir:

- Orman ekosistemlerinin sunmuş olduğu tüm fonksiyonlar meşcere yapısı ile ilişkilendirilerek sayısallaştırılmalıdır. Bunun gerçekleştirilebilmesi için, farklı bilim dalları (orman amenajmanı, orman ekolojisi, silvikültür, orman ekonomisi gibi) disiplinler arası çalışmalar yapmalı ve bu çalışmalar teşvik edilmelidir. Orman ekosistemlerinin sunmuş olduğu su üretimi, toprak koruma, karbon depolama, oksijen üretimi, rekreasyon, biyolojik çeşitlilik gibi tüm fayda ve değerler sayısal parametrelerle birlikte ortaya konulmalı, diğer bir ifadeyle bu fayda ve değerlere ilişkin modeller geliştirilmelidir. Bu kapsamda ayrıca, orman kaynaklarının sürdürülebilir planlanması ve işletmeciliği gösterge ve ölçütleri belirlenmelidir.
- KDS'lerinin etkin bir şekilde çalışması ve doğru kestirimler yapabilmesi için, bölgesel ve hatta yöresel bazlarda yangın, böcek ve fırtına gibi doğal olayları açıklayan ekolojik modeller geliştirilmelidir.
- Türkiye'de sınırlı sayıda ağaç türü için sıklığa bağlı hasılat tablosu geliştirilmiş, diğer önemli orman ağaçları için ise saf, müdahale görmemiş, doğal meşcereler için yaş ve bonitet endeksine bağlı olarak çeşitli meşcere parametrelerini dikkate alan normal hasılat tabloları kullanılmaktadır. Ancak, bu tablolar farklı yapı ve kuruluştaki müdahale görmüş meşcerelerin dinamik yapısını tam olarak yansıtamadığından eksik kararların alınmasına da neden olabilmektedirler. Çünkü bu hasılat matrisleri, sadece belirlendikleri zamanda normal sıklıktaki meşcerelerin yapısını göstermektedir. Oysaki

aynı ağaç türünün oluşturduğu meşcereler farklı bölgelere göre farklı yapı arz etmekte ve “müdahale görmemiş” meşcereler artık günümüzde çok az sayıda bulunmaktadır. Bununla birlikte, Türkiye’de, bazı ağaç türleri için çok az sayıda geliştirilmiş olan sıklığa bağlı hasılat tabloları da geçici deneme alanları yapılmak suretiyle oluşturulmuş olup, müdahalelere ve zamana bağlı olarak meşcere parametrelerini sunamamaktadırlar. Çünkü bu modeller meşcerelerin o andaki sıklığına bağlı sonuçları üretmektedir. Dolayısıyla, hem normal hem de sıklığa bağlı geliştirilmiş bu tablolar farklı yapı ve kuruluştaki müdahale görmüş meşcerelerin dinamik yapısını tam olarak yansıtamamaktadır. Yine, Türkiye ormancılığında önemli bir eksiklik, karışık meşcereler için geliştirilmiş bir hasılat tablosunun olmamasıdır. Bu nedenle, uygulamada ve aynı zamanda bu çalışmada, karışık meşcerelere ait meşcere parametrelerinin tahmin edilmesinde, karışımı oluşturan asli ağaç türüne ait hasılat tabloları kullanılmaktadır. Bu durum ise, zamana bağlı meşcere gelişimi ve çıktılarının hatalı tahmin edilmesine neden olmaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışmada, karışım oranı %10’un altındaki ağaç türlerinin hesap dışı tutulması, karışık meşcereler için hasılat tablolarının bulunmaması, meşcerelere yapılan silvikültürel müdahalelere bağlı meşcere dinamik yapı model ve denklemlerin üretilmemiş olması, model matrislerini sınırlayan ve model kurulumunda karşılaşılan eksikliklerdir. Bu nedenlerden dolayı, devamlı deneme alanlarına dayandırılmış, farklı yetiştirme ortamları için, ağaç türü veya ağaç türü kombinasyonlarına göre, doğal ya da plantasyonla oluşturulmuş her meşcere tipi için hasılat ve büyüme modelleri geliştirilmeli ve planlama modellerinde kullanılmalıdır. Ancak kısa vadede böyle çalışmaların yapılamaması nedeniyle, böyle bir soruna alternatif çözüm ise, ormancılığı ve orman ekosistemleri Türkiye koşullarına uygun ülkelerde geliştirilmiş olan büyüme modellerinin kullanılması olabilir.

- Farklı silvikültürel müdahale seçenekleri planlama modellerine yansıtılmalıdır. Örneğin bu çalışmada, silvikültürel müdahalelerin belirlenmesinde sadece gençleştirme ve bakım olmak üzere iki müdahale türü kullanılmıştır. Yine bu çalışmada, silvikültürel müdahalelerin meşcere gelişimi üzerine olan etkileri, müdahale görmüş meşcereler için geliştirilmiş bir hasılat ve büyüme modelinin olmamasından dolayı dikkate alınamamıştır. Oysaki gençleştirme müdahalesi kendi içerisinde genelde doğal ve yapay ve özelde tıraşlama, siperde kesim olmak üzere ayrıntılandırılabilir. Bakım müdahaleleri ise gençlik, ayıklama, sıklık, aralama gibi farklı şekilde sınıflandırılıp

planlamaya yansıtılmalıdır. Dolayısıyla, silvikültürel müdahaleler, örneğin müdahale listesi altında sınıflandırılıp, planlama modellerinde bireysel ya da müdahale kombinasyonları şeklinde kullanılabilir. Yine bu süreçte, her bir müdahalenin meşcere dinamiği üzerindeki etkileri modellenmelidir. Başka bir ifadeyle, farklı müdahalelerin meşcere büyüme ve hasılatı üzerine etkileri, planlamaya yansıtılmalıdır. Bunun için ise, devamlı deneme alanlarına dayalı meşcere ölçümlerinin yapılıp ilgili meşcere parametrelerine ait modellerin geliştirilmesi gerekmektedir.

