



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

**MEŞCERELERİN GENÇLEŞTİRME VE BAKIM DÜZENİNİN SU
MİKTAR VE KALİTESİ AÇISINDAN OPTİMİZE EDİLMESİ**

AHMET SALİH DEĞERMENCİ

**DOKTORA TEZİ
ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. HAYATİ ZENGİN**

DÜZCE, 2018

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**Meşcerelerin Gençleştirme ve Bakım Düzeninin Su Miktar ve Kalitesi Açısından
Optimize Edilmesi**

Ahmet Salih DEĞERMENCİ tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Hayati ZENGİN
Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

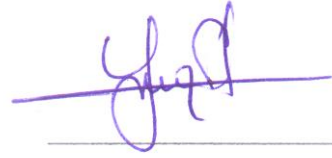
Doç. Dr. Hayati ZENGİN
Düzce Üniversitesi

Prof. Dr. Oktay YILDIZ
Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Ulaş Yunus ÖZKAN
İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet ÖZCAN
Düzce Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Uzay KARAHALİL
Karadeniz Teknik Üniversitesi



Tez Savunma Tarihi: 08/10/2018

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.



8 Ekim 2018

Ahmet Salih DEĞERMENCİ

TEŞEKKÜR

Doktora öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Doç. Dr. Hayati ZENGİN'e en içten dileklerle teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca değerli katkılarını esirgemeyen saygıdeğer hocalarım Dr. Öğr. Üyesi Mehmet ÖZCAN, Dr. Öğr. Üyesi Uzay KARAHALİL, Arş Gör. Dr. Tarık ÇİTGEZ'e de şükranlarımı sunarım. Ayrıca arazi çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen Orm. Müh. Yusuf ERCAN ve Orm. Müh. Serdar DAYIOĞLU'na da teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili aileme ve özellikle beni her konuda destekleyen eşim Zerrin DEĞERMENCİ ve oğlum Ömer DEĞERMENCİ'ye ayrıca teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması kapsamında 2214-Doktora Sırası Araştırma Bursu ile beni 1 yıl süreyle ABD, Georgia Üniversitesi'ne gönderen ve destekleyen Tübitak-Bideb'e ve Devletimize sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yurt dışı araştırmam kapsamında Georgia Üniversitesi, Warnell School of Forestry and Natural Resources'da danışmanlığımı yapan Sayın Prof. Dr. Pete BETTINGER'e de şükranlarımı sunarım.

Bu tez çalışması, TÜBİTAK-TOVAG 2130199 numaralı COST projesiyle desteklenmiştir.

Adını sayamadığım diğer arkadaşlarıma da teşekkür eder, bu çalışmanın ormancılık çalışmalarına katkıda bulunmasını temenni ederim.

8 Ekim 2018

Ahmet Salih DEĞERMENCİ

İÇİNDEKİLER

ŞEKİL LİSTESİ.....	VII
ÇİZELGE LİSTESİ.....	IX
KISALTMALAR.....	X
ÖZET.....	XI
ABSTRACT.....	XII
EXTENDED ABSTRACT.....	XIII
1.GİRİŞ.....	1
1.1.EKOSİSTEM TABANLI ÇOK AMAÇLI PLANLAMA (ETÇAP).....	7
1.2.ORMAN FONKSİYONLARI.....	9
1.2.1.Orman Ürünleri Üretimi Fonksiyonu.....	9
1.2.2.Ormanların Karbon Depolama Fonksiyonu.....	10
1.2.3.Ormanların Hidrolojik Fonksiyonu ve Su Kaynaklarına Etkileri.....	11
1.3.ORMAN AMENAJMAN PLANLARINDA MODELLEME.....	16
1.3.1.Doğrusal Programlama.....	17
1.3.2.Tamsayı Programlama.....	20
1.4.ORMANLARIN SU KALİTESİ VE VERİMİNE YÖNELİK YAPILAN MODELLEME ÇALIŞMALARI.....	21
2.MATERYAL VE YÖNTEM.....	26
2.1.MATERYAL.....	26
2.1.1.Çalışma Alanı.....	26
2.1.2.Çalışma Kapsamında Kullanılan Materyaller.....	36
2.2.YÖNTEM.....	37
2.2.1.Su Seviyesi ve Kalitesine Yönelik Verilerin Elde Edilmesi.....	37
2.2.2.Havza Karakteristiklerine İlişkin Verilerin Hesaplanması.....	42
2.2.3.Ağaç ve Toprak Üstü Bitki Tabakasına İlişkin Verilerin Elde Edilmesi.....	43
2.2.4.Toprak Örneklerinin Alınması ve Analiz Edilmesi.....	46
2.2.5.Envanter Verilerinin Değerlendirilmesi.....	47

2.2.6.Planlama Birimi Karbon Miktarının Hesaplanması.....	48
2.2.7.Net Bugünkü Değerin Hesaplanması	49
2.2.8.Planlama Modelinin Kurulması ve Büyüme Matrislerinin Oluşturulması	50
2.2.9.Planlama Stratejilerinin Belirlenmesi.....	58
3.BULGULAR VE TARTIŞMA	61
3.1.ÇALIŞMA ALANINI OLUŞTURAN HAVZALARA İLİŞKİN BULGULAR	61
3.1.1.Havza Karakteristiklerine İlişkin Bulgular	61
3.1.2.Havzalardaki Meşcere Yapısına İlişkin Bulgular.....	62
3.1.3.Havzaların Toprak Yapısına İlişkin Bulgular	65
3.2.SU VERİMİNE İLİŞKİN BULGULAR	67
3.3.SU KALİTESİNE İLİŞKİN BULGULAR	70
3.4.PLANLAMA STRATEJİLERİNE İLİŞKİN BULGULAR	72
3.4.1.Planlama Stratejilerine Ait Özel Bulgular	73
3.4.2.Planlama Stratejilerine Ait Genel Bulgular	103
3.4.3.Plan Stratejileri Sonuçları İle Klasik Plan Sonuçlarının Karşılaştırılması	128
4.SONUÇLAR VE ÖNERİLER	130
5.KAYNAKLAR.....	141
ÖZGEÇMİŞ	150

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. Çalışma yapılan havzaların konumları [80].....	27
Şekil 2.2. Düzce ili ve çalışma yapılan havzalara ilişkin jeoloji haritası.....	28
Şekil 2.3. Planlama birimi coğrafi konumu ve meşcere haritası.	29
Şekil 2.4. Planlama birimi sayısal yükseklik modeli.	30
Şekil 2.5. Planlama birimi eğim sınıfları haritası.	32
Şekil 2.6. Planlama birimi bakı haritası.	33
Şekil 2.7. Havzaların çıkışına su birikmesi için monte edilen kalın tahtalar ile su ölçüm aletlerinin korunması için koyulan metal silindir.....	38
Şekil 2.8. Levelogger ve barologger cihazlarının bilgisayar ortamında kalibre edilmesi ve silindirin içerisine yerleştirilmesi.	39
Şekil 2.9. Levelogger ve barologger verilerinin aktarılması ve kompanse edilmesinde kullanılan Solinst 4.1 yazılımı.....	40
Şekil 2.10. Su hızı ölçümlerine ilişkin görüntüler.	41
Şekil 2.11. Su kalitesine yönelik ölçümlerden görüntüler.	42
Şekil 2.12. Sistematik olarak atılan örnek alanların bir havza üzerindeki dağılımı.	44
Şekil 2.13. 10 ağaç envanter örneklemesinin gösterimi ve kullanılan envanter karnesi.	45
Şekil 2.14. Arazi çalışmalarından bazı görüntüler.....	45
Şekil 2.15. Çiçekli orman işletme şefliği amaca uygun belirlenmiş fonksiyon haritası.	54
Şekil 3.1. ST1'e göre her bir periyotta gençleştirilen orman alanları.....	74
Şekil 3.2. ST1 planlama stratejisi dikili servet miktarlarındaki değişimler.....	75
Şekil 3.3. ST1 planlama stratejisine göre planlama ufku boyunca üretilen su miktarları.	76
Şekil 3.4. ST1 planlama stratejisi periyodik olarak bağlanan karbon miktarları.....	77
Şekil 3.5. ST2 planlama stratejisine göre periyotlarda gençleştirilen alan miktarları. ...	78
Şekil 3.6. ST2 planlama stratejisi dikili servet miktarlarındaki değişimler.....	79
Şekil 3.7. ST2 planlama stratejisine göre planlama ufku boyunca üretilen su miktarları.	80
Şekil 3.8. ST2 planlama stratejisine göre periyodik olarak bağlanan karbon miktarları.....	81
Şekil 3.9. ST3 planlama stratejisine göre periyotlarda gençleştirilen alan miktarları. ...	83
Şekil 3.10. ST3 planlama stratejisi dikili servet miktarlarındaki değişimler.....	84
Şekil 3.11. ST3 planlama stratejisine göre planlama ufku boyunca üretilen su miktarları.	85
Şekil 3.12. ST3 planlama stratejisine göre periyodik olarak bağlanan karbon miktarları.	85
Şekil 3.13. ST4 planlama stratejisine göre her bir periyotta gençleştirilen orman alanları.	87
Şekil 3.14. ST4 planlama stratejisi dikili servet miktarlarındaki değişimler.....	88
Şekil 3.15. ST4 planlama stratejisine göre planlama ufku boyunca üretilen su miktarları.	88
Şekil 3.16. ST4 planlama stratejisine göre periyodik olarak bağlanan karbon miktarları.	89
Şekil 3.17. ST5 planlama stratejisine göre her bir periyotta gençleştirilen orman alanları.	89

.....	91
Şekil 3.18. ST5 planlama stratejisi dikili servet miktarlarındaki değişimler.....	92
Şekil 3.19. ST5 planlama stratejisine göre planlama ufku boyunca üretilen su miktarları.	93
Şekil 3.20. ST5 planlama stratejisi periyodik bağlanan karbon miktarları.....	94
Şekil 3.21. ST6 planlama stratejisine göre her bir periyotta gençleştirilen orman alanları.	96
Şekil 3.22. ST6 planlama stratejisi dikili servet miktarlarındaki değişimler.....	97
Şekil 3.23. ST6 planlama stratejisine göre planlama ufku boyunca üretilen su miktarları.	98
Şekil 3.24. ST6 planlama stratejisi periyodik bağlanan karbon miktarları.....	98
Şekil 3.25. ST7 planlama stratejisine göre her bir periyotta gençleştirilen orman alanları.	100
Şekil 3.26. ST7 planlama stratejisi dikili servet miktarlarındaki değişimler.....	101
Şekil 3.27. ST7 planlama stratejisine göre planlama ufku boyunca üretilen su miktarları.	102
Şekil 3.28. ST7 planlama stratejisi periyodik olarak bağlanan karbon miktarları.....	102
Şekil 3.29. Planlama stratejilerinin net bugünkü değerlerine göre periyodik kâr dağılımları.	106
Şekil 3.30. Dikili servet miktarlarının plan ufku boyunca farklı stratejilere göre değişimi.	107
Şekil 3.31. Tüm planlama stratejilerinin periyotlara göre ara hasılat etası dağılımları.	108
Şekil 3.32. Tüm planlama stratejilerinin periyotlara göre son hasılat etası dağılımları.	109
Şekil 3.33. Tüm planlama stratejileri toplam eta miktarları dağılımları.....	110
Şekil 3.34. Planlama stratejilerine göre tüm eta miktarlarının dağılımları.	110
Şekil 3.35. Planlama stratejilerine göre gençleştirilen alan miktarları.	111
Şekil 3.36. Plan ufku sonunda planlama stratejileri yaş sınıfları dağılımları.	112
Şekil 3.37. Planlama stratejilerine göre odun ürün çeşitleri dağılımı.	114
Şekil 3.38. Planlama stratejilerine göre planlama ufku boyunca bağlanan karbon miktarları.	115
Şekil 3.39. Planlama stratejilerine göre plan ufku boyunca toplam üretilen su miktarları.	116
Şekil 3.40. Planlama stratejilerinin periyotlara göre su üretimi miktarları.....	116
Şekil 3.41. ST1 Planlama stratejisi plan ufku boyunca kesim planı haritası.	118
Şekil 3.42. ST2 Planlama stratejisi plan ufku boyunca kesim planı haritası.	119
Şekil 3.43. ST3 Planlama stratejisi plan ufku boyunca kesim planı haritası.	120
Şekil 3.44. ST4 Planlama stratejisi plan ufku boyunca kesim planı haritası.	121
Şekil 3.45. ST5 Planlama stratejisi plan ufku boyunca kesim planı haritası.	122
Şekil 3.46. ST6 Planlama stratejisi plan ufku boyunca kesim planı haritası.	123
Şekil 3.47. ST7 Planlama stratejisi plan ufku boyunca kesim planı haritası.	124
Şekil 3.48. GKnd3 ve KnGcd2 meşcerelerin ST1 planlama stratejisindeki durumları ve konumları.	125
Şekil 3.49. Planlama stratejilerince hiç bir periyotta gençleştirmeye alınmayan meşcerelerin konumsal dağılımları.	127
Şekil 3.50. Planlama stratejileri ile klasik planın ilk periyotta gençleştirmeye alınan alanları.	129

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 2.1. 2000-2009 yılları arası yapılan silvikültürel uygulamaların sonuçları ve 2009-2018 yılları için öngörülen eta miktarları.....	34
Çizelge 2.2. Düzce ili meteorolojik rasat değerleri tablosu.	36
Çizelge 2.3. Plan ünitesindeki bağlanan karbon miktarının hesaplanması.	49
Çizelge 2.4. Knd3 Meşceresine ait farklı senaryolara göre hacim, göğüs yüzeyi ve ortaçaap büyüme matrisleri	52
Çizelge 2.5. Amaca göre belirlenen planlama stratejileri.	59
Çizelge 3.1. Havza karakteristiklerine ilişkin bulgular.....	61
Çizelge 3.2. Havzalardaki arazi örtüsü biçimleri.....	63
Çizelge 3.3. Havzaların orman yapısına ait ortalama değerleri.	64
Çizelge 3.4. Havzaların toprak özelliklerine ilişkin bilgiler.	65
Çizelge 3.5. Havzaların aylık ortalama su verimleri.	68
Çizelge 3.6. ST1 planlama stratejisine göre elde edilen eta miktarları.....	74
Çizelge 3.7. ST1 planlama stratejisine göre üretilen odun ürün çeşitleri dağılımı.	75
Çizelge 3.8. ST2 planlama stratejisine göre elde edilen eta miktarları.....	78
Çizelge 3.9. ST2 planlama stratejisine göre üretilen odun ürün çeşitleri dağılımı.	79
Çizelge 3.10. ST3 planlama stratejisine göre elde edilen eta miktarları.....	82
Çizelge 3.11. ST3 planlama stratejisine göre üretilen odun ürün çeşitleri dağılımı.	83
Çizelge 3.12. ST4 planlama stratejisine göre elde edilen eta miktarları.....	86
Çizelge 3.13. ST4 planlama stratejisine göre üretilen odun ürün çeşitleri dağılımı.	87
Çizelge 3.14. ST5 planlama stratejisine göre elde edilen eta miktarları.....	90
Çizelge 3.15. ST5 planlama stratejisine göre üretilen odun ürün çeşitleri dağılımı.	91
Çizelge 3.16. ST5 planlama stratejisine göre planlama ufku boyunca kalite parametrelerinin değişimi.	94
Çizelge 3.17. ST6 planlama stratejisine göre elde edilen eta miktarları.....	95
Çizelge 3.18. ST6 planlama stratejisine göre üretilen odun ürün çeşitleri dağılımı.	96
Çizelge 3.19. ST7 planlama stratejisine göre elde edilen eta miktarları.....	100
Çizelge 3.20. ST7 planlama stratejisine göre üretilen odun ürün çeşitleri dağılımı.	101
Çizelge 3.21. Tüm stratejilere göre NBD'li amaç fonksiyon değerleri.	103
Çizelge 3.22. Planlama stratejilerinin NBD'li gelir dağılımları.	105
Çizelge 3.23. Planlama birimi farklı stratejilere göre dikili servet miktarları.	107
Çizelge 3.24. Plan ufku boyunca 100 yıllık süreçte üretilen odun ürün çeşitleri.	113
Çizelge 3.25. Tüm stratejilerin periyotlar itibariyle müdahale şekillerine göre meşcere sayıları dağılımları.	117
Çizelge 3.26. GKnd3 ve KnGcd2 meşcerelerinin ST1 stratejisindeki kesim düzenleri.	125
Çizelge 3.27. GKnd3 meşceresi tüm stratejilere göre kesim düzeni.	126
Çizelge 3.28. GKncd2 meşceresi tüm stratejilere göre kesim düzeni.	126
Çizelge 3.29. Planlama ufku boyunca hiçbir strateji tarafından gençleştirmeye alınmayan meşcereler.	127
Çizelge 3.30. İlk periyottaki planlama strateji sonuçları ile klasik plana ait eta ve dikili servet miktarlarının dağılımı.	128