- Diğer taraftan, maksimum odun üretimi yanı sıra, biyolojik çeşitliliğin sağlanması, rekreasyon hizmetlerinin sunulması, erozyonun önlenmesi, su üretiminin sağlanması ve kültürel değerlerin korunması gibi daha bir çok ekolojik, sosyal ve ekonomik değerlerin bir planda bütünleşik tasarımı, modellenmesi ve planlanmasında simülasyon ve optimizasyon teknikleri yetersiz kalabilmektedir. Özellikle “konumsal amaçlar” ve kısıtların söz konusu olduğu orman planlama problemlerinin çözümünde, kombine optimizasyon tekniklerine dayalı planlama modelleri geliştirilmeli ve kullanılmalıdır. Kombine optimizasyon teknikleri konumsal planlama problemlerine alternatif çözümler sunan tekniklerdir. Bu teknikler yardımıyla, konumsal detayların modellenmesi ve dolayısıyla uygulanabilir planların yapılması daha kolaydır. Oldukça esnek bir yapı oluşturdukları ve dolayısıyla kullanıcıya ihtiyaçlar doğrultusunda modeli değiştirebilme şansı verdiği için, ekosistem tabanlı konumsal orman problemlerinin çözümünde zengin fırsatlar sunmaktadır. Örneğin, kesim bloklarının büyüklüğü, komşu bloklarda kesim zamanlarının ertelenmesi, farklı amaçlara hizmet eden orman parçaları büyüklükleri ve dağılımlarının kontrolü kolaylıkla sağlanabilmektedir. Ayrıca, özel önem arz eden alanların (örneğin, doğal yaşlı ormanlar, yaban hayvanları kışlık alanları, kritik ekosistemler vs) modelde temsil edilmesine imkan sağlamakta ve önceden planlanan meşcerelere özel müdahaleler yapma imkanı sağlamaktadır.
- KDS kullanım kültürü oluşturulmalıdır. Hem CBS hem de optimizasyon ve simülasyon tekniklerinin farklı problemlerin çözümünde kullanımı, elde edilen sonuçların analiz ve yorumuna ilişkin eğitim uygulayıcılara sağlanmalıdır. Konu ile ilgili eğitim, kurum içi uzmanlarla birlikte ilgili araştırmacılar veya üniversiteler tarafından sağlanmalıdır. KDS’lerinin, amenajman heyetleri, uygulayıcılar, araştırmacılar veya mesleki eğitim kurumları tarafından kullanılmasını yaygınlaştırmak için gerekli eğitim ve seminerler verilmelidir. KDS’ inin kullanımı için gerekli eğitim ve bakımı yine KDS’ ini geliştiren

kişi ya da kurumlar tarafından yapılmalıdır. Kısaca, ormancılıkta modelleme kültürü ve anlayışı artık ülkemizde de yerleşmelidir.

- Son yıllarda, özellikle ormancılığı gelişmiş ülkelerde ormancılığa yönelik karar vermeye yardım edecek çok sayıda KDS'leri geliştirilmiştir. Gelişmekte olan ülkeler ise, ekolojik ve ekonomik anlamda uluslar arası süreçler çerçevesinde kendilerini gösterebilmek ve bu bağlamda sorumluluk yada taahhütlerini gerçekleştirmek için bu modelleri satın almak durumundadırlar. Bu yönüyle bakıldığında ormancılık mesleğinde de bir bilgi pazarı oluşmuştur. Türkiye'de de alternatif olarak, orman amenajman planlarının hazırlanmasında kullanmak için bir KDS/yazılımı yurtdışından satın alınabilir. Ancak böyle bir yazılımın Türkiye ormancılık koşullarında uygulanabilirliği tartışılabilir bir konudur. Ayrıca bu tür yazılımların maliyetleri çok yüksek olup, eğitim ve bakım gereksinimlerinin zamanında ve yeterince karşılanması zor olacaktır. Bu yüzden, Türkiye ormancılık koşullarına göre geliştirilmiş bir KDS'nin orman amenajman planları yapım sürecinde kullanılması kaçınılmaz gözükmektedir.
- KDS veya KDS'lerinin Türkiye genelinde kullanımından önce, pilot çalışmalar yapılarak uygunluğu ve doğruluğu kontrol edilmeli, daha sonra Türkiye genelinde kullanılmaya başlanmalıdır. KDS'inin orman amenajman planlarının hazırlanmasında kullanılması için amenajman heyetleri teşvik edilmelidir.

5. KAYNAKLAR

- Alston, R.M. ve Iverson, S.C., 1987. The road from TimberRAM to FORPLAN: how far have we traveled?, Journal of Forestry, 85, 6, 43-49.
- A.P.K., 2000. Orman Fonksiyonlarının Belirlenmesi ve Haritalandırılması İle İlgili El Kitabı, Orman Genel Müdürlüğü, Araştırma, Planlama ve Koordinasyon Kurulu Başkanlığı Yayını, Ankara.
- Algan, S., 2002. UML (Unified Modeling Language) nedir?, <http://www.csharpnedir.com/makalegoster.asp?Mid=6>, 15 Ocak 2008.
- Anonim, 2007. Erzurum Orman Bölge Müdürlüğü, Göle Orman İşletme Müdürlüğü, Yalnızçam Orman İşletme Şefliği, Ekosistem Tabanlı Çok Amaçlı Orman Amenajman Planı, 342 s.
- Arifoğlu, A. ve Doğru, A., 2001. Yazılım Mühendisliği, Seçkin Yayıncılık, Ankara, 361 s.
- Asan, Ü. ve Şengönül, K., 1987. Orman Formlarının Fonksiyonel Açısından Karşılaştırılması, İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, 37, 4, 52-67.
- Asan, Ü., 1995a. Orman Kaynaklarının Rasyonel Kullanımı ve Ülkemizdeki Durum, İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, 45, 3-4, 15-27.
- Asan, Ü., 1995b. Global iklim değişimi ve Türkiye ormanlarında karbon birikimi, İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, 45, 1-2, 23-37.
- Asan, Ü., 1999. Orman Kaynaklarının Çok Amaçlı Kullanımı ve Planlama Sistemleri, Ormanların Çok Amaçlı Planlanması Toplantısı, Mayıs, Bolu, 33-40.
- Asan, Ü., Destan, S. ve Özkan, U.Y., 2002. İstanbul korularının karbon depolama, oksijen üretimi ve toz tutma kapasitesinin kestirilmesi, Orman Amenajmanında Kavramsal Açılımlar ve Yeni Hedefler Sempozyumu, Nisan, İstanbul, Bildiriler Kitabı, 194–202.
- Bertomeu, M. ve Romero, C., 2001. Managing forest biodiversity: a zero – one goal programming approach, Agricultural Systems, 68, 197 – 213.
- 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, Jordan, G.A. ve Nurullah, A.M.M., 2000. Designing Forest landscape management, The Forestry Chronicle, 76, 5, 739-742.

- Başkent, E.Z. ve Jordan, G.A., 2002. Forest landscape management modeling using simulated annealing, Forest Ecology and Management, 165, 29-45.
- Başkent, E. Z., Yolasığmaz, H. A., Mısır, M. ve Çakır, G., 2002a. Kombine Optimizasyon Teknikleri ve Ekosistem Amenajmanı, Orman Amenajmanında Kavramsal Açılımlar ve Yeni Hedefler Sempozyumu, Nisan, İstanbul, Bildiriler Kitabı, 77-88.
- Başkent, E.Z., Köse, S., Yolasığmaz, H.A., Çakır, G. ve Keleş, S., 2002b. Orman Amenajmanında Yeni Açılımlar Çerçevesinde Planlama Sürecinin Tasarımı Ve Yeniden Yapılanma, Orman Amenajmanında Kavramsal Açılımlar Ve Yeni Hedefler Sempozyumu, Nisan, İstanbul, Bildiriler Kitabı, 23-38.
- Başkent, E.Z., 2004. Yöneylem Araştırması Modelleme ve Doğal Kaynak Uygulamaları, K.T.Ü. Orman Fakültesi, Yayın No: 36, Trabzon, 476 s.
- Başkent, E.Z. ve Keleş, S., 2004. Ormanlıkta Model ve Modelleme Kavramlarının Kullanımı ve Genel Değerlendirmesi (1. Bölüm), Orman Mühendisliği Dergisi, 41, 1-2-3, 19-24.
- Başkent, E.Z. ve Keleş, S., 2005. Spatial forest planning: A review, Ecological Modelling, 188, 145-173.
- Başkent, E. Z., Keleş, S., Sivrikaya, F. ve Karahalil, U., 2005. Sürdürülebilir Orman İşletmeciliği ve Planlaması İçin Karar Destek Sistemlerinin Geliştirilmesi, I. Çevre ve Ormanlık Şurası, Mart, Antalya, Bildiriler Kitabı, Cilt 2, 401-410.
- Başkent, E.Z., Keleş, S. ve Yolasığmaz, H.A., 2008. Comparing multi-purpose forest management with timber management in incorporating timber, carbon and oxygen values: A case study, Scandinavian Journal of Forest Research, 23, 2, 105-120.
- Başkent, E.Z. ve Keleş, S., 2008. Developing alternative forest management planning strategies incorporating timber, water and carbon values: An examination of their interactions, Environmental Modeling and Assessment, Basımda.
- Bateman, I.J. ve Lovett, A.A., 2000. Estimating and valuing the carbon sequestered in softwood and hardwood trees, timber products and forest soils in Wales, Journal of Environmental Management, 60, 301-323.
- 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., Sessions, J. ve Johnson, K.N., 1998. Ensuring the compatibility of aquatic habitat and commodity production goals in eastern Oregon with a tabu search procedure, Forest Science, 44, 1, 96-112.
- Bettinger, P., Boston, K. ve Sessions, J., 1999. Combinatorial optimization of elk habitat effectiveness and timber harvest volume, Environmental Modeling and Assessment, 4, 143-153.