KISALTMALAR

AKM	Askıda Katı Madde
BÇ	Biyolojik Çeşitlilik
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
CPM	Kritik Yörünge Metodu
DP	Doğrusal Programlama
<i>ETÇAP</i>	Ekosistem Tabanlı Çok Amaçlı Planlama
GAMS	General Algebraic Modeling System
GPS	Global Position Systems
KDS	Karar Destek Sistemleri
KOBS	Konumsal Orman Bilgi Sistemi
NBD	Net Bugünkü Değer
ODOÜ	Odun Dışı Orman Ürünleri
OPA	Optimal Periyodik Alan
PERT	Programları Değerlendirme ve Gözden Geçirme
ST1... ST7	Planlama Stratejileri
SWAT	Soil And Water Assessment Tool

ÖZET

MEŞCERELERİN GENÇLEŞTİRME VE BAKIM DÜZENİNİN SU MİKTAR VE KALİTESİ AÇISINDAN OPTİMİZE EDİLMESİ

Ahmet Salih DEĞERMENCİ

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Danışman: Doç. Dr. Hayati ZENGİN

Ekim 2018, 149 sayfa

Ormanlar genellikle yüksek dağlık kesimlerde dağılışı göstermekte ve ormanları oluşturan havzalar içme suyu başta olmak üzere insan ihtiyaçları için pek çok alanda kullanılan suyun temel kaynağını oluşturmaktadır. Ormana yapılacak müdahaleler bu havzalardan elde edilecek olan suyun miktarını, kalitesini, karbon birikim değerlerini ve elde edilecek gelirleri de etkilemektedir. Bu nedenle düzenlenecek kesim planlarının uzun süreli tahmini için, ormanların sunduğu diğer fonksiyonlara yönelik bilgi eksikliklerinin giderilmesi ve orman dinamikleri ile ilişkilerinin sayısal olarak ortaya konulması gerekmektedir. Bu temel altlık verilerin elde edilmesi için de disiplinler arası çalışmaların yapılması gerekmektedir. Bu amaçla iki aşamalı olan bu tez çalışmasının ilk aşamasında Tübitak projesi kapsamında havza karakteristikleri ile orman yapısı arasındaki ilişkiler ortaya konulmaya çalışılmıştır. Elde edilen verilerden ve ilişkilerden sonra örnek bir planlama birimi seçilerek, o planlama birimi için planlama modelinin geliştirilmesi ve farklı amaç fonksiyonlarına yönelik modelden elde edilen çözümlerin uzun dönemli karşılaştırılması hedeflenmiştir. Tüm ormancılık fonksiyonlarının modele entegrasyonu bilgi eksikliklerinden dolayı çok zordur. Bu nedenle bu çalışma kapsamında orman fonksiyonlarından odun üretiminin yanı sıra hidrolojik fonksiyon ve ormanların karbon birikim fonksiyonunun bir planlama yörüngesi boyunca, farklı amaç fonksiyonları ve farklı kısıtlara göre nasıl değişimler gösterdiği, nasıl bir kesim planı düzeni oluşturulduğu anlaşılmaya çalışılmıştır. Planlama tekniği olarak Karışık Tamsayı Programlama Tekniği kullanılmıştır. Optimizasyon modelinin oluşturulmasında ve çözümlerin elde edilmesinde GAMS yazılımından faydalanılmıştır. Planlama birimi için yedi farklı planlama stratejisi geliştirilmiş ve bu farklı stratejilere göre kârın maksimize edilmesi amaçlanmıştır. Geliştirilen stratejilerden en yüksek amaç fonksiyonu değeri optimal periyodik alan kısıtının olmadığı stratejide elde edilmiştir. En yüksek su miktarının elde edildiği strateji ise gençleştirilecek alan miktarına yönelik kısıtın olduğu strateji de gerçekleşmiştir. Bağlanan karbon miktarları planlama stratejilerinin çoğunda gençleştirilen alan miktarlarının yüksek olması sebebiyle azalırken, sadece periyodik gençleştirme kısıtı olan stratejide tüm periyotlarda artış göstermiştir. Planlama yörüngesi sonundaki dikili servet miktarları sadece gençleştirme kısıtının olduğu ST7 planlama stratejisinde artmıştır diğer stratejilerde azalmıştır.

Anahtar sözcükler: Havza, Karbon depolama, Karışık tamsayı programlama, Kesim planı, Su miktarı.

ABSTRACT

OPTIMISATION OF HARVEST SCHEDULING WITH RESPECT TO WATER YIELD AND QUALITY

Ahmet Salih DEĞERMENÇİ

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Forestry

Doctoral Thesis

Supervisor: Associate Prof. Hayati ZENGİN

October 2018, 149 pages

Forests are generally range in high mountainous areas. Watersheds forming forests, main source of water used in many areas for human needs, especially drinking water. The interventions in the forests also affect the amount of water yield, water quality, carbon stocks and income from forests. For this reason, it is necessary to overcome the lack of knowledge for other functions provided by forests for long-term estimation of the cutting plans to be regulated. Then we need to produce relations with forest dynamics. Interdisciplinary studies are also required to obtain these basic data. Therefore, it is aimed to reveal the relationship between watershed characteristics and forest structure in the first stage. By choosing a sample planning unit after the obtained data and relations, it was aimed to develop a planning model for that planning unit and to make a long-term comparison of the solutions obtained from the model for different objective functions. The model integration of all forestry functions is very difficult due to lack of information. For this reason, it was attempted to understand how the function of wood production, hydrological function and carbon accumulation function of forests changes according to different objective functions and different constraints during a planning process and how a harvest scheduling scheme is formed. Mixed Integer Programming is used as the planning technique. GAMS software has been utilized in the execution of the optimization model and in obtaining the solutions. Seven different planning strategies have been developed for the planning unit and it is aimed to maximize profits according to these different strategies. The highest objective function value of the developed strategies was obtained in the absence of the optimal periodic area constraint. The strategy in which the highest amount of water is obtained is also the strategy in which there is limit to the amount of area to be regenerated. Carbon accumulation values were decrease in most strategies because of the high amount of regenerated areas in the planning strategies, while only the periodical regeneration constraint had positive results in all periods. The amount of standing volume at the end of the planning horizon has also increased only ST7 planning strategy. Other strategies, the amount of standing volume has decreased.

Keywords: Watershed, Carbon accumulation, Mixed integer programming, Cutting plan, Water yield.

EXTENDED ABSTRACT

OPTIMISATION OF HARVEST SCHEDULING WITH RESPECT TO WATER YIELD AND QUALITY

Ahmet Salih DEĞERMENÇİ

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Forestry

Doctoral Thesis

Supervisor: Associate Prof. Hayati ZENGİN

October 2018, 149 pages

1. INTRODUCTION

Forests are very important renewable resources and provide various goods and services to the society. The values of water supply are vital components which is continuity to the comfort of society and the sustainability of the earth. Although being a restorable natural source and on a global scale noted within the group of endless natural resources, it is, in fact, a limited resource in terms of district or quality. Some barrages on rivers or some forestry activities like plantations or cuttings in the watersheds are to manage the amount of available water. Watershed characteristics and forest structure over the watershed affect water supply elements (infiltration, interception, evapotranspiration and subsurface flow) and play a role on the quantity and quality of water that reaches the creek and through them cumulative in areas such as dams and ponds. Although it is not known that the mentioned factors are effective in hydrological processes, the amount of information available is not sufficient to establish a relationship between these factors and the quantity or quality characteristics of the water. It is connected that taking into consideration absolute forest values inside of management plans and using information systems and decision-making techniques are significant in the planning period.

In this study, defining the relationships between forest structure and watershed characteristics, and water yield and quality of water running out from the watersheds, and designing a forest planning model using the acquired data is aimed. By this way, we attempted to give the opportunity to the usage of scientific information in practice by an interdisciplinary approach. The study constitutes of two main stages. The first stage has

been completed from TUBİTAK project in Turkey. The second stage is to set up the forest planning model and run the model. We designing forest planning model by using mixed integer programming technique was used.

2. MATERIAL AND METHODS

The study was conducted in Turkey's western Black Sea Region, in 29 watersheds, which are position in the north and southeast of Düzce province. Düzce is founded upon a plain surrounded by mountains. While average elevation of Düzce is 140 meters above the sea level, the height at the mouth points of the watersheds designing the study area ranges between 528 - 1,526 m above the sea level. ArcGIS 10.4 software was used to determine the characteristics of watersheds. Some features of 1/25000 scale topographic maps, on which the watersheds are fixed, were digitalized and in this way, the data for watersheds were produced. To determine the amount of water in the watersheds, initially, water level measuring instruments (Levellogger) have been placed in the box culverts on the downstream of the watersheds. For water level measurements, Solinst 3001 LT Levellogger Junior Edge instruments were used.

After designing the planning model and preparation of the data, the model will be run and we will interpretation of the model results We have been created related matrices to run the model. The growth matrices were created for all the stands in the planning unit. We designed the forest planning model. The linear programming model established for Çiçekli forest enterprise. The forest is divided into 64 compartments and 292 sub-compartments (forest stands); when aggregated, 85 stand types exist. Based on the evaluations of average tree age and forest maturity period, 192 of the forest stands can be scheduled a final harvest (regenerated) during any period of the planning horizon (100 years).

Mixed integer programming was used as the optimization technique. In this work, after developing the main planning model, seven alternative strategies were constructed to examine the effect on the outcomes.

The different strategies relate to the total benefit produced from a plan, while the focus on the maximization of water yield, wood, and carbon accumulation. Strategy 1, the harvest area constraint is facilitated by the value optimal periodic area (OPA) and only total benefit by wood product. Strategy 2, total benefit wood product and water yield, Strategy 3, total benefit wood and carbon accumulation, Strategy 4, total benefit wood,

water yield and carbon accumulation, Strategy 5, total benefit wood, water yield and water quality, Strategy 6, the harvest area having no constraints and total benefit wood, water yield and carbon accumulation and Strategy 7, the harvest area constraints and additional constraints are imposed on the total harvest volumes produced during each time period.

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

The planning model has been run for 7 different strategies and each management strategy resulted in a different harvest Schedule and thus a different plan of action. There is variation in wood production, water yield and carbon accumulation between strategies.

The objective function values of all the strategies, it is seen that the strategy in which the highest profits are obtained is the ST6 strategy. Because ST6 strategies has no OPA constraints. Annual profit of 5,0 million TL was obtained in ST6 strategy. ST1 strategy resulted the lowest profit with 2,04 million TL.

According to planning strategies, at the end of the planning horizon, it is seen that the ST4 strategy, gave the highest total wood with 4 938 568 m³ and the lowest total amount of wood was realized in the planning strategy of ST7 with 1 370 970 m³.

When planning strategies are evaluated in terms of periodic carbon accumulation values, it is seen that the ST7 planning strategy has positive carbon accumulation in all periods. The carbon accumulation amounts of other strategies are less than the initial value of the planning unit. Because of the large amount of regenerated area, which increases the number of wood products and exceeds the amount from the increment in the forest.

In terms of the total amount of water yield during the planning horizon, the ST7 strategy has been achieving maximum water yield with 894 728 400 cubic meters. The lowest water production was realized under the ST6 planning strategy and 881 913 500 cubic meters of water was produced.

4. CONCLUSION AND OUTLOOK

Seven different strategy resulted in a different harvest schedule and different plan of practise. There are variations in wood production, water yield and carbon accumulation between strategies. However, demands on water production reduce the scheduled wood

volume. OPA constraints generally driven the regenerated forest areas. Regeneration of were stands mainly due to the negative relationship between sufficient water yield, carbon accumulation and standing wolume capacity. Seven strategies attempt to maximize revenue according to our goal function. Different planning strategies were developed and solved with mixed integer programming. In this study, seven strategies were explored by remodeling the problem formulation to either use or to not use certain constraints in order to underline one or more goals.

In this way, we amessed the sensitivity of the model developed to produce the goals covetable. However, important values were also applied to the wood volume, water yield value, and carbon accumulation value outcomes.

This study was funded by The Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK), through Project no: TOVAG-213O199. and Directorate of Science Fellowships and Grant Programmes (TUBİTAK BİDEB)

1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun artması, teknolojinin çok hızlı bir şekilde gelişmesi ve değişmesiyle beraber insanların yaşam düzeyi de giderek yükselmiş ve farklılıklar göstermiştir. Bu değişimler ve gelişmeler ormanlar üzerindeki yararlanmanın şeklini ve boyutunu da değiştirmiştir. Toplumun artan ihtiyaçlarının düzensiz ve plansız bir şekilde ormanlardan sağlanması, ormanların sağlık durumunun bozulmasına dolayısıyla da doğal kaynakların yok olmasına, biyolojik çeşitliliğin azalmasına, çevrenin ve su kaynaklarının kirlenmesine neden olabilmektedir. Artan ihtiyaçlarla beraber, bu ihtiyaçları karşılamak adına düzensiz ve plansız hareket edilmesi sonucunda, toprakların erozyona maruz kalması, çevre kirliliği, doğal hayatın ve biyolojik çeşitliliğin azalması, ormanların sağlık durumunun bozulması ve uzun süreçte ekosistem devamlılığının sağlanamaması gibi pek çok sorun ve olumsuzlukları da beraberinde getirmiştir [1]. Bu olumsuzlukların giderilmesine yönelik olarak ormanlardan yararlanmanın belirli bir düzen dâhilinde yapılması, orman ürünlerinden toplumun taleplerinin sürekli bir şekilde karşılanması ve ormanların topluma sunmuş oldukları ürün ve hizmet fonksiyonlarından faydalanmanın sürekliliğini sağlamak amacıyla diğer ormancılık bilimleriyle birlikte orman amenajmanı da doğmuştur. Çok geniş alanlarda yayılış gösteren, doğaya açık olan ve uzun üretim süresine sahip ormancılık, hiçbir sektörde olmadığı kadar planlı olmak zorundadır [2]. Bu şekilde uzun bir zaman isteyen, doğaya açık olan ve karmaşık ilişkileri içinde barındıran bir sistem olan ormancılıkta planlamanın görevini “Orman Amenajmanı” üstlenmiştir [3].