- Bettinger, P., Graetz, D., Boston, K., Sessions, J. ve Chung, W., 2002. Eight heuristic planning techniques applied to three increasingly difficult wildlife planning problems, Silva Fennica, 36, 2, 561-584.
- Bettinger, P., Johnson, D.L. ve Johnson, K.N., 2003. Spatial forest plan development with ecological and economic goals, Ecological Modeling, 169, 2-3, 215-236.
- 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.
- Bevers, M. ve Hof, J., 1999. Spatially optimizing wildlife habitat edge effects in forest management linear and mixed integer programs, Forest Science, 45, 2, 249-258.
- Boyland, M., 2007. Hierarchical planning in Forestry, <http://www.forestry.ubc.ca/atlas-simfor/>, 30 Şubat 2008.
- Budakoğlu, S., 2007. Nesne yönelimli analiz ve dizayn aşamaları, Yayınlanmamış özel çalışma, 27 s.
- Bunnell, F.L. ve Boyland, M., 2002. Decision-support systems: it's the question not the model, Journal for Nature Conservation, 10, 269-279.
- Buongiorno, J. ve Gilles, K., 2003. Decision methods for forest resource management, Kluwer Academic Publishers, San Diego, California, 439 s.
- Chappelle, D.E., Mang, M. ve Miley, S.C., 1976. Evaluation of TimberRAM as a forest management planning model, Journal of Forestry, 74, 5, 288-293.
- Chen, B. ve Gadow, K., 2001. User manual of SAGALP, Institute of Forest Resource Management, Georg-August-University, Göttingen, Germany, 6 s.
- 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.
- Covington, W.W., Wood, D.B., Young, D.L., Dykestra, D.P. ve Garrett, L.D., 1988. TEAMS: A decision support system for multiresource management, Journal of Forestry, 86, 8, 25-33.
- Cox, E.S. ve Sullivan, J., 1995. Harvest scheduling with spatial wildlife constraints: An empirical examination of tradeoffs, Journal of Environmental Management, 43, 333-348.
- Çepel, N., 1993. Toprak-Su-Bitki İlişkileri, İ.Ü. Yayın No. 3974, Enstitü Yayın No. 5, ISBN 975-404-320-5, 236 s.

- Çepel, N., 1995. Orman Ekolojisi, İ.Ü. Yayını No. 3886, Sosyal B.M.Y.O. Yayın No. 433, ISBN 975-404-398-1, 536 s.
- Daust, D.K. ve Nelson, J.D., 1993. Spatial reduction factors for strata-based harvest schedules, Forest Science, 39, 1, 152-165.
- Davis, R., 1999. Strategic forest management model version 1.6 user guide. Ministry of Natural Resources, Queen's Printer for Ontario, Canada.
- Davis, L.S., Johnson, K.N., Bettinger, P. ve Howard, T.E., 2001. Forest Management: to Sustain Ecological, Economic, and Social Values. McGraw-Hill Companies Inc, U.S.A., 804 s.
- 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.
- Durusoy, İ., 2002. Sertifikalandırma ve Türkiye Ormancılığında Gerekliliği, Olabilirliği, Uygulanması Sürecinde Karşılaşılması Muhtemel Darboğazların ve Fırsatların İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Eid, T. ve Hobbestad, K., 2000. AVVIRK – 2000: A large scale forestry scenario model for long term investment, income and harvest analyses, Scandinavian Journal of Forest Research, 15, 472 – 482.
- Eid, T., Hoen, H.F. ve Okseter, P., 2001. Economic consequences of sustainable forest management regimes at non – industrial forest owner level in Norway, Forest Policy and Economics, 2, 213-228.
- Enderlein, R. ve Bernardini, F., 2005. Nature for water: Ecosystem services and water management, Natural Resources Forum, 29, 3, 253-255.
- Eraslan, İ., 1981. Aynıyaşlı ormanların optimal kuruluşlara götürülmesinde kullanılabilirlik artım yüzdeleri simülasyon yöntemi, İ.Ü. Orman Fakültesi, Yayın No: 289, İstanbul, 38 s.
- Eraslan, İ. ve Asan, Ü., 1989. Orman Amenajmanı Planı Verilerinin Güncelleştirilmesi Yöntemleri Üzerine Bir Araştırma, İ. Ü. Orman Fakültesi Dergisi, 39, 2, 32-47.
- Eraslan, İ. ve Şad, C., 1993. Orman Amenajmanı, İ.Ü. Edebiyat Fakültesi Basımevi, Orman Fakültesi Yayını, No : 123, İstanbul, 420 s.
- Eraslan, İ. ve Eler, Ü., 2003. Orman işletmesinin planlaması ve denetimi, S.D.Ü. Orman Fakültesi, No: 35, Isparta, 408 s.
- Garcia, O., 1990. LP and related approaches in forest planning, 12th Triennial Conference of the International Federation of Operations Research Societies, Athens, Greece, 25-29.

- Görcelioğlu, E., 1993. Ormancılık Etkinliklerinin Su Kalitesine Etkileri, İ.Ü. Orman Fak. Dergisi, 43, 1-2, 1-14.
- Greer, K. ve Meneghin, B., 1991. SPECTRUM. An analytical tool for building natural resource management models, Ecosystem Management Analysis Center, USDA Forest Service, Research Paper, <http://ncrs.fs.fed.us/pubs/gtr/other/gtr-nc205/abstracts.htm/profiles/p53.pdf>, 28 Mart 2008.
- Gunn, E.G., 1991. Some aspects of hierarchical production planning in forest management. In: Proceedings of the 1991 Symposium on Systems Analysis in Forest Resources, March, South Carolina, USDA FS General Technical Report, SE-74, 54-62.
- 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.
- Gustafson, E.J. ve Crow, T.R., 1999. HARVEST: linking timber harvest strategies to landscape patterns, In: Mladenoff, D.J., Baker, W.L. (Eds.), Spatial Modeling of Forest Landscapes: Approaches and Applications, Cambridge University Press, UK, 309-332.
- Gustafson, E.J., Shifley, S.R., Mladenoff, D.J., Nimerfo, K.K. ve He, H.S., 2000. Spatial simulation of forest succession and timber harvesting using LANDIS, Canadian Journal of Forest Research, 31, 32 – 43.
- Gustafson, E., J. ve Rasmussen, L.V., 2002. Assessing the spatial implications of interactions among strategic forest management options using a Windows – based harvest Simulator, Computers and Electronics in Agriculture, 33, 179 – 196.
- Gustafson, E.J., Roberts, L.J. ve Leefers, L.A., 2006. Linking linear programming and spatial simulation models to predict landscape effects of forest management alternatives, Journal of Environmental Management, 81, 4, 339-350.
- Gül, A.U., 1990. Orman Amenajman Planlarının Bilgisayar Yardımıyla Hazırlanması, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Gül, A.U., 1998. Orman Amenajmanında İşlevsel Planlamanın Doğrusal Programlama ile Gerçekleştirilmesi, Bireysel Araştırma, Yayınlanmamıştır, Trabzon.
- Güngören, B., 2005. UML ile Nesne Tabanlı Çözümleme ve Tasarım, Seçkin Yayıncılık, Ankara, 222 s.
- Hobbelstad, K. ve Hofstad, O., 1988. AVVIRK 3, a model for long-term forest planning, Reports of Norwegian Forest Research Institute, 41, ISBN 82-7169-401-4, 503-516

- Hof, J.G. ve Baltic, T.J., 1990. Cost Effectiveness from Regional Optimization in the USDA Forest Service, Forest Science, 36, 4, 939-954.
- Hof, J., Bevers, M., Joyce, L. ve Kent, B., 1994. An integer programming approach for spatially and temporally optimizing wildlife populations, Forest Science, 40, 1, 177-191.
- Hof, J.G. ve Bevers, M., 2000. Optimal timber harvest scheduling with spatially defined sediment objectives, Canadian Journal of Forest Research, 30, 9, 1494-1500.
- Hoganson, H.M. ve Borges, J.G., 1998. Using dynamic programming and overlapping subproblems to address adjacency in large harvest scheduling problems, Forest Science, 44, 4, 526-538.
- Huston, M. ve Marland, G., 2003. Carbon management and biodiversity, Journal of Environmental Management, 67, 77-86.
- Hynynen, J., Ahtikoski, A., Siitonen, J., Sievanen, R. ve Liski, J., 2005. Applying the MOTTI Simulator to analyse the effects of alternative management schedules on timber and non – timber production, Forest Ecology and Management, 207, 5-18.
- Johnson, K. ve Jones, D.B., 1980. A user's guide to multiple use-sustained yield resource scheduling (MUSYC), USDA Forest Service, Fort Collins, Colorado, USA.
- Johnson, K., Stuart, T. ve Crimm, S., 1986. FORPLAN Version 2: An overview, USDA Forest Service, Land Management Planning Systems Section, Washington – USA, 80 s.
- Jordan, G.A. ve Başkent, E.Z., 1992. A case study in spatial wood supply analysis, Forestry Chronicle, 68, 4, 503-516.
- Kaipainen, T., Liski, J., Pussinen, A. ve Karjalainen, T., 2004. Managing carbon sinks by changing rotation length in European forests, Environmental Science and Policy, 7, 205-219.
- Kangas, J., Store, R., Leskinen, P. ve Mehtatalo, L., 2000. Improving the quality of landscape ecological forest planning by utilizing advanced decision support tools, Forest Ecology and Management, 132, 157-171.
- Kapucu, F., 2004. Orman Amenajmanı, K.T.Ü. Basımevi, K.T.Ü. Orman Fakültesi, Yayın No: 33, Trabzon, 515 s.
- Karahalil, U., 2003. Toprak Koruma ve Odun Üretimi Fonksiyonlarının Doğrusal Programlama ile Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Keleş, S., 2003. Ormanların su ve odun üretimi fonksiyonlarının doğrusal programlama tekniği ile optimizasyonu (Karanlıkdere Planlama Birimi Örneği), Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

- Keleş, S., Karahalil, U. ve Köse, S., 2005a. Ormanların Toprak Koruma ve Su Üretimi Fonksiyonlarının Odun Üretimi İle Birlikte Planlanması, K.S.Ü. Fen ve Mühendislik Dergisi, 8, 1, 65-75.
- Keleş, S., Karahalil, U., Sivrikaya, F., Cakir, G. ve Başkent, E.Z., 2005b. Multipurpose Forest Planning with Mathematical Optimization Techniques: A Case-study. The Multifunctional Role of Forests: Policies, Methods and Case Studies, Padova, Italy, EFI Proceedings, No: 55, 341-349.
- Keleş, S., Kadioğulları, A.İ. ve Başkent, E.Z., 2005c. Tamsayılı programlama tekniği ile ormanların çok amaçlı planlanması, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 21, 1-2, 223-234.
- Keleş, S. ve Başkent, E.Z., 2006. Orman Ekosistemlerindeki Karbon Değişiminin Orman Amenajman Planlarına Yansıtılması: Kavramsal Çerçeve ve Bir Örnek Uygulama (1. Bölüm), Orman ve Av Dergisi, 83, 2, 36-41.
- Keleş, S., Yolasığmaz, H.A. ve Başkent, E.Z., 2007. Long term modeling and analyzing of some important forest ecosystem values with linear programming, Fresenius Environmental Bulletin, 16, 8, 963-972.
- Keleş, S. ve Başkent, E.Z., 2007. Modeling and analyzing timber production and carbon sequestration values of forest ecosystems: A case study, Polish Journal of Environmental Studies, 16, 3, 473-479.
- Köse, S., 1986. Orman işletmelerinin planlanmasında yöneylem araştırması yöntemlerinden yararlanma olanakları, Doktora Tezi, K.T.Ü., 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.
- Köseoğlu, K., 2004. Programcılık Mantığı, Pusula Yayıncılık, İstanbul, 434 s.
- Lal, R., 2005. Forest soils and carbon sequestration, Forest Ecology and Management, 220, 242-258.
- Lappi, J., 1992. JLP: A linear programming package for management planning, Finnish Forest Research Institute, Research Paper 414, ISBN 951-40-1218-6, 134 s.
- Liang, Y., 2003. From use cases to classes: a way of building object model with UML, Information and Software Technology, 45, 83-93.
- Lim, B., Brown, S. ve Schlamadinger, B., 1999. Carbon accounting for forest harvesting and wood products: review and evaluation of different approaches, Environmental Science and Policy, 2, 207-216.
- Liu, G., Nelson, J.D. ve Wardman, C.W., 2000. A target-oriented approach to forest