Genel anlamda orman amenajmanı; Ormanların geleceği açısından kararları etkileyen ekonomik, ekolojik ve sosyo-kültürel faktörlerin hepsini ustaca bütünleştirmek görevini üstlenmektedir. Felsefi açıdan orman amenajmanı ise orman ekosisteminin sağlığını ve bütünlüğünü sağlayarak, toplumun ormandan olan her türlü ürün ve hizmete yönelik taleplerini sürdürülebilir bazda karşılamak için bilgi teknolojilerini ve bilimsel karar verme tekniklerini kullanarak optimal yararlanma şekline karar vermek suretiyle orman dinamiğini zaman ve mekân içerisinde kontrol altına almaktadır. Orman amenajman planı ise, gelecekte ulaşılmak istenen hedeflere ne zaman, hangi araçlarla, nasıl ve hangi

maliyetlerle ulaşılacağını belirten kararlardan meydana gelmektedir. Ormanın topluma sunmuş olduğu ürün ve hizmetlerin tespiti yapılıp halkın talepleri doğrultusunda hizmete açılması da amenajman planları vasıtasıyla gerçekleşmektedir. Amenajman planları son yıllara kadar klasik planlama anlayışı nedeniyle odun üretiminin sürekliliğini sağlamaya yönelik olarak yapılmışken, günümüzde ise yerini çok amaçlı fonksiyonel planlamaya bırakmıştır. Bu planlamaya geçişle, katılımcılık, biyolojik çeşitliliğin korunması, çok amaçlılık ve değişen toplum talepleri de dikkate alınarak orman ekosistemlerinin planlanmasına başlanmıştır [4].

Planlı kalkınmaya geçilen 1963 yılından bu yana orman amenajman planları yapılmasına ve günümüze gelinceye kadar ormancılık tekniği ve envanter çalışmalarında önemli gelişmeler yaşanmasına rağmen, ormancılığımızdaki odun üretimi anlayışından tam manasıyla vazgeilememiştir. Uygulamada da odun üretimini artırmak ve bunun sürekliliğini sağlamak ana amaç olurken, envanter çalışmaları da bu doğrultuda devam etmiştir. Orman ekosistemlerinin sunmuş olduğu diğer ürün ve hizmetler sayısal olarak belirlenmediği gibi, bunlara bağlı koruma hedefleri ve işletme amaçları, öncelikleri ve ağırlıkları da tespit edilmemiştir [5], [6]. Akdeniz Orman Kullanım Projesi, Münferit Planlama, Fonksiyonel Planlama adları altında planlama sistemleri geliştirilmiş ve uygulamaya aktarılmıştır. Özellikle 1990'lı yıllardan sonra Dünya'da ormanların planlanması anlayışında meydana gelen gelişmeler ve Türkiye'nin, CITES, Bern, Ramsar, UNCCD, vb. anlaşmalara taraf olması orman ekosistemlerinin planlanması anlayışının değişmesine yol açmıştır. Bu bağlamda, orman kaynaklarının sürdürülebilir planlanması, ormanların bizlere sunmuş olduğu diğer ürün ve fonksiyonların orman amenajman planlarına yansıtılması konusunda ulusal ve uluslararası çalışmalar ve projeler yapılmıştır [7].

Ülkemiz, ormancılık ve orman amenajman planlaması alanında gelişmiş ülkelerde yaşanan ilerlemelere paralel olarak, gerek ormancılık teşkilatı, gerek üniversiteler yaptıkları akademik çalışmalarla bu ülkeleri yakalamaya çalışmaktadır. Bu şekilde bilişim ve yöneylem araştırması tekniklerinin ülkemizde yaygın bir şekilde kullanımına başlanmıştır. Orman amenajmanı plan yapım sürecine ilişkin olarak yöneylem araştırması tekniklerinin kullanımı ilk olarak Soykan [8] tarafından gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada, aynı yaşlı ormanlarda simülasyon ve doğrusal programlama teknikleri kullanılarak optimal kuruluşa ulaşmada kullanılacak yollar ve idare süreleri belirlenmiştir. Eraslan [9], "Artım Yüzdeleri Simülasyon" yöntemini geliştirmiş ve aynı

yaşlı ormanların optimale ulaştırılmasında kullanmıştır. Asan [10], Amenajman plan yapımında elde edilebilecek zaman tasarrufunu belirlemek amacıyla CPM ve PERT tekniklerini kullanmış ve sağlanacak zaman tasarrufunu bulmaya çalışmıştır. Köse [3], amaç programlama tekniğini kullanarak Trabzon Meryemana Araştırma Ormanında, Meryemana Araştırma Ormanı Planlama Modeli 1 ve Meryemana Araştırma Ormanı Planlama Modeli 2 olmak üzere iki adet planlama modeli tasarlamış ve yazılımı geliştirmiştir. Gül [11], doğrusal programlama tekniği ile etanın uzun süreli kestirimini belirlemeye çalışmıştır. Mısır [12], coğrafi bilgi sistemlerine bağlı ve nesne tabanlı bir programlama tekniği ile çok amaçlı bir orman amenajmanı planlama modeli geliştirmiştir. Keleş [13], Torul orman işletmesi, Karanlıkdere planlama biriminde, orman ekosistemlerinin su üretim fonksiyonunu doğrusal programlama tekniği kullanarak optimize etmeye çalışmıştır. Karahalil [14], toprak koruma ve odun üretimi fonksiyonlarını doğrusal programlama tekniği ile modellemeye ve uygulamaya aktarılmasına yönelik çalışma yapmıştır. Yılmaz [15], orman, tarım ve mera arazileri için, amaç programlama tekniğini kullanarak bu alanların tahsis durumlarını ve en iyi alternatiflerini belirlemeye çalışmıştır. Yolaşmaz [6] ekosistem tabanlı çok amaçlı planlama yaklaşımı ele alınmış ve Artvin planlama birimi için doğrusal programlama tekniği kullanılarak uzun dönemli farklı planlama stratejileri optimize edilmeye çalışılmıştır. Keleş [7] tarafından Çok amaçlı planlamaya ve Türkiye ormancılık politikası, mevzuat ve sosyo-kültürel koşullarına uygun Karar destek sistemi (KDS) tasarımı ve yazılımı geliştirilmiştir. Zengin [16] tarafından ormanların odun üretimi, rekreasyon ve hidroloji fonksiyonlarının ekosistem tabanlı fonksiyonel planlama yaklaşımına uygun şekilde işletme sınıfları ayrılarak, orman amenajmanına entegrasyonu sağlanmaya çalışılmıştır. Değermenci [4], Kızılcasu planlama birimi için daha önce geliştirilen *ETÇAPKlasik*, *ETÇAPSimülasyon* ve *ETÇAPOptimizasyon* yazılımları kullanılarak planlama biriminin ilk periyottaki ve uzun vadeli stratejik plan sonuçları karşılaştırılmıştır. Küçüker [17], Odun dışı orman ürünlerinin(ODOÜ) orman amenajman planlarına entegrasyonu ve mevcut *ETÇAPKlasik*, *ETÇAPSimülasyon* ve *ETÇAPOptimizasyon* yazılımlarının tasarım ve kodlamasının ODOÜ'yü de dikkate alacak şekilde yenilenmesi ve Odun dışı ürünü mantar olan örnek bir alanda planlanması ve uygulanması gerçekleştirmiştir. Ayrıca Demirci [18] tarafından yapılan çalışmada gençleştirme ve bakım çalışmalarında karşılaşılan sorunların çözümü için karışık tamsayı programlama modeli geliştirilmiştir.

Yapılan tüm bu akademik çalışmalarla birlikte ormanların sunmuş olduğu hizmet ve fonksiyonların halkın talebi doğrultusunda uzun vadeli planlanması ve amenajman planlarına entegre edilmesi daha anlaşılır bir hale gelmiştir. Meşcereler dinamik bir yapıya sahiptir ve zamanla değişim göstermektedir. Bu değişime paralel olarak da ormanın sunduğu ürün ve hizmetlerde değişiklikler meydana gelmektedir. Fakat ülkemizde orman yapısı ve gelişimi ile çeşitli orman fonksiyonları arasındaki ilişkileri dinamik şekilde tanımlayan altlık araştırmaların olmayışı, ormanların çok amaçlı planlanmasının istenilen düzeyde sağlanamamasına yol açmaktadır. Planlama çalışmaları birçok varsayıma dayanmakta, gerçekçilik ve uygulanabilirlik düzeyleri düşük olmaktadır. Orman fonksiyonlarına yönelik çeşitli çalışmalar ise uygulamada kullanılabilme olanakları düşünülmeden tasarlandığından, ormancılık çalışmalarında teoriyi pratiğe yansıtan orman amenajman planlarında kısıtlı kullanım olanağına sahip olmaktadır. Ülkemizde “Ekosistem Tabanlı Fonksiyonel Planlama” adı altında en son Aralık 2016 tarihinde yayınlanan Amenajman Yönetmeliği ile devlet ile özel ve tüzel kişilere ait ormanlarda planlama ve işletme amaçlarının belirlenmesinde ekonomik, ekolojik, sosyal ve kültürel fonksiyonlar dikkate alınarak ve katılımcılık sağlanarak ekosistem tabanlı fonksiyonel planlamanın yapılması öngörülmüştür. Yukarıda da bahsedildiği gibi çeşitli yıllarda yapılan bazı model Amenajman Planları ve lisansüstü tezler yoluyla odun üretimi dışındaki orman fonksiyonları planlama sürecine dahil edilmeye çalışılmıştır [19].

Orman kaynaklarına yönelik taleplerin gittikçe artması ve çeşitlenmesi nedeniyle, ormancılıkla ilgili çeşitli karar aşamalarında biyolojik çeşitlilik, odun üretimi, karbon depolama, hidrolojik, rekreasyon ve diğer değerler ile ilişkili olarak alınacak kararların çok boyutlu orman özellikleri üzerindeki potansiyel etkilerinin kestirilmesi gerekmektedir. Bu özellikler arasındaki karmaşık konumsal ve zamansal ilişkiler ve bu ilişkilerin doğası hakkında genel bilgi ve verilerin olmayışı bu işlemi zorlaştırmaktadır. Çok amaçlı orman amenajmanına doğru yöneliş, alternatif yönetim senaryolarının geliştirilmesi ve değerlendirilmesine ilişkin olarak zaman-mekan boyutundaki karmaşıklıkla uzlaştıracak karar destek sistemlerinin geliştirilmesini gerekli kılmaktadır. Bu durum disiplinler arası çalışmalar ile orman ekosistemindeki çeşitli ilişkilerin ortaya konulmasını ve sürdürülebilir bir faydalanmayı sağlayacak şekilde bu bilgilerin iyi tasarlanmış bir planlama sürecinde yer almasını gerektirmektedir.

Orman alanları dağlık araziler üzerine kurulmuştur. Ormanların konumsal dağılımları planlama açısından son derece önemlidir. Bu bağlamda ormancılık çalışmaları için coğrafi verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Orman varlığını üzerinde bulunduran arazinin eğimi, bakısı, yükseltisi ve yapısal elemanlardan ağaç türü, meşcere tipi, kapalılık, bonitet, orta çap gibi verilerin birlikte değerlendirilmesi ve konumsal dağılıma ilişkin bilgilerin elde edilmesi gerekmektedir. Bu verilerin tablo, grafik ve haritalar seklinde elde edilmesi ve analizi Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) aracılığıyla kolayca gerçekleştirilmektedir [20]. CBS'ye aktarılan tanımlayıcı konumsal verilerin saklanması, güncellenmesi ve analizleri de daha kolay gerçekleştirilecektir. Plan dönemi boyunca planlama biriminde yapılan tüm teknik müdahaleler öznitelik veri tablolarına kayıt edilebilmektedir. Aynı zamanda müdahaleler sonucu oluşan tablo, grafik ve haritalar hızlıca elde edilebilmektedir. Bu bağlamda CBS'nin modelleme çalışmalarında çok önemli bir yardımcı araç olduğu görülmektedir.

Çok amaçlı planlamada birden çok amaç bulunmaktadır ve bu amaçların birçoğu birbirleriyle çelişmektedir. Amaçların optimal ya da optimale yakın çözümler gerektirmesi de planlama da zorluklar oluşurmaktadır. Bu bağlamda ölkemizde yapılan model orman planlama çalışmalarında genel olarak Doğrusal Programlama ve Amaç Programlama Teknikleri kullanılmaktadır. Planlama yörüngesi sonunda bir veya daha fazla amaı optimize edebilmek için matematiksel tekniklerin kullanılarak ormanın modellenmesi konusunda önemli çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalarla değişik fonksiyonların amenajman planlarına nasıl dahil edileceği konusundaki yaklaşımları görmek mümkündür. Fakat yapılan çalışmalarda yöneylem araştırması tekniklerinden özellikle doğrusal programlama ve amaç programlama gibi matematik optimizasyon tekniklerinin bazı kısıtlayıcı koşulları ya da önemli eksiklikleri de bulunmaktadır [4]. Bu eksiklikler;

- ♣ Planlama için belirlenen karar değişkenleri arasında doğrusal bir ilişki bulunmalıdır. Fakat orman ekosistemlerinde her bir karar değişkeni arasında doğrusal ilişki olmayabilir.
- ♣ çok fazla konumsal özellikler içeren orman alanlarının planlamasında karar değişkenleri ve planlamaya ait kısıt sayısı artacak ve matrisin boyutu aşırı derecede büyüyecektir. Bu da optimal çözümün elde edilmesini zorlaştıracak hatta imkansız hale getirebilecektir.

- ♣ Konumsal özellikler bulunduran bazı amaç fonksiyonu ve kısıtların matematiksel olarak ifade edilmesi çoğu zaman mümkün değildir. Matematik optimizasyon teknikleri, ormanın konumsal yapısı ve ormanın kuruluşunu birlikte model içerisinde bütünleştirmesi çok zordur [21], [22].
- ♣ Matematik optimizasyonda karar değişkenlerine ait katsayıları daha önceden kestirilen belirgin değerlerdir. Yani modelin yapısı deterministik yapıdadır. Oysa orman ekosistemi doğaya açık bir sistemdir ve çevre etkileri nedeniyle olayların meydana gelişi olasılıklara dayanmaktadır.
- ♣ Belirtilen bu nedenlerden dolayı, matematik optimizasyon modellerinde optimal çözüme ulaşabilmek için homojen ünitelerden oluşan yaş sınıfları ve meşcere tipleri karar değişkenleri olarak belirlenmektedir. Bu durum meşcere yahut bölmecik düzeyinde ciddi kayıplara sebep olabilmektedir. Sonuçta, bu şekilde düzenlenecek planların arazide uygulanabilirliği de zorlaşmaktadır [23].

Sayılan bu eksiklerine rağmen orman amenajman planlarının düzenlenmesinde bu tekniklerin kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Bu tekniklerin kullanımıyla aşağıdaki gibi bazı faydalar da sağlanacaktır.

- ♣ Planlama birimlerine yönelik çok sayıda farklı planlama stratejilerinin işletme amacına göre sonuçları, uzun bir yörünge boyunca görülebilecek ve hızlı bir şekilde değerlendirme işlemleri yapılabilir.
- ♣ Planların sayısal ortamda üretilmesi, belirlenen işletme amacına yönelik farklı amaçların denenmesini, ormanın zamansal olarak değişiminin ve gelişiminin görülmesini sağlayacaktır.
- ♣ Ormancılık faaliyetlerinin ormana olan etkileri ve orman dinamiği kısa sürede kavranacak ve etkin kararlar alınmasının önü açılacaktır.
- ♣ Planlama modelleriyle planlama birimine ilişkin çok yönlü faydalanmanın etkileri görülebilecek ve işletme amacına yönelik en uygun kararların alınması sağlanabilecektir.
- ♣ Planlama yörüngesi(ufku) boyunca faydalanmanın düzenlenmesini sağlayabilen planlama modelleri çok büyük miktarlarda para ve zaman tasarrufu sağlayacaktır.

Bu tez çalışması kapsamında ormanların odun üretimi, karbon birikimi ve hidrolojik fonksiyonları ekosistem tabanlı fonksiyonel planlamaya uygun şekilde alt ünitelere ayrılarak, orman amenajman planlarına entegrasyonu ve bu şekilde hem toplumun farklı fonksiyonlara olan taleplerinin karşılanması hem de farklı disiplinler arası çalışmalarda üretilen bilimsel verilerin planlama çatısı altında birleştirilmesi hedeflenmektedir. Bu bağlamda, Düzce ilinde ormanları oluşturan havzalardan çıkan suyun miktarı ve kalitesi ile orman yapısı arasında genelleştirilebilir ve hidrolojik amaçlı orman planlamada kullanılabilir verilerin üretilmesi, bu verilerle meşcere dinamikleri arasındaki ilişkinin ortaya koyulması ilk hedeflerdendir. İlişkilerin elde edilmesinden sonra Düzce Orman İşletme Müdürlüğü, Çiçekli Orman İşletme Şefliği için planlama modelinin oluşturulması amaçlanmaktadır. Böylece meşcere gelişimiyle hidrolojik etkilerinin ne şekilde değişeceğine yönelik bilgiler elde edilmiş olacaktır. Ormanların hidrolojik fonksiyon görece şekilde işletilmesi veya odun üretimine yönelik planlama yapılırken bu fonksiyonun da planlamaya dâhil edilmesinin önü açılmış olacaktır. Farklı stratejiler ve farklı amaç fonksiyonlarıyla odun üretimi, su miktar ve kalitesi ve bağlanan karbon miktarını en iyileyecek şekilde hangi bölmeceğin ne zaman gençleştirmeye veya bakıma sokulacağı tahmin edilmeye, işletme amacına göre en iyi çözüm elde edilmeye çalışılacaktır. Planlama yaklaşımı olarak odun üretimi, hidrolojik fonksiyon ve karbon miktarını maksimize etmeye yönelik amaç fonksiyonları belirlenmiştir ve optimum çözümü garantileyebilen Karışık Tamsayı Programlama (Mixed Integer Programming) tekniği kullanılmıştır. Karar değişkenleri olarak da meşcerelerden bakım ve gençleştirme kesimleri ile çıkarılacak son hasılat ve ara hasılat miktarları kullanılmış ve uzun vadeli planlama modeli geliştirilmeye çalışılmıştır.

1.1. EKOSİSTEM TABANLI ÇOK AMAÇLI PLANLAMA (ETÇAP)

Ormancılıkta aynı alandan birden çok ürün ve hizmet için talep ve faydalanma söz konusu ise o alanda orman kaynaklarının çok amaçlı kullanımı vardır. Çok amaçlı planlamayı değişik gruplar kendi amaçlarına uygun olacak şekilde tanımlamaktadır. Bu nedenle çok amaçlı planlama için birbiriyle aynı anlamda olan birçok (multi-objective, multi-purpose, multi-functional, multi-interest, multi-value, multibeneficiaries, integrated management) terim kullanılmaktadır. Bu durum birçok farklı çalışma alanının çok amaçlılıkla ilişkili olmasından kaynaklanmaktadır [24].

Çok amaçlı kullanım kavramı ilk olarak Almanya ve Amerika Birleşik Devletleri'nde ortaya çıkmıştır. Almanya'da çok amaçlı ormancılıkla ilgili terimler 19. yüzyılda kullanılmasına rağmen, bilimsel anlamda çok amaçlı planlamanın temelleri 1950'lerde açıklanmıştır. Amerika'da ise 19. Yüzyılın başlarında gelişmeye başlamış ve 1960 yılında çıkarılan bir yasa ile çok amaçlı kullanım resmi bir kavram haline gelmiştir [25], Amerika'da kabul edilen yasa ile birlikte çok amaçlı kullanım kuzey Avrupa ülkelerinde de duyulmuş ve ilk defa 1960'larda kullanılan kavram, 1970'li yıllarda Avrupa'da etkin bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır.

Türkiye'deki ormanların göreceği fonksiyonları Eraslan [26], sınıflandırmış ve ormanların işletme amaçlarını fonksiyonlara bağlı olarak açıklayıp çok amaçlı ormancılığı da, bir orman parçasının iki ya da daha fazla amacı aynı anda karşılaması şeklinde ifade etmiştir. Birden fazla amacın aynı anda aynı alanda uygulanabilmesi için bazı amaçların ana amaç, diğerlerinin de yan amaç olarak alınması gerektiğini belirtmiş ve hiçbir zaman amaçların birbiriyle çelişmemesi gerektiğini, çelişki halinde çok amaçlılığın ormana zarar verebileceğini belirtmiştir [26]. Eraslan'ın yapmış olduğu bu tanım, Asan tarafından da benimsenmiş ve çok amaçlı planlama için aynı tanım kullanılmıştır [27]–[29].

Ülkemizde ekosistem tabanlı fonksiyonel planlama olarak da adlandırılan, ekosistem tabanlı çok amaçlı planlama yaklaşımı (ETÇAP), ekosistemin sağlık ve bütünlüğü temeline dayanan, katılımcı yaklaşım ile ormanların sunduğu hizmet ve fonksiyonları sürdürülebilir bir şekilde toplumun istek ve taleplerine göre halkın hizmetine sunmayı amaçlamaktadır [30]. ETÇAP planlama yaklaşımı birkaç bileşenden oluşmaktadır. Bunlar; geniş kapsamlı ekosistem envanterin yapılması ve korunması, katılımcılığın esas alınması, çok amaçlı planlamanın yapılması, yöneylem araştırması teknikleriyle (modelleme) en iyi seçeneğin oluşturulması ve işletme kapasitesinin geliştirilmesi şeklinde sıralanabilir. Bu bileşenlere göre ETÇAP yaklaşımı, orman ekosistemini belirlemeye yönelik envanteri yapan, ormanı sunduğu fonksiyonlara göre ayırıp sayısallaştıran, orman işletmesinin amaç ve koruma hedeflerine ulaştıracak farklı stratejileri belirleyen ve yapılan planın uygulanmasına yönelik paydaşların katılımını sağlayan bir planlama yaklaşımıdır [31].

ETÇAP sürecinin klasik orman amenajman planlamasından çok daha kapsamlı olduğu görülmektedir [28]. İlk aşama olarak, orman envanterinin hem orman değerini hem de biyolojik çeşitliliği (BÇ) yansıtacak yeni bir envanter yapılmalıdır. İkinci olarak,

yapılan planın uygulanabilir olması için, planın hazırlanması aşamasında paydaşların ve yerel halkın ortak katılımı sağlanır. Üçüncü olarak, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve uzaktan algılama yardımıyla konumsal orman bilgi sistemi (KOBS) kurulur ve envanter verilerinin yer aldığı konumsal veri tabanı kullanılır. Dördüncü olarak, katılımcı yaklaşımla toplantılar düzenlenir ve amenajman faaliyetleri için ortak kararlar alınır. Beşinci olarak, işletme amaçları hem yerel halkın beklentileri hem potansiyel orman fonksiyonları ve koruma hedeflerine göre belirlenir. Son olarak da, belirlenen orman fonksiyonları ile orman formları arasındaki ilişkilerden hareketle uygulanacak silvikültürel müdahalelere karar verilir. Sonuçta ETÇAP uluslararası süreçlerle ortaya çıkan BÇ koruma ilkelerini de dikkate alan bir yaklaşım olarak karşımıza çıkmaktadır [30].

1.2. ORMAN FONKSİYONLARI

Çok amaçlı bir planlamada öncelikle ormanların sunmuş olduğu hizmet ve ürünlerin tanımlanması ve sınıflandırılması gerekmektedir. Bu amaçla ülkemizde orman fonksiyonu terimi kullanılmaktadır. Orman fonksiyonu; ormanlardaki çeşitli ekosistem elemanlarının birbirleriyle karşılıklı ilişki ve etkileşimi sonucu kendiliğinden ortaya çıkan ve toplumun talep etmesiyle halka sunulan tüm ürün ve hizmetlerin tamamıdır [31]. Ülkemiz ormanlarının göreceği ürün ve hizmet fonksiyonları; ekonomik (üretim) fonksiyonlu ormanlar, ekolojik (koruma) fonksiyonlu ormanlar ve sosyal ve kültürel fonksiyonlu ormanlar olmak üzere üç grupta toplanmıştır. Odun üretimi ve odun dışı orman ürünlerinin üretiminin yapıldığı alanlar ekonomik, doğayı korumaya yönelik belirlenen fonksiyonlar ekolojik ve toplum yararı ve toplum sağlığına yönelik belirlenen fonksiyonlar ise sosyal ve kültürel fonksiyonlu ormanlar olarak değerlendirilmektedir [32]. Bu bağlamda orman fonksiyonlarından özellikle bu tez çalışmasına konu edilen fonksiyonlar aşağıda kısaca açıklanmıştır.

1.2.1. Orman Ürünleri Üretimi Fonksiyonu

Ülkemizdeki orman alanları özellikle ekonomik değeri olan, odun ham maddesi ve odun dışı ürün üretimini (ODOÜ) sağlayan, toplumun bu ürünlere olan talebini sürekli olarak karşılamak ve sürdürülebilirliğini sağlamak adına işletilen alanlardır. Orman ürünleri üretim fonksiyonu her çeşit ve kalitede yuvarlak ve endüstriyel odun üretiminin

yapıldığı ormanları kapsamaktadır. Bu orman alanlarından tomruk, maden direği, sanayi, kâğıtlık, lif yonga ve yakacak odun gibi ürünler üretilir. Bu fonksiyon içinde ayrıca odun dışı orman ürünleri üretimi de yapılmaktadır. Ekonomik değere sahip olan odun dışı orman ürünlerinin üretimini sağlayan, bu ürünleri ekonomiye kazandıran ve bu ürünlere olan talebin sürekli olarak karşılanmasını sağlamak amacıyla işletilen orman alanlarıdır. Bu işletme amacına göre işletilecek ormanlarda, bitkisel ürünler (reçine, defne yaprağı, çam fıstığı, kestane, çam balı, kekik, tohum, mazi, sığla yağı, katran, ot, mantar vb.), hayvansal ürünler (memeliler, kuşlar, balıklar vb.), su ve mineral ürünler (kum, çakıl, taş, mermer, maden vb.) üretilmektedir [19].

Ülkemizde orman ürünlerinin üretimi 2015 yılı orman genel müdürlüğü verilerine göre yıllık yaklaşık 20,5 milyon m³ civarındadır. Üretilen odun miktarının 16,6 milyon m³'ü endüstriyel odun iken yaklaşık 3,9 milyon m³'ü de yakacak odun vasfındadır. Ülkemiz yıllık odun tüketimi ise yıllık yaklaşık 29-30 milyon m³'tür. Odun talebinin karşılanabilmesi için yıllık yaklaşık 1,7 milyon m³ yuvarlak odun ithal edilmektedir. Bunun yanında özel sektör endüstriyel odun üretimi de yaklaşık 3,5 milyon m³ civarındadır [33]. Günümüzde, odun ürünü yanı sıra odun dışı orman ürünleri de büyük önem kazanmıştır. Birçok farklı sektörde kullanım alanı bulunan ODOÜ'nün ekonomik değeri son zamanlarda oldukça artmıştır. Odun dışı orman ürünlerinden sağlanan faydaların önemi ve orman kaynaklarının yönetimine gerekli önemin verilmesi konularında dünyada bilinçlenme ve ilginin giderek arttığı görülmektedir [34].

1.2.2. Ormanların Karbon Depolama Fonksiyonu

Orman ekosistemleri karbon bağlayarak önemli bir hizmeti yerine getirmektedir. Sera gazlarının ve özellikle CO₂'in atmosferdeki artışının yerkürenin ısınması üzerinde çok etkisi vardır. Dünya genelinde atmosferdeki CO₂ miktarının azaltılabilmesi için emisyonların sınırlandırılması üzerine bazı tedbirler alınmaktadır. Doğal bir süreç olarak karbon, bitkilerin yaptığı fotosentez ile atmosferden alınır, solunum, çürüme ve yanma yoluyla tekrar atmosfere salınır. Orman ekosistemleri karbon havuzu olarak son derece önemlidir ve biyokütle, toprak, ölü örtü ve ölü odun içerisinde karbon depolanabilmektedir [35]. Bitkiler fotosentez ile atmosferden aldıkları CO₂'i bağlarlar ve bünyelerinde organik bileşiklere dönüştürürler. Organik karbon uygun ortam koşullarında çok uzun süre toprakta kalabilmektedir. Fakat orman arazileri ve diğer arazi kullanımlarında meydana gelen değişimler, özellikle toprak işlemesi yapılan

tarımsal amaçlı kullanımlar, erozyon ve ormanlarda uygulanan farklı müdahale şekilleri topraktaki karbon stokunu önemli ölçüde azaltmaktadır [35]. Arazi kullanım durumunda meydana gelen değişiklikler ilk 20 yıllık periyotta toprağın organik karbon miktarını en düşük seviyelere indirmektedir. Bu tarz bir duruma maruz kalmış toprak parçasının organik karbon miktarını en yüksek seviyeye çıkartabilmesi için yaklaşık yüz yıllık bir sürecin geçmesi gerekmektedir [36]. Karbon depolama kapasitesinin belirlenebilmesi için öncelikle zamansal ve konumsal değişimlerin belirlenmesi ve orman ekosistemindeki mevcut biyokütle miktarlarının hesaplanması gerekmektedir. Envanter verilerinin kullanılarak biyokütlenin belirlenmesi en iyi yaklaşım tarzıdır. Öncelikle envanter verileri kullanılarak meşcere servetleri hesaplanır [35], [37], [38]. Belirlenen servete bağlı dönüştürme katsayıları veya çapa bağlı olarak daha önce yapılmış olan çalışmalarla ve geliştirilen denklemler yardımıyla [39]–[42] biyokütle (toprak üstü ve toprak altı) hesabı yapılır. Biyokütlenin hesaplanmasından sonra biyokütle dönüşüm katsayıları kullanılarak orman alanlarının karbon depolama kapasiteleri tahmin edilebilmektedir [43].