- ecosystem design-changing the rules of forest planning, Ecological Modeling, 127, 269-281.
- Liu, J., Peng, C., Apps, M., Dang, Q., Banfield, E. ve Kurz, W., 2002. Historic carbon budgets of Ontario's forest ecosystems, Forest Ecology and Management, 169, 103-114.
- Lockwood, C. ve Moore, T., 1993. Harvest scheduling with spatial constraints: a simulated annealing approach, Canadian Journal of Forest Research, 23, 468-478.
- Makowski, M., 1991. Selected issues of design and implementation of Decision Support Systems; Marek Makowski, Working Paper, WP-91-16.
- Makowski, M., 1994. Design and Implementation of model – based decision support systems, Working Paper, WP-91-17.
- Martell, D.L., Gunn, E.A. ve Weintraub, A., 1998. Forest management challenges for operational researchers, European Journal of Operational Research, 104, 1-17.
- Masera, O.R., Garza-Caligaris, J.F., Kanninen, M., Karjalainen, T., Liski, J., Nabuurs, G.J., Pussinen, A., de Jong, B.H.J. ve Mohren, G.M.J., 2003. Modeling carbon sequestration in afforestation, agroforestry and forest management projects: the CO2FIX V.2 approach, Ecological Modelling, 164, 177-199.
- Mathey, A., Krcmar K., Taitb, D., Vertinsky, I. ve Innes, J., 2007. Forest planning using co-evolutionary cellular automata, Forest Ecology and Management, 239, 1-3, 45-56.
- McDill, M.E. ve Braze, J., 2000. Comparing adjacency constraint formulations for randomly generated forest planning problems with four age-class distributions, Forest Science, 46, 3, 423-436.
- MMFA., 2001. ECHO planning System, planner's uder guide, McGregor Model Forest Association, British Columbia, Canada, <http://www.mcgregor.bc.ca/>, 30 Ocak 2008.
- MısıR, M., 2001. Çok Amaçlı Orman Amenajman Planlarının Coğrafi Bilgi Sistemlerine Dayalı Olarak amaç Programlama Yöntemiyle Düzenlenmesi (Ormanüstü Planlama Birimi Örneği), 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.
- Mowrer, T., 1997. Decision support systems for ecosystem management: an evaluation of existing systems, General Technical Report, USDA Forest Service, USA, <http://www.ncsonline.org/NCSSF/DSS/Documents/docs/Mowrer1997.doc>, 15 Mart 2008.

- Mumcu, D., 2007. Yalnızçam ormanlarının ekosistem tabanlı çok amaçlı planlanması ve orman dinamiğinin ekonomik ve idare süreleri açısından değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Murray, A.T. ve Church, R.L., 1995. Heuristic solution approaches to operational forest planning problems, OR Spektrum, 17, 193–203.
- Nalle, D.J., Montgomery, C.A., Arthur, J.L., Polasky, S. ve Schumaker, N.H., 2004. Modeling joint production of wildlife and timber, Journal of Environmental Economics and Management, 48, 3, 997-1017.
- 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., 1995. Derivation of a predictive model for production of tree species composition maps at small scales using discriminate function analysis, Scandinavian Journal of Forest Research, 10, 90–96.
- Nasset, E., 1997. GIS in long-term forest management and planning with special reference to preservation of biological diversity: a review, Forest Ecology and Management, 93, 121–136.
- Navon, D., 1971. TimberRAM, Research Paper, USDA Forest Service, USA, PSW-70.
- NCASI., 2006. HABPLAN user manual, NCASI Statistics and Model Development Group, Canada, <http://ncasi.uml.edu/>, 15 Ocak 2008.
- Nelson, J. ve Brodie, J.D., 1990. Comparison of a random search algorithm and mixed integer programming for solving area-based forest plans, Canadian Journal of Forest Research, 20, 934-942.
- Nelson, J.D., 2000. ATLAS operations manual, Faculty of Forestry, University of British Columbia, Vancouver, Canada, <http://www.forestry.ubc.ca/atlas-simfor/extension/docs.html#ATLAS>, 20 Ocak 2008.
- Nelson, J.D., 2003. FPS-ATLAS database manual: Version 6, Faculty of Forestry, University of British Columbia, Vancouver, Canada, <http://www.forestry.ubc.ca/atlas-simfor/extension/docs.html#ATLAS>, 20 Ocak 2008.
- Ney, R.A., Schnoor, J.L. ve Mancuso, M.A., 2002. A methodology to estimate carbon storage and flux in forestland using existing forest and soils databases, Environmental Monitoring and Assessment, 78, 291-307.
- Nieuwenhuis, M. ve Tiernan, D., 2005. The impact of the introduction of sustainable forest management objectives on the optimization of PC – based forest – level harvest schedules, Forest Policy and Economics, 7, 4, 689-701.