1.2.3. Ormanların Hidrolojik Fonksiyonu ve Su Kaynaklarına Etkileri

Orman alanlarında hidrolojik fonksiyon, taban suyuna katkıda bulunma, barajlardaki suların temiz tutulması, su kaynaklarının sürekli, düzenli ve dengeli olmasını sağlama gibi orman alanlarının gördüğü işlevlerdir. Ormanlarla kaplı olan bir alan, ormansız bir alana göre su verimi açısından olumsuz bir etkiye sahiptir. Genellikle orman örtüsünün yoğunluğunun artması su verimini olumsuz etkilediği düşüncesi hâkimdir. Göğüs yüzeyindeki artış ve azalışa göre su miktarında ters orantılı bir değişimin meydana geldiği birçok çalışmada ifade edilmiştir. Orman örtüsü yoğunluğunun artması su verimini olumsuz etkilerken içme suyu bakımından olumlu etkilere sahiptir. Ormanlar suyun kalitesi, miktarı ve rejimi üzerinde oldukça etkilidir. Yapılan araştırmalarda, ormanlarla kaplı alanların, çevrelerindeki diğer alanlara göre %15–50 oranında daha fazla yağış aldığı saptanmıştır [44]. Ormanlık alanlarda, yağışın %44'lük kısmının dere veya akarsulara ulaşarak kullanılabilir su haline gelirken, orman dışı alanlarda bu oranın % 14'te kaldığı belirtilmektedir [45]. Bitki kökleri de kayalardaki çatlakların arasına girip kayaların parçalanmasına ve toprak derinliğinin artmasına, ayrıca çıkardığı CO₂ sayesinde de toprak suyunun çözündürme gücünü arttırmaktadır. Böylece toprakta tutulacak olan su miktarı da artmaktadır [45].

Türkiye akarsularının ekonomik bakımdan kapasitesi yıllık yaklaşık 95 milyar m³'tür. Bu miktarın yıllık 48,1 milyar m³'lük bölümü orman alanlarından üretilmektedir. Bu nedenle Türkiye'deki kullanılabilir yüzeysel suların yaklaşık %50'si ülkenin yaklaşık dörtte birini kaplayan orman alanlarından akarsulara ulaşmaktadır [46].

Ormanlardaki yağışın bir kısmı intersepsiyon ile tepe çatısı tarafından tutulmakta ve toprağa ulaşmadan buharlaşmaktadır. Ayrıca ormanlar toprağa ulaşmış suyun bir kısmını da alarak transpirasyon yolu ile kaybolmasına sebep olmaktadır. Ancak ormanların en önemli fonksiyonu su rejimini düzenlemesidir. Suyun azaldığı dönemlerde su kaynaklarını besler ve suyun kalitesini artmasına katkıda bulunur. Orman alanlarından oluşan bir havzanın, havza üzerine düşen yağış miktarı, intersepsiyon, gövdeden akış, infiltrasyon, yüzeysel akış, transpirasyon ve evaporasyon gibi faktörler su verimini etkilemektedir [44], [47]. Su verimine olumsuz etkiye sahip intersepsiyon, transpirasyon ve evaporasyon gibi faktörlere karşın, orman bitki örtüsü evaporasyonu azaltmakta ve infiltrasyon şartlarını iyileştirmek suretiyle su veriminin düzenli ve devamlı olmasına olumlu yönde katkı sağlamaktadır. Havzalardaki su verimi üzerine orman ekosistemlerinin etkisi ağaç türüne, tepe tacına, meşcerenin sıklığına ve yaprak miktarına göre değişmektedir [48]. Orman ağaçlarının altında ölü örtü dediğimiz bir tabaka bulunmaktadır. Çürümüş yaprak, ibre, dal, kabuk gibi maddelerden oluşmuş olan ölü örtü orman toprağının üzerinde bir tabaka oluşturmaktadır. Bu ölü örtü tabakası düşen yağışları yavaş yavaş toprağa sızdırarak suyun yüzeysel akışa geçmesini ve sel oluşumuna mani olmaktadır. Toprağa sızan su dengeli bir şekilde zaman içinde su kaynaklarına ve akarsulara ulaşmaktadır, Örneğin Özyuvacı meşe baltalık ormanında yaptığı araştırmada, 20 cm'lik üst toprak kısmında suyun sızma hızı anakaya ve toprak türüne göre 6,3 ile 26,9 cm/saat arasında değişirken, açık alanda ve aynı anakayadan meydana gelen toprakta bu oran 0,95 ile 4,5 cm/saat arasında bulunmuştur. Açıklık alandaki suyun sızma hızındaki bu önemli azalma, toprağın sıkışması yani üzerindeki orman bitki örtüsünün uzaklaştırılmasından kaynaklanmaktadır [49]. Toprak yüzeyini kaplayan ölü örtü tabakası, hem toprak yüzeyinin strüktürünü muhafaza eder, hem de bu örtü tabakasının çok yüksek su tutma kapasitesine sahip olması nedeniyle yüzeysel akışın azalmasını sağlar. Ayrıca infiltrasyonla toprağa giren suyun miktarının artmasına sebep olmaktadır. Toprağa sızmayan su, yüzeysel akışa geçer ve toprak taşınımına neden olur. Orman toprağına sızan yağış, toprağın gözenekli yapısı sayesinde suyu dengeli bir şekilde derinlere doğru sızdırır ve zaman içinde akarsu kaynaklarına ulaşır

ve akarsuların devamlılığını çok büyük katkıda bulunur. Bu nedenle ormanlar yalnızca odun hammaddesi üretimi değil bunun yanında çok önemli su üretim kaynağıdır. Ormanların yok edildiği alanlarda ise sel, taşkın, toprak kayması gibi doğal olayların yaşanması muhtemeldir ve yerleşim, tarım alanı, göl ve baraj alanlarını doldurur ve yok edebilir [50].

Ana amacı su üretimi olan havzalarda, su verimine en fazla etki yapan ve toprağın gerek intersepsiyon, gerek su tutma kapasitesini iyileştiren, gerekse de transpirasyon yoluyla bizzat kendileri az su tüketen orman kuruluşlarını oluşturmak ana amacımız olmalıdır. Yalnızca su verimi açısından değerlendirme yapılırsa aynı yaşlı ormanlar değişik yaşlı ormanlara oranla daha avantajlı olduğu görülmektedir. Nitekim kızılçam hariç tutulursa geniş yapraklı orman ağaçlarının su verimine katkısının ibrelilerden daha fazla olduğu, ibreli ağaçlar içinde ise, ışık ağaçlarının daha uygun oldukları anlaşılmaktadır. Bu sonuçlar, su verimi ile yaprak miktarı arasındaki ilişkiyi ortaya koymaktadır [51].

Özellikle hidrolojik fonksiyonlu alanların belirlenmesinde içme suyu sağlanan ve gelecekte sağlanması planlanan alanlar, baraj, göl ve göletlerin su toplama havzaları içindeki eğimi %58'in altındaki ormanlık alanlar ve su toplama havzaları dikkate alınır.

Eş havza denemeleri ve hidrolojik fonksiyona yönelik dünya genelinde birçok çalışma yapılmasına rağmen Türkiye'de ormanların hidrolojik fonksiyonu ve bu fonksiyonun orman planlamaya dahil edilmesi üzerine yapılmış çalışmalar oldukça azdır. Çok boyutlu ve geniş kapsamlı bir konu olması ve yeterli miktarda araştırma olmamasından kaynaklanan bilimsel verilerin yetersizliği, planlama çalışmalarının istenilen düzeyde olmamasına sebep olmaktadır. Ülkemizde ormanların hidrolojik etkilerini anlamaya yönelik mevcut çalışmalar genellikle havza özellikleri ile dinamik meşcere yapısının etkileşimini ve ilişkilerini ortaya koyamadıklarından, hidrolojik fonksiyonun planlamaya çeşitli konumsal ve zamansal özelliklerin yansıtılmasında sınırlı bilgi bulunmaktadır. Çalışmalar genellikle mikro havzalarda ve genellikle iki adet havzanın ele alınması ve bu havzalardan elde edilen bilgilerin genelleştirilmesini de zorlaştırmaktadır.

Bu konuda ABD'nin North Carolina eyaletinde bulunan Coweeta hidroloji laboratuvarı 1934 yılından günümüze kadar değişik bir çok eş havza denemesi gerçekleştirmiştir. Ormanlarla kaplı havzalarda bitki örtüsüne yapılan müdahalenin ve müdahale şeklinin su verimi ve kalitesi üzerine olan etkilerini araştırmışlardır. Burada yapılan çalışmaların

birçoğu havzada yer alan vejetasyona yapılacak silvikültürel bir müdahalenin havzadan çıkacak olan su miktarı ve kalitesi üzerindeki etkilerine yoğunlaşmışlardır. Silvikültürel müdahalenin su verimi ve kalitesi üzerindeki etkisini belirlemeye yönelik olarak bazı havzalar tamamen tıraşlanmış ve bitki örtüsünden arındırılmıştır. Bu şekilde farklı müdahaleler yapılarak 70 yıldır sürdürülen çalışmalar sonucunda 1700'den fazla bilimsel makale yayınlanmıştır [52].

Gerek Coweeta hidroloji laboratuvarında gerekse dünya üzerinde gerçekleştirilen çok sayıdaki eş havza denemeleri, vejetasyona yapılacak farklı müdahalelerin havzadan çıkan suyun miktarı ve kalitesi üzerinde meydana getireceği değişimlerin anlaşılabilmesinde birçok katkı sağlamıştır. Fakat her bir bölgenin kendine özgü iklim, toprak ve vejetasyon yapısına sahip olması nedeniyle bu çalışmalar neticesinde ortaya çıkan sonuçlar her bir bölge için farklılık gösterebilmektedir. Bu sebeple bu tür çalışmaların bölgesel ölçekte gerçekleştirilmesi, o bölgede yer alan havzalardan üretilecek suyun miktar ve kalitesini daha doğru tahmin edilmesine olanak sağlayacaktır.

Bari ve ark. [53], 1996 yılında yaptıkları eş havza denemesinde havza üzerindeki vejetasyonun uzaklaştırılması ile su veriminde yağmurun yüzdesi olarak en fazla % 18'lik bir artışın meydana geldiği ve bu artışın da uygulamanın yapıldığı yıldan sonraki yılda olduğunu belirtmişlerdir. Bu uygulama ile ayrıca yüzeysel akışa göre taban suundaki artışın iki kat fazla olduğu belirlenmiştir. Yine bu alandaki vejetasyonun büyümesi ile 9 yıllık bir süreç sonunda su verimindeki artışın uygulama yapılmadan önceki durumuna döndüğü belirtilmiştir.

Hubbart ve arkadaşları [54], ABD'de kuzeybatı pasifik kıyılarında bulunan Mica deresi havzasında eş havza denemeleri gerçekleştirmişlerdir. Araştırmada havzanın bitki örtüsü kuzey ve güneydoğu kesimlerinde tıraşlama şeklinde, kuzeydoğusunda seçme şeklinde olmak üzere %50 oranında alandan uzaklaştırılmıştır. Yapılan müdahaleler sonucunda tıraşlama kesimi yapılan alanda yıllık su verimi artışı 270 mm'yi geçerken, seçme şeklinde yapılan aralamada ise 140 mm'den daha fazla arttığı gözlemlenmiştir. Havzanın tıraşlama yapılan kesiminde gerçekleşen evapotranspirasyon %35 iken, seçme kesim yapılan alanda gerçekleşen evapotranspirasyon da ise %14 oranında bir azalma gözlenmiştir.

Likens ve ark. [55] ABD’de Hubbard Brook vadisinde yaptıkları çalışmada, öncelikle havza ekosistemini tanımaya yönelik çalışmalar yapılmıştır. Daha sonra havzanın su verimine etkisi olan parametreleri belirlemeye yönelik ölçümler gerçekleştirilmiş ve sonrasında da su kalite parametrelerine yönelik ölçümler yapılmıştır. 15 yıllık süreçte ölçümler ve çalışmalar yapıp Hubbard Brook vadisinin hidrolojisine yönelik ilişkiler ortaya koyulmuştur. Sonuçta buradan elde edilen bilgilerle 200’den fazla bilimsel makale yayınlanmıştır.

Hsia ve Koh [56], Taiwan’da yaptıkları eş havza denemesinde küçük bir alana sahip havzada (5,86 ha) vejetasyon örtüsü tıraşlama kesimi ile havzadan çıkarılmış ve yapılan bu işlemin su verimi üzerine nasıl bir etkisinin olacağını araştırmışlardır. Yapılan tıraşlama kesimi sonrası yağışlı dönemde havzanın su veriminde ilk yıl 402 mm (%55) ve ikinci yıl 184 mm (%47) oranında bir artış gözlemlenmiştir. Kurak periyotta ise ilk yıl 46 mm (%108) ve ikinci yıl ise 20 mm (%293)’lik artışlar olduğu belirlenmiştir.

Burton [57], tarafından yapılan eş havza denemesinde A.B.D’nin Utah eyaletinin kuzeybatısında Dry Fork drenaj havzasında 30 yıllık akış verileri kullanılmış ve *Pinus contorta* meşcerelerinde ağaçların tıraşlama kesim ile uzaklaştırılmasıyla havzanın su veriminde ve havzada oluşabilecek pik akımlara etkisi ortaya konulmuştur. Araştırma verilerine göre havzanın % 25’lik kısmına tekabül eden 526 hektarlık kısımda tıraşlama sonucu yıllık su veriminde %52’lik bir artış gözlemlenmiştir.

Dünya üzerinde birçok çalışma yapılmış olan eş havza denemeleri ile ilgili ülkemizde yalnızca İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Havza Yönetimi Anabilim Dalında eş havza denemeleri yapılmıştır. 1979 yılında kurulmuş olan eş havza denemeleri ile ormana yapılan müdahalelerin su verimi ve kalitesi üzerine olan etkileri araştırılmıştır [58]. Bu araştırmalar ile ülkemiz için son derece önemli olabilecek sonuçlar elde edilmiş ve bu araştırmalara ilişkin birçok makale yazılmıştır. Gökbulak ve arkadaşları [59], bu eş deneme havzalarında yapılan ölçümlerde dere akışı ile bu dere akışı sırasındaki bitki besin maddeleri akışı ile askıda sediment miktarı arasındaki ilişkiyi araştırmıştır. İncelemeler sonucunda bitki besin maddeleri ile dere akışı arasında önemli doğrusal ilişkiler bulunmuştur. Deneme havzalarından aylık olarak ortalama 3,59 kg/ha Ca^{+2} , 0,07 kg/ha toplam N, 10,01 kg/ha HCO_3 , 1,29 kg/ha Mg^{+2} , 5,92 kg/ha Cl^- , 1,29 kg/ha Mg^{+2} , 3,59 kg/ha Ca^{+2} ve 35,82 kg/ha askıda sediment miktarı belirlenmiştir.

Serengil ve arkadaşları [60] da aynı eş havzalarda yapmış oldukları çalışmada yapraklı

ormanlarda göğüs yüzeyinin seçme olarak % 11 azaltılmasının havzanın su verimine etkisini incelemiştir. Çalışma sonucunda aralamadan hemen sonra havzada oluşacak olan tahmini su fazlası değeri ile ölçülen değer arasındaki fark 79,3 mm olarak bulunmuştur. Bu çalışmalardan başka ülkemizde eş havza denemesi üzerine yapılmış çalışma bulunmamakla beraber farklı araştırmacılar tarafından bazı ağaç türlerine göre orman altı yağış, gövdeden akış ve intersepsiyon ölçümlerini içeren bazı çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Örneğin Çepel [61], Belgrad ormanında karaçam, kayın, ve meşe meşcerelerinde yaptığı araştırmada iki yıllık ölçümlere göre karaçam meşceresinde yıllık yağışın % 26'sı, kayın meşceresinde %12'si ve meşe meşceresinde ise % 13'ü intersepsiyon miktarı olarak bulmuştur. Gövdeden akış da sırasıyla Karaçam da %4, Kayın da %16 ve Meşe de ise %13 olarak saptanmıştır.

Diğer bir çalışmada Balcı [62], Elmalı Barajı havzasında yapmış olduğu çalışmasında meşe baltalık ormanında intersepsiyon miktarınının yağışın %16.1'ine tekabül ettiğini belirlemiştir. Ayrıca yüzeysel akış değeri de incelenmiş ve neojen topraklarının bulunduğu meşe baltalık ormanında yağışın %18'i yüzeysel akışa geçerken, çayır kaplı alanda %36'sı ve çıplak tarla koşullarında %56'sının yüzeysel akışa geçtiği saptanmıştır.

Aydemir [63], tarafından Bolu dağı mevkiinde gerçekleştirilen bir çalışmada, %15 eğimli bir alanda bulunan direklik çağındaki meşe meşceresinin yüzeysel akış miktarı yağışın %0,5'i, %28 eğimde %1,3'ü ve %45 eğimde ise %2,9 olarak bulunmuştur. İstanbul Arnavutköy deresi yağış havzasında yapılan bir çalışmada ise meşe ve gürgenden oluşan bozuk baltalık meşcerelerinde intersepsiyon miktarı, ağaçların yapraklı olduğu yaz döneminde yağışın %21.58'i, yapraksız olduğu kış döneminde ise %12.72 ve yıllık ortalama olarak da %15.29 bulunmuştur [49].

1.3. ORMAN AMENAJMAN PLANLARINDA MODELLEME

Ormanlar karmaşık ve dinamik bir yapıya sahiptir. Bu karmaşık ve dinamik yapının daha iyi anlaşılabilmesi adına orman ekosistemi içindeki elemanların birbirleriyle olan ilişkilerini matematiksel olarak ortaya koyulması gerekmektedir. Ormanın dinamik yapısını tanımlayan modeller, orman amenajman planlarının daha uzun süreli kullanımına ve geçerliliğinin devamına katkı sağlamaktadırlar. Alternatiflerin oluşturulması ve karar verme sürecinde, ormana yapılacak silvikültürel müdahalelerin

uzun zaman periyodunda orman ekosistemlerindeki değişiminin izlenmesi, takip edilmesi ve dolayısıyla en iyi ve uygun planların yapılmasında çok önemli bir fonksiyona sahiptir. Orman ekosistemini bir sistem olarak ele alırsak, sistemin temsil edilebilmesine göre modeller değişik biçimlerde olabilirler. Ancak her modelin hedefi, karmaşık bir yapıya sahip olan sistemi basitleştirmek, karmaşıklığı çözümlmek ve incelemektir. Modelleme sistemlerin karmaşıklığını çözümlmede kullanılan en eski ve en etkin yöntemdir. Orman canlı bir varlık olduğundan ormanın belirli bir süre sonundaki durumunu bilebilmek oldukça zordur. Dolayısıyla bir orman ekosistemini anlama, bu sistem hakkında geleceğe yönelik doğru tahminlerde bulunabilme ve sistemin sunmuş olduğu değerler göz önüne alınarak, süreklilik çerçevesinde ormanlardan optimal biçimde faydalanabilmek için orman amenajmanında modelleme kullanımı son derece önemlidir [64]. Modelleme teknikleri orman ekosistemlerinin zamansal ve konumsal olarak nasıl bir değişim gösterdiğinin anlaşılmasına ve amacımızı en iyileyecek doğru kararlar alınmasına katkı sağlar. Bu modelleme tekniklerin her birinin kendine has avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Fakat genel olarak modelleme tekniklerinin ormanların planlanmasında kullanımıyla çok sayıda alternatiflerin değerlendirilmesi ve bunlar arasından amacımıza göre en iyisinin seçilmesi en önemli avantajını oluşturmaktadır. Çok amaçlı fonksiyonel orman planlamalarında simülasyon, optimizasyon ve kombine optimizasyon teknikleri kullanılmaktadır.

Ormanların planlanmasında genellikle, Doğrusal Programlama, Tamsayı Programlama ve Amaç Programlama gibi optimizasyon teknikleri kullanılmaktadır. Son dönemlerde ayrıca Tabu Arama, Tavlama Benzetimi, Eşik Kabulü ve Monte Carlo Simülasyonu gibi kombine optimizasyon tekniklerin kullanımı da artmaya başlamıştır. Ormancılık uygulamalarında yoğun şekilde kullanılan optimizasyon teknikleri ve mevcut tez çalışmasında kullanılan optimizasyon tekniği (Karışık Tamsayılı Programlama) aşağıda açıklanmıştır.

1.3.1. Doğrusal Programlama

Doğrusal Programlama (DP) eldeki kıt kaynakların optimal bir şekilde kullanımını sağlayan bir tekniktir. Doğrusal programlama eldeki kaynakların ne kadar kısıtlandığını gösteren kısıt denklemleri ile amacı belirten amaç fonksiyonuna sahip olmalıdır. Diğer bir tanımlamayla DP, iyi tanımlanmış doğrusal eşitliklerin veya eşitsizliklerin kısıtlayıcı

koşullar altında doğrusal bir amaç fonksiyonunu en iyi (maksimizasyon veya minimizasyon) yapan değişken değerlerinin belirlenmesinde kullanılan matematiksel programlama tekniğidir.

DP modelleri orman planlamada en yaygın olarak kullanılan optimizasyon modelleridir. Birçok farklı ormancılık probleminin çözülmesinde en yaygın kullanım alanı bulan tekniklerden bir tanesi olan DP, doğrusal karar modelleriyle ilgili kavram ve teknikler bütünüdür. Doğrusal programlama, bütün model parametrelerinin kesin olarak bilindiğini varsayan deterministik bir tekniktir [64]

Yukarıda sayılan özelliklere göre doğrusal programlamanın yapısını şu üç ana faktöre dayandırmamız mümkündür. Bir DP problemi;

1- Karar değişkenlerinin (X_1, X_2, \dots, X_n) doğrusal bir fonksiyonu olan maksimizasyon veya minimizasyon şeklinde olan bir amaç fonksiyonu içerir.

2- Karar değişkenlerinin alacağı değerleri sınırlayan doğrusal eşitlik ya da eşitsizlik şeklinde kısıtlar seti içerir.

3- Karar değişkenlerinin pozitiflik koşulunu sağlayan bir kısıt içerir. $x_j \geq 0$, ($j=1, \dots, n$) [65].

Bu üç ana faktörün matematiksel ifadesi ise şöyledir: [64]

$$\text{Amaç Fonksiyonu} \quad \rightarrow \quad Z = \sum_{j=1}^N C_j x_j \quad (1.1)$$

$$\text{Kısıtlar} \quad \rightarrow \quad \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N a_{ij} x_j \begin{bmatrix} \leq \\ = \\ \geq \end{bmatrix} B_i \quad (1.2)$$

$$\text{Karar Değişkenleri} \quad \rightarrow \quad x_j$$

$$\text{Pozitiflik Koşulu} \quad \rightarrow \quad x_j \geq 0$$

Bu formülde;

- $i = 1, 2, \dots, M$ (kısıt sayısı)
- $j = 1, 2, \dots, N$ (karar değişken sayısı)
- $x_j =$ karar değişkenleri
- $C_j =$ amaç fonksiyonu katsayıları, j karar değişkeninin katkı katsayıları

- $a_{ij} = i$ kısıtındaki j karar değişkeninin teknik katsayısı
- $B_i = i$ kısıtının sağ taraf değeri (STD) yahut kaynak değeri

Doğrusal programlama, doğrusal bir ilişkisi olan, sınırları belirlenmiş iki veya daha fazla değişkenin, hedeflenen amaç doğrultusunda maksimum ya da minimum miktarların bulunabilmesini sağlayan yöntemdir.

Doğrusal programlama tekniğinin bazı varsayımları vardır. Kurulacak bir matematiksel model, doğrusal programlamanın uygulama alanını sınırlayabilen, pratik çözüm sunabilen gibi bazı varsayımlar içerir. Hangi tür işletme problemlerinin çözümünde doğrusal programlama tekniğinin kullanılacağına karar verebilmek amacıyla geliştirilen bu belirleyici özellikleri yahut varsayımları aşağıdaki şekilde kısaca açıklamak mümkündür.

- ♣ Doğrusallık: Bir doğrusal programlama modelinde, kısıtlayıcılar ve amaç fonksiyonu değerleri doğrusal nitelikte olmalıdır. Amaç fonksiyonu değeri ve kısıtların sol taraf değerleri birinci dereceden polynomial denklemler şeklinde olmalıdır [64]
- ♣ Bölünebilirlik: Her karar değişkeninin alacağı değer ondalıklı veya tam sayı şeklinde olabilmektedir. Dolayısıyla, $x_1 = 5.8383$ şeklinde bir çözüm geçerli olabildiği gibi $x_2 = 8$ şeklindeki diğer bir çözümde geçerli bir çözümdür [64]. Bu şekilde bir modelle en uygun çözüme ulaşıldıktan sonra kesirli değerler Tamsayı programlama algoritmalarıyla tamsayıya dönüştürülebilirler [66].
- ♣ Deterministik: Bir DP modelinde yer alan tüm katsayı ve sağ taraf değerlerinin sabit olduğu farz edilir. DP'nin bu varsayımı genelde tutarlıdır, fakat gerçek hayatta bu değerler bazı olasılıklar çerçevesinde elde edilir. Diğer taraftan, bizim kesin olarak belirlediğimiz sabit ölçüm ve gözlem değerleri de gerçekleri tam olarak temsil edememekte yahut bazı yanılma payları bulunabilmektedir. Kısacası, doğrusal programlamada deterministik yaklaşım tarzı benimsenmiştir ve olasılıklara da yer verilmemektedir [64].
- ♣ Pozitiflik Koşulu: DP'deki tüm karar değişkenlerinin pozitif değerler alması gerekmektedir. Çünkü negatif bir ürün üzerinden üretim söz konusu değildir. Negatif değere sahip karar değişkenleri üretimin dönüşümüne sebep olur, bu da işletmeler tarafından kabul edilmez [64].
- ♣ Sınırlılık (Kısıtlayıcı Faktörler): İşletme amacının maksimizasyonu veya minimizasyonu bazı sınırlandırıcı faktörlere bağlıdır. Kullanılacak kaynakların sınırlı oluşu üretimin sınırını da belirlemektedir. Doğada sınırsız ürün kullanımı

mümkün değildir. Bu durum doğrusal programlama modellerinde sınırlılık olarak ifade edilmektedir [66].

Tüm bu yukarıdaki varsayım ve koşullardan hareket ederek doğrusal programlamanın özellikleri aşağıda kısaca özetlenmiştir [64].

1. Amaç fonksiyonu ve kısıtlayıcıların tanımlamaları çok iyi bir şekilde yapılmalıdır.
2. Karar değişkenleri net bir şekilde belirlenmelidir.
3. Hem karar değişkenleri kendi aralarında hem de amaç fonksiyonuyla karar değişkenleri arasında ilişki kurulmalıdır.
4. Karar değişkenleri arasındaki ilişkiler doğrusal olmalıdır.
5. Üretimde kullanılacak kaynakları ölçülebilmeli ve sınırlı olmalıdır.
6. İşletme amacının tek olması gereklidir.
7. Risk ve belirsizliğin etkisinin en aza indirilebilmesi için, problemin süresi olabildiğince kısa tutulmalıdır.

1.3.2. Tamsayı Programlama

Doğrusal programlama modelleri her türlü işletme sorunlarını çözmek için uygulanabilecek yapıdadır. Fakat sonuçta ya işletmeden kaynaklanan ya da doğrusal programlama modelinin uygulandığı problemin yapısından kaynaklı olarak istenilen sonuçlar alınamayabilir. Çünkü gerçek yaşamda input ve outputların bölünmezlik sorunları ortaya çıkmaktadır. Bu tarz problemlerin çözümünde de tamsayı programlama (TP) kullanılmaktadır [67]. Orman ekosistemlerinde de çeşitli problemler nedeniyle optimal çözümler elde edilememektedir. Ormanların konumsal özellikleri ve dağılımları karar vericilerin planlama yaparken dikkate alması gereken önemli konulardandır. Örneğin üretim yapılacak bir meşcere için, satın alınacak malzeme miktarı veya çalıştırılacak işçi sayısı gibi kaynak tahsislerinde değişkenlerin tam sayılı olması gerekir [7]. Doğrusal programlama ile problemlerin çözümü sonucunda elde edilen kesirli değerlerin (6,5 işçi gibi) gerçek hayatta tatbiki oldukça zordur. Bu tarz problemleri çözmek için tam sayılı programlama veya tam sayılı programlamanın farklı versiyonları kullanılmaktadır. Genel olarak Tam sayılı programlama problemi sembolik yapısı aşağıdaki gibidir [68].

$$\text{Max } Z = \sum_{j=1}^n C_j X_j \quad (1.3)$$

$$\text{Kısıtlayıcılar} = \sum_{j=1}^n C_j X_j \leq b_i \quad (1.4)$$

$i=1,2,\dots$ kısıt sayısı, $X_j = 0,1,2,\dots$ tam sayı, $j= 1,2 \dots n$ ve $b_i = i$ kısıtının sağ taraf değeridir.

Tam sayılı programlama modelleri genel olarak değişkenlerin alacağı tam sayı değerlerine göre üç sınıfa ayrılmaktadır. Bütün karar değişkenlerin tam sayılı değerler aldığı tam sayılı doğrusal programlama, bazı değişkenlerin tamsayı bazılarının ise sürekli değerler aldığı karışık tamsayı programlama ve kaynakların sadece bir değişkene atandığı 0–1 tamsayı programlamadır. Doğrusal programlama tekniği ile çözülen problemin bölünebilir sonuçları tamsayı programlama ile giderilebilmektedir. Ancak, böyle durumlarda problemin boyutu ve çözüm süresi artmakta hatta bazen çözüme ulaşamamaktadır [7].

1.4. ORMANLARIN SU KALİTESİ VE VERİMİNE YÖNELİK YAPILAN MODELLEME ÇALIŞMALARI

Finladiya'nın orta kesimlerinde yapılan bir çalışmada müdahale edilen ve kontrol amaçlı bırakılan 56 ve 24 hektarlık iki havzada akış miktarının nasıl değişeceğini belirlemek için ampirik eşleştirilmiş havza yönetimi ve hidrolojik simülasyon tekniklerini kullanılmıştır. Birinci havzaya %35 oranında tıraşlama kesimi uygulanmıştır. İkinci havzada ise kontrol amaçlı bir faaliyet yapılmamıştır. Bu şekilde havzalardaki akış miktarı farklılıkları analiz edilmiştir. İkinci aşama olarak da Kar ve Kanopi modelleri açıklık ve ormanlık bir alanda kar suyu eşdeğer verilerine göre kalibre edilmiştir. İki havza için kalibre edilmiş bu parametreler de hidrolojik modele dâhil edilmiştir. Her iki havzadan elde edilen sonuçlara göre genç meşcerelerde ve kesilen alanlarda intersepsiyon azalırken, evapotranspirasyon ise artmıştır. Kontrol amaçlı bırakılan alanlardaki ormanın büyümesi de özellikle bahar aylarındaki sel miktarını önemli ölçüde azaltmıştır [69].

Avustralya'da yapılan çalışmada, dağ ökaliptusundan oluşan Viktorya ormanında yaş ile su verimi arasındaki uzun vadeli ilişkiyi belirlemek ve taklit etmek için bir su denge

modeli geliştirilmiştir. Hipotezin test edilmesi sonucunda su verimindeki değişikliklerinin ana sebebinin özellikle yaprak alan indeksinin değişimi ve evapotranspirasyon sonucu oluşan buharlaşma ile açıklanabileceğini belirtmişlerdir [70].