- Nowak, D. J., Hoehn, R. ve Crane, D. E., 2007. Oxygen production by urban trees in the United States, Arboriculture and Urban Forestry, 33, 220-226.
- O'Hara, A.J., Faaland, B.H. ve Bare, B.B., 1989. Spatially constrained timber harvest scheduling, Canadian Journal of Forest Research, 19, 715-724.
- Ok, K., 1997. Aynıyaşlı ormanlarda kesim düzeninin ekonomik analizi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özhan, S., 1982. Belgrad Ormanındaki Bazı Meşcerelerde Evapotranspirasyonun Deneysel Olarak Saptanması ve Sonuçların Ampirik Modellerle Karşılaştırılması, İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, 32, 2, 219-261.
- Özhan, S. ve Gökbülak, F., 2001. Bitki Örtüsünün Su Üretim Havzalarının Su Verimi Üzerindeki Etkileri, 1. Türkiye Su Kongresi, Ocak, İstanbul, Bildiriler Kitabı, Cilt 1, 105-112.
- Özyuvacı, N., 1976. Arnavutköy Deresi Yağış Havzasında Hidrolojik Durumu Etkileyen Bazı Bitki-Toprak-Su İlişkileri, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayını, İ.Ü. Yayın no: 2082, Orman Fakültesi Yayın No:221, 247 s.
- Parades, G.L. ve Brodie, J.D., 1988. Activity Analysis in Forest Planning, Forest Science, 34, 1, 3-18.
- Pearce, D.W., 2001. The economic value of forest ecosystems, Ecosystem Health, 7, 4, 284-296.
- Perdue, M. ve Nelson, J.D., 2000. ATLAS/FPS tutorial manual, Faculty of Forestry, University of British Columbia, Vancouver, Canada, <http://www.forestry.ubc.ca/atlas-simfor/extension/docs.html#ATLAS>, 20 Ocak 2008.
- Pukkala, T., 2004. Dealing with ecological objectives in the MONSU planning system, Silva Lusitana, no especial, 1-15.
- Pukkala T. ve Heinonen, T., 2006. Optimizing heuristic search in forest planning, Nonlinear Analysis: Real World Applications, 7, 1284-1297.
- Pussinen, A., Karjalainen, T., Kellomaki, S. ve Makipaa, S., 1997. Potential contribution of the forest sector to carbon sequestration in Finland, Biomass and Bioenergy, 13, 6, 377-387.
- Rauscher, H.M., 1999. Ecosystem management decision support for federal forests in the United States: a review, Forest Ecology and Management, 114, 173-197.
- Redsven, V., Anola-Pukkila, A., Haara, A., Hirvelä, H., Härkönen, K., Kettunen, L., Kiiskinen, A., Kärkkäinen, L., Lempinen, R., Muinonen, E., Nuutinen, T., Salminen, O. ve Siitonen, M. 2005. MELA2005 Reference Manual, The Finnish Forest Research Institute, Finland, ISBN: 951-40-1974-1, 621 s.

- Reynolds, K.M., 2005. Integrated decision support for sustainable forest management in the United States: Fact or fiction?, Computers and Electronics in Agriculture, 49, 1, 6-23.
- 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.
- Rowse, J. ve Center, C.J., 1998. Forest Harvesting to Optimize Timber Production and Water Runoff, Socio-Econ. Plan. Sci., 32, 4, 277-293.
- Rumbaugh, J., Jacobson, I. ve Booch, G., 1999. The unified modelling language reference manual, Addison – Wesley Longman Inc., 550 s.
- Saastamoinen, O., 1994. Lecturer notes for the economics of multiple use Forestry, University of Joensuu, Faculty of Forestry, Finland.
- Scott, J., 1991. SARA user's manual, version 1991.1, Berkeley, CA: Department of Forestry and Resource Management, University of California at Berkeley, USA.
- Sessions, J. ve Bettinger, P., 2007. Hierarchical planning: pathway to the future? <http://www.cfr.washington.edu/Outreach/Postprefor/Sessions%20final.pdf>, 10 Mart 2008.
- Sivrikaya, F., 2008. Türkiye'de Orman Amenajman Planlama Model Yazılımının Geliştirilmesi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Song, C. ve Woodcock, C.E., 2003. A regional forest ecosystem carbon budget model: impacts of forest age structure and land use history, Ecological Modelling, 164, 33-47.
- Soykan, B., 1979. Aynıyaşlı ormanların aktüel kuruluşlarının optimal kuruluşa yaklaştırılmasında yöneylem araştırması metotlarından yararlanma olanaklarının araştırılması, K.T.Ü. Yayın No: 106, Orman Fakültesi Yayın No:5, Trabzon, 252 s.
- Sönmez, T., 2004. Ülkemiz Ormancılığında Konumsal Veri Tabanının Tasarımı, Kurulması ve Uygulamaları, (Artvin Merkez İşletme Şefliği Örneği), Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Stednic, J.D., 1996. Monitoring the effects of timber harvest on annual water yield, Journal of Hydrology, 176, 79-95.
- Strange, N., Tarp, P., Helles, F. ve Brodie, J. D., 1999. A four –stage approach to evaluate management alternatives in multiple – use forestry, Forest Ecology and Management, 124, 79 -91.
- Sun, O., Eren, E. ve Orpak, M., 1977. Temel Ağaç türlerimizde Tek ağaç ve Birim Alandaki Odun Çeşidi Oranlarının Saptanması, TÜBİTAK/TOAG-288 araştırma projesi, Ankara.