Kuzey Amerika da buluna Erie gölü havzasında yapılan diğer bir çalışmada arazi değişiminin su kalitesi dengesini ve ekonomik getirisini optimize etmeye yönelik model geliştirilmiştir. SWAT analizinin kullanıldığı modelde havzadaki fosfor miktarının azaltılması için uygun alanlar belirlenmiş ve yönetim stratejilerinin etkinliğini ve ekonomik verimliliğini karşılaştıran entegre modelleme yaklaşımı geliştirilmiştir. Model sonucunda arazi kullanım değişikliklerinin veya havzadaki koruma alanlarının birleşiminin çözünmüş reaktif fosforun azaltılması için yeterli olduğu sonucunu göstermiştir. Ayrıca model ana hedefleri yerine getirirken bunun yanında ekonomik verimlilik üzerinde de pozitif bir etki yaratmıştır [71].

Çin`de yapılan diğer bir çalışmada, üç büyük havzadan oluşan Yangtze nehrinin kuzey kıyısındaki ana kollardan biri olan Pengxi Nehrinin su kalitesi üzerine araştırmalar yapılmıştır ve SWAT analizi ile nehrin su akış ve besin maddesi içerikleri modele göre değerlendirilmiştir. Günümüzde Pengxi Nehri havzasının su kalitesi bozulmaya başlamış ve mantar baskısı ile karşı karşıyadır. Pengxi Nehri Havzası'nın hidrolojisi ve su kalitesi süreçlerini değerlendirmek için SWAT analizi kullanılmıştır. Akış ve besin maddesi içeriği modele göre değerlendirilmiş ve bu havzanın kirlenmesine sebep olan en önemli kirlenici alanları tespit edilmiştir. Modelin duyarlılık analizi, model kalibrasyonu ve geçerliliği için Genelleştirilmiş Olabilirlik Belirsizlik Kestirimi (GLUE) yöntemi kullanılmıştır. SWAT analizi sonuçlarına göre günlük akış katsayısının 0,66-0,85 arasında, besin maddesi verimi ise 0,70-0,86 arasında değişmekte olduğu belirlenmiştir. Tüm havza için ortalama yıllık su verimi 2010-2013 arasında 3.93 milyar m³, yıllık ortalama toplam azot verimi 9 406 ton, yıllık ortalama toplam fosfor verimi ise 984 ton olarak bulunmuştur. Simülasyon sonuçları, akışın yıl boyunca ve yıldan yıla önemli ölçüde değiştiği ve yağışla ilişkili olduğunu göstermektedir. Yüksek kirlenici özelliğe sahip alanların çoğunlukla Pengxi Nehri havzasının orta ve güney kesimlerinde yoğunlaştığı belirlenmiştir. Bu çalışmanın, su kalite yönetimi politikalarının ve yaklaşımlarının belirlenmesinde önemli etkilerinin olması beklenmektedir [72].

Güney Ekvator'un Paute nehir Havzasında yapılan çalışmada, beş yıl boyunca (2008-

2013) veriler toplanmış ve geniş, karmaşık su kalitesi matrisleri oluşturulmuştur. Bu matrislerin çözümü için sınıflandırılmamış k-ortalamlar cluster analizi ile sınıflandırılmış en yakın komşuluk kombinasyonu ile genetik algoritma optimizasyonu (k-NN/GA) kullanılmıştır. Seksen farklı noktadan alınan 21 fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik su kalitesi parametreleri incelenmiştir. İlk önce sınıflandırılmamış k-ortalamlar algoritması ile örneklerin alındığı noktalar su kalite parametreleri açısından iki sınıfa ayrılmıştır. Sonuç olarak su kalitesi açısından düşük kirliliği ve yüksek kirliliği temsil eden iki sınıf belirlenmiştir. Elde edilen veriler ve iki su kalite sınıfı ile bir sınıflandırma modeli oluşturmak için k-NN/GA algoritması uygulanmıştır. Daha önce k-ortalamlar algoritması tarafından tanımlanan bağımlı değişkenler ve bağımsız olan 21 fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik parametreler algoritmaya girilmiştir. Bu algoritma, bağımsız değişkenlerin çok boyutlu uzayında yalnızca dokuz parametreye kadar anlamlı bir azalmaya yol açmış ve bu da, tanımlanan iki su kalitesi sınıfının yapısına uygun sonuç vermiştir. Bu dokuz parametre, elektriksel iletkenlik, fekal koliformlar, çözünmüş oksijen, klorürler, toplam sertlik, nitrat, toplam alkalinite, biyokimyasal oksijen ihtiyacı ve bulanıklık olarak belirlenmiştir. Ayrıca, çalışma havzasının arazi kullanımı örtüsü, kullanılan su kalitesi veri madenciliği yaklaşımının ana sonuçlarının güvenilirliğini teyit eden k-ortalamlar algoritması tarafından önerilen, su kalitesinin uzamsal dağılımı ile çok iyi bir denge ve uyum içinde olduğu gözlenmiştir [73].

ABD’de Kuzey Carolina eyaletinin güneydoğusunda Goshen bataklığında yapılan bir çalışmada, 130 hektarlık bir alanın tıraşlama kesimi yapılmış ve sonrasında su kalitesinde nasıl bir değişikliğin meydana geldiği araştırılmıştır. Kesimden itibaren 2 yıl boyunca aylık olarak su kalitesine bakılmıştır. Su kalitesinde meydana gelen değişimleri karşılaştırmak amacıyla aynı büyüklükte ve benzer hidrolojik özelliklere sahip komşu bir kontrol deresinden elde edilen verilerle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda tıraşlama kesimi yapılan dereden elde edilen verilerde çok daha yüksek askıda sediment, toplam azot, toplam fosfor, daha fazla bakteri ve düşük çözünmüş oksijen miktarı tespit edilmiştir. Ayrıca yosun miktarında da artış gözlenmiştir. Tıraşlanan dere kenarında her ne kadar 10 m’lik zon bırakılmış olsa da bu durum su kalitesinin düşmesinde yeterli olamamıştır [74].

Amerikanın kuzey doğusunda 40 yıllık orman hidrolojisi ve meteorolojisi araştırmaları, ormanlar ile su miktarı ve kalitesine yönelik geniş bilgiler vermiştir. Orman

yöneticilerinin su kaynaklarının korunmasına ve geliştirilmesine yardımcı olmak için tüm bu bilgileri bir karar modeli haline getirmişlerdir. Model kişisel bilgisayarlar için kullanıcı dostu olmakla beraber, kullanıcılara su kalitesi ve verimine yönelik beşer adet hedef belirlemiş ve hedef kombinasyonları arasından seçim yapabilme imkânı sunmuştur. Su kalitesini korumak ve yönetmek için belirlenen 5 hedef şu şekildedir. 1. Yasaların dışına çıkma, 2. Yasaların emrettiği gibi sulak alanlarda koruma sağlamak, 3. Sıcak ya da soğuk su balıkları için yaşam alanları geliştirmek, 4. Su kalitesinde yoğun koruma ve nehir kenarı fauna ve floranın korunması, 5. En iyi yönetim uygulamalarıyla su kalitesini yoğun koruma altına almak. Su verimine yönelik belirlenen hedefler ise; 1. Yasaların dışına çıkma, 2. Su verimini artır, 3. Sınırlı zayıf akımları sürdür, 4. Mevcut zayıf akımları sürdür ve genişlet, 5. Hidrolojik fonksiyon açısından bozulmuş toprakları onar. Seçilen bu hedeflerden bağımsız olarak, tüm kullanıcılara sucül ekosistemleri kirleten kontrol dışı alanların belirlenmesi ve bu alanların kontrol altına alınması için en iyi yönetim planını hakkında bilgiler verilmektedir [75].

Arazi kullanımında meydana gelen değişimlerin havza üzerinde hidrolojik olarak nasıl bir etkiye sahip olduğunu belirlemeye yönelik yapılan bir çalışmada, hidrolojik model yardımıyla 1992-2005 yılları arasında nasıl bir arazi değişimi olduğu ve bunun su verimi üzerine etkileri araştırılmıştır. Çalışma yapılan havzada kentsel alanların % 20 arttığı ve orman alanlarının % 9 azaldığı belirlenmiştir. Bu arazi değişimi sonucunda ortalama nehir debisinin çok az arttığı, yıllık minimum akım miktarının biraz azaldığı fakat yıllık maksimum akım miktarlarının ise ciddi miktarda arttığı belirlenmiştir [76].

Dünya üzerinde su kalitesi ve verimine yönelik daha birçok model çalışması bulunmaktadır. Bu konuda ülkemizde ise çok fazla çalışma yapılmamıştır. Bu yapılan çalışmalardan bazılarını sıralarsak, Keleş [13], ormanların su ve odun üretimi fonksiyonlarını doğrusal planlama tekniğini kullanarak optimize etmeye çalışmıştır. Yolasıgmaz [6], 100 yıllık bir planlama yörüngesinde, doğrusal programlamayı kullanarak ormanın odun, su ve oksijen üretimi gibi değişik amaçlarını optimize etmeye çalışmıştır. Keleş ve arkadaşları [77], tamsayı programlama tekniği kullanılarak ormanların su ve sediment üretim fonksiyonlarını, odun üretimi fonksiyonu ile bir planlama biriminde bütünleştirmiş ve bu ormanın su ve sediment üretimi miktarını meşcere yaşı ile ilişkiye getirmeye çalışmışlardır. Zengin [16], ormanların odun üretimi, rekreasyon ve hidrolojik fonksiyonlarını ekosistem tabanlı çok amaçlı planlamaya uygun olacak şekilde işletme sınıflarına ayırmış ve orman amenajmanına entegrasyonu

konusunda çalışma yapmıştır. Karahalil ve arkadaşları [78], doğrusal programlama modeli kullanarak toprak koruma, su üretimi ve odun üretiminin orman amenajman planlarına entegrasyonu konusunda bir çalışma yapmıştır. Zengin ve arkadaşları [79], ormanların çok amaçlı orman planlamada kesim planının modellenmesi ve uzun dönemli su veriminin optimizasyonuna yönelik çalışma yapmıştır.



2. MATERİYAL VE YÖNTEM

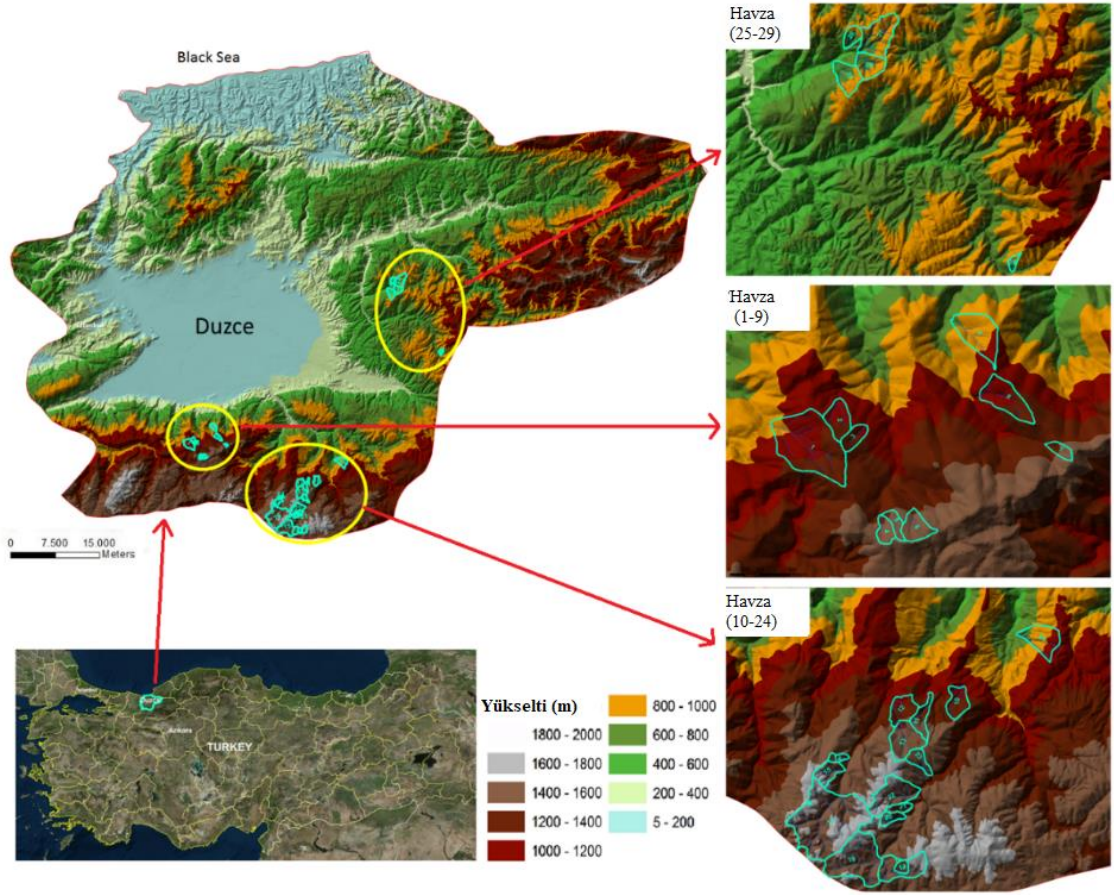
2.1. MATERİYAL

Bu bölümde tez çalışmasının yapıldığı çalışma alanına ilişkin bazı özellikler ile verilerin üretimi ve analizinde kullanılan malzemelere ilişkin genel bilgiler verilmiş, daha sonra da çalışmanın değişik aşamalarında kullanılan yöntemler anlatılmıştır.

2.1.1. Çalışma Alanı

Tez çalışması iki aşamalı bir çalışmadır. Öncelikle havza karakteristikleri ile meşcere parametreleri arasındaki ilişkilerin ortaya koyulabilmesi için 29 adet mikro havzada çalışmalar ve ölçümler yapılmış, sonrasında ise planlama modeline yönelik olarak da bir pilot işletme şefliği seçilmiş ve karışık tamsayı programlama modeli oluşturulup model sonuçları değerlendirilmiştir. Çalışmanın ilk ayağı olan meşcere parametreleri ile havza karakteristikleri arasındaki ilişkilerin ortaya koyulabilmesi adına, Türkiye'nin Batı Karadeniz Bölgesi'nde 40° 37' 18'' - 41° 06' 58'' Kuzey enlemleri ile 30° 50' 14'' - 31° 51' 13'' Doğu boylamları arasında yer alan Düzce ilinin kuzeyinde ve güneydoğusunda yer alan ve dereleri Düzce ovasına ulaşan 29 adet havzada çalışma ve ölçümler gerçekleştirilmiştir [80]. Düzce, etrafı dağlarla çevrili olan bir ova üzerine kurulmuş bir ildir. Düzce'nin deniz seviyesinden ortalama yüksekliği 140 metre iken çalışma alanını oluşturan havzaların mansap noktalarının yükseklikleri 528-1526 m arasında değişmektedir (Şekil 2.1).