- Tiernan, D. ve Nieuwenhuis, M., 2005. Financial optimisation of forest-level harvest scheduling in Ireland – A case study, Journal of Forest Economics, 11, 1, 21-43.
- Türker, M.F., 2000. Orman İşletmeciliği Ders Notları, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Ders Notları, No: 59, Trabzon, 226 s.
- Van Raffe, J.K., 2000. Tactic: a decision support system for forest management planning, Computers and Electronics in Agriculture, 27, 413-415.
- Walters, K.R., 1993. Design and development of a generalized forest management modeling system: WOODSTOCK, Proceedings of the International Symposium on Systems Analysis and Management Decisions in Forestry, Valdivia, Chile, 190-196.
- Wang, P., 1987. Wood Supply Forecasting Techniques, Research Paper, Canada.
- Weintraub, A. ve Cholaky, A., 1991. A hierarchical approach to forest planning, Forest Science, 37, 2, 439-460.
- Weintraub, A., Church, R.L., Murray, A.T. ve Guignard, M., 2000. Forest management models and combinatorial algorithms: analysis of state of the art, Annals of Operations Research, 96, 271-285.
- Wightman, R.A. ve Baskent, E.Z., 1994. Forest neighborhoods for timber harvest scheduling, Forestry Chronicle, 70, 6, 768-772.
- Wood, D.B., Fox, B.E. ve Covington, W.W., 1989. Computer-based approach for teaching multiresource management, Journal of Forestry, 87, 11, 11-15.
- Yolasığmaz, H.A., 2004. Orman Ekosistem Amenajmanı Kavramı ve Türkiye’de Uygulaması, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Yolasığmaz, H.A., Sivrikaya, F., Keleş, S. ve Günlü, A., 2005a. Ekosistem tabanlı çok amaçlı planlama, 1. Çevre ve Ormancılık Şurası, Mart, Antalya, Bildiriler Kitabı, Cilt 2, 340-350.
- Yolasığmaz, H.A., Başkent, E.Z., Keleş, S. ve Günlü, A., 2005b. Ladin ormanlarında ekosistem tabanlı çok amaçlı planlama sürecinin uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi. Ladin Sempozyumu, Ekim, Trabzon, Bildiriler Kitabı, Cilt 2, 595-604.
- Yomralıoğlu, T., 2000. Coğrafi Bilgi Sistemleri Temel Kavramlar ve Uygulamalar, Seçil ofset, İstanbul, 500 s.
- Zhou, W. ve Gong, P., 2003. Multiple Tradeoffs in Swedish mountain region forests, Forest Policy and Economics, 7, 1, 39-52.

ÖZGEÇMİŞ

1979 yılında Ankara’da doğan Sedat Keleş, ilk ve orta öğrenimini yine aynı şehirde tamamlamıştır. 1996 yılında girdiği Karadeniz Teknik Üniversitesini 2000 yılında başarıyla/dereceyle tamamlamıştır. Aynı yıl, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans öğrenimine başlamış ve 2000–2001 eğitim öğretim döneminde Karadeniz Teknik Üniversitesi Yabancı Diller bölümünde bir yıl süreyle İngilizce eğitimi almıştır. Aralık 2001 tarihinde, Ankara Üniversitesi Çankırı Orman Fakültesi Orman Mühendisliği Bölümüne Araştırma Görevlisi olarak atanmıştır. Nisan 2002 yılında, Yüksek Öğretim Kurumunun 2547 sayılı Kanunu’nun 35. maddesi esaslarına göre, yüksek lisans ve doktora eğitimini tamamlamak için Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalında görevlendirilmiştir. 2003 yılının ağustos ayında “Ormanların su ve odun üretimi fonksiyonlarının doğrusal programlama tekniği ile optimizasyonu” adlı yüksek lisans tezini tamamlayarak, Yüksek Mühendis unvanı almış ve hemen akabinde Eylül 2003 tarihinde aynı üniversitede doktora eğitimine başlamıştır. Diğer taraftan Anadolu Üniversitesi İktisat Fakültesi İktisat Bölümü lisans eğitimini sürdürmektedir. 2006-2007 öğretim dönemi bahar yarıyılında ERASMUS SOCRATES bursu kapsamında Finlandiya’nın Joensuu Üniversitesi Orman Fakültesinde bir dönem doktora çalışmalarına paralel dersler almıştır. Çok sayıda ulusal ve uluslararası makale ve bildiriye sahip olan Sedat Keleş, 2003-2008 TÜBİTAK Yurt İçi Doktora Bursu, 2005-2006 Öğretim Yılı KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Başarı Teşvik Ödülü (Birinci Sırada), çok sayıda TÜBİTAK ve KTÜ Bilimsel Yayınları Teşvik Ödülü ile TÜBİTAK Uluslararası Bilimsel Etkinliklere Katılım Ödülü almıştır. Halen Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesinde görevini sürdüren Sedat Keleş evli olup, iyi derecede İngilizce bilmektedir.