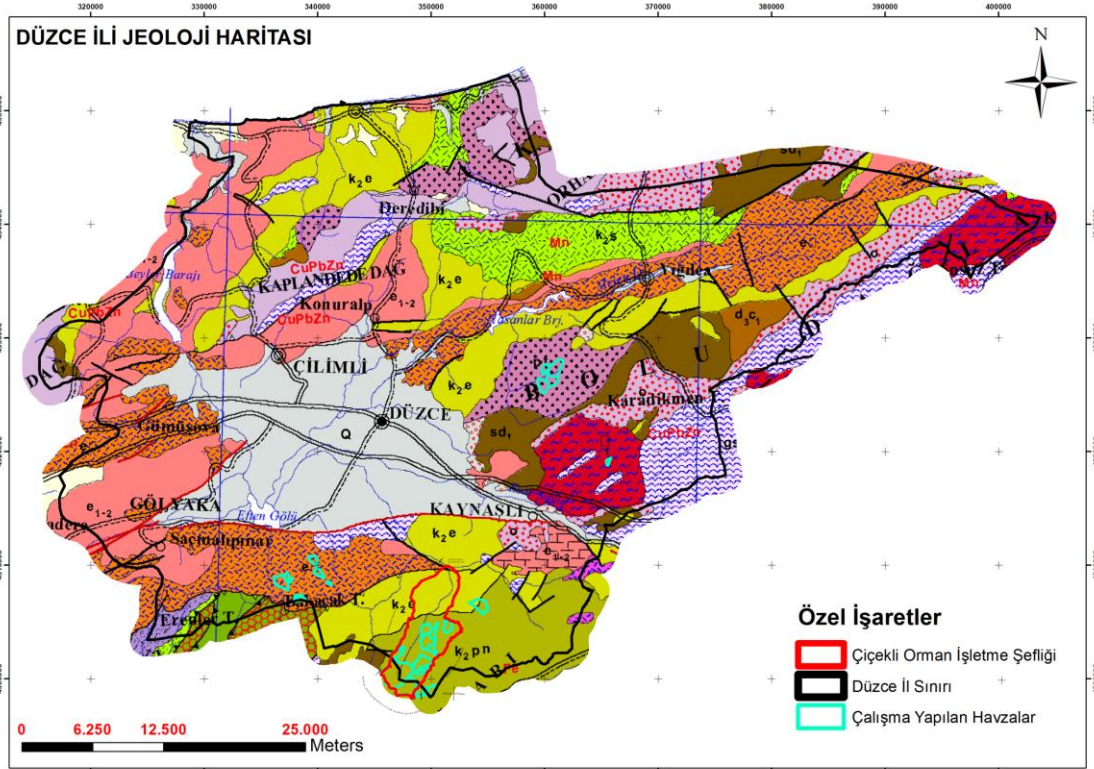
Düzce ili iklimi Thornthwaite sınıflandırma sistemine göre nemli orta sıcaklıkta yaz mevsiminde orta derecede su noksanı olan okyanus iklimine yakın iklim tipine sahiptir. Yıllık ortalama yağış miktarı 818,4 mm'dir ve yağışın büyük çoğunluğu mart ve ekim aylarında gerçekleşmektedir. Yıllık ortalama sıcaklığı 13,2 °C olup yılın en soğuk ayı 3,9 °C ile Ocak ve en sıcak ayı ise 22,6 °C ile Temmuz'dur [81].



Şekil 2.1. Çalışma yapılan havzaların konumları [80].

Düzce ovası 4. zaman alüvyonları ile kaplı bir göl tabanıdır. Çalışılan havzaların büyük çoğunluğunun yer aldığı Düzce ili güney kesimi dağlık bölgelerden oluşur ve Kumtaşı-konglomera-marn-tüfit (volkanik kumtaşı) formasyonları bulunmaktadır (Şekil 2.2). Yine çalışma yapılan havzaların bir kısmının yer aldığı ilin doğu ve güney doğu kesimlerinde de Kumtaşı-konglomera-marn-tüfit (volkanik kumtaşı) formasyonları ile Kıltaşı, Silttaşı ara seviyeli killi kireçtaşı-marn ve resifal kireçtaşından oluşan formasyonlar yer almaktadır [82].

Çalışma yapılan havzaların büyük çoğunluğu tamamen ormanlarla kaplıdır. Havzalarda yer alan başlıca ağaç türleri Gökmar (*Abies nordmanniana subsp. bornmulleriana*), Kayın (*Fagus orientalis*) ve Meşedir (*Quercus sp.*). Meşe alçak rakımlardaki havzalarda bulunurken, Kayın ve Gökmar orta ve daha yukarı rakımlardaki havzalarda yer almaktadır. Yüksek rakımlı havzalarda ayrıca Sarıçam (*Pinus sylvestris*)'da karışıma girmektedir [83].

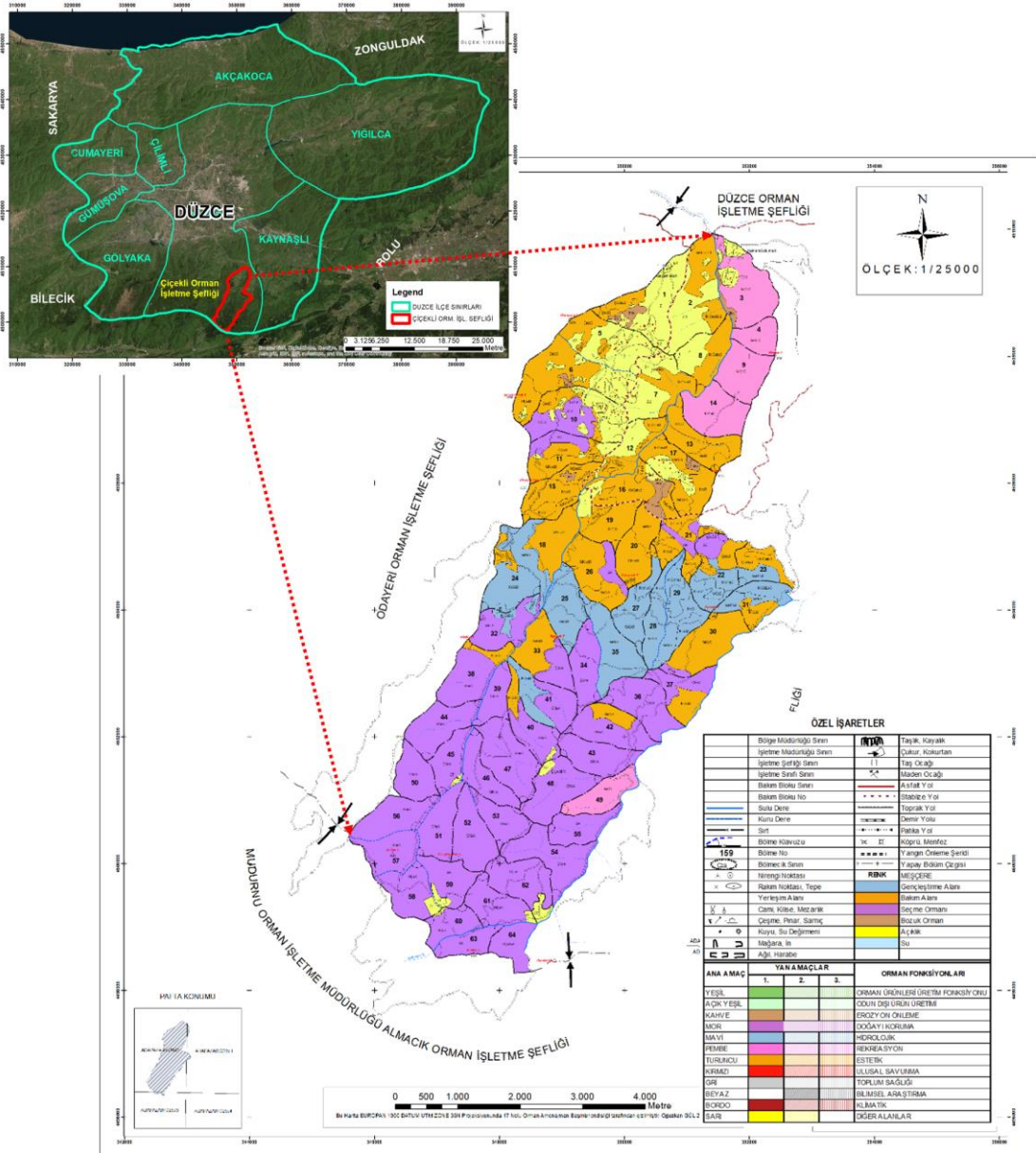


Q	Ayrılmamış Kuvaterner Undifferentiated Quaternary	o	Kirintlılar Clastic rocks		Dokanak Contact
pl	Ayrılmamış karasal kirintlılar Undifferentiated continental clastic rocks	o	Karasal kirintlılar Continental clastic rocks		Ters fay (bindirme) Reverse fault
of	Ayrılmamış bazik ve ultrabazik kayalar Undifferentiated basic and ultrabasic rocks	gşa	Ayrılmamış gneys, schist, migmatit, metagranit, amfibolit vb. Undifferentiated gneiss, schist, migmatite, metagranite, amfibolite etc.		Sürüktenim Overthrust
ş	Şist, fillit, mermer, metabazit vb. Schist, phyllite, marble, metabasic rocks etc.	d ₃ c ₁	Karbonatlar ve kirintlılar (genellikle Orta Devoniyen - Alt Karbonifer) Carbonate and clastic rocks (generally Middle Devonian - Lower Carboniferous)		Düsey fay Vertical fault
t	Metagranit Metagranite	sd ₁	Karbonatlar ve kirintlılar (genellikle Üst Ordovisiyen - Alt Devoniyen) Carbonate and clastic rocks (generally Upper Ordovician - Lower Devonian)		Tanımlanmamış fay Undefined fault
f	Metafliş Metaflysch	e ₂₋₃	Karasal kirintlılar Continental clastic rocks		Aktif fay Active fault
km	Metagabro, amfibolit vb. Metagabro, amfibolite etc.	e ₁₋₂	Neritik kireçtaşı Neritic limestone		Olası aktif fay Probable active fault
s	Ayrılmamış volkanitler Undifferentiated volcanic rocks	e ₁₋₂	Kirintlılar ve karbonatlar Clastic and carbonate rocks		Birinci derece karayolu First grade road
e ₁	Andezit Andesite	k ₂ s	Volkanitler ve sedimenter kayalar Volcanic and sedimentary rocks		İkinci derece karayolu Second grade road
pn	Ayrılmamış volkanitler Undifferentiated volcanic rocks	k ₂ e	Kirintlılar ve karbonatlar Clastic and carbonate rocks		Demiryolu Railway
pt	Karasal kirintlılar Continental clastic rocks	k ₂ pn	Kirintlılar ve karbonatlar (bloku fliş) Clastic and carbonate rocks (wild flysch)		İller City

Şekil 2.2. Düzce ili ve çalışma yapılan havzalara ilişkin jeoloji haritası.

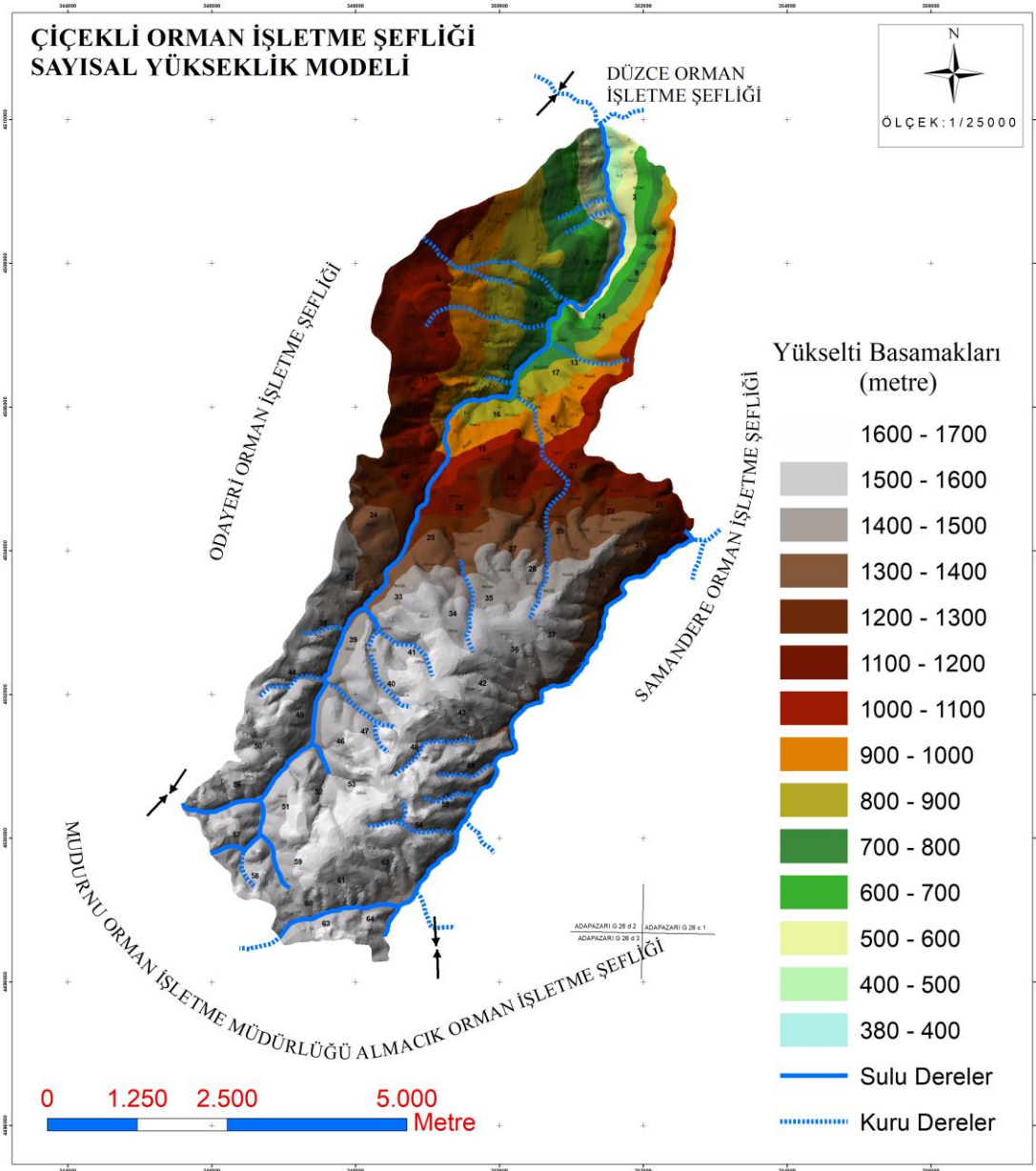
Tez çalışmasının ikinci aşaması da ilk aşama sonucunda elde edilen ilişkilerden faydalanılarak bir orman işletme şefliğinde optimizasyon modelinin kurulması ve bir planlama yörüngesi boyunca belirlenen işletme amaçlarına göre planlama çıktılarının elde edilmesidir. Bu bağlamda çalışma yapılan toplam 29 havzanın 13'ünü içinde

barındıran Bolu Orman Bölge Müdürlüğü, Düzce Orman İşletme Müdürlüğü, Çiçekli Orman İşletme Şefliği çalışma alanı olarak seçilmiştir. Şeflik, Düzce ilinin güneyinde, Bolu iline sınır olan bir orman işletme şefliğidir. Kuzeyinde Düzce orman işletme şefliği, doğusunda Samandere orman işletme şefliği, Güneyinde, Mudurnu orman işletme müdürlüğü, Almacık orman işletme şefliği ve batısında ise Odayeri orman işletme şefliği yer almaktadır. Tez kapsamında 2000 yılına ait amenajman planı meşcere haritası kullanılmıştır. Bu amenajman planında Çiçekli orman işletme şefliğinde, 64 bölme, 292 bölmecik ve 85 farklı meşcere tipi bulunmaktadır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Planlama birimi coğrafi konumu ve meşcere haritası.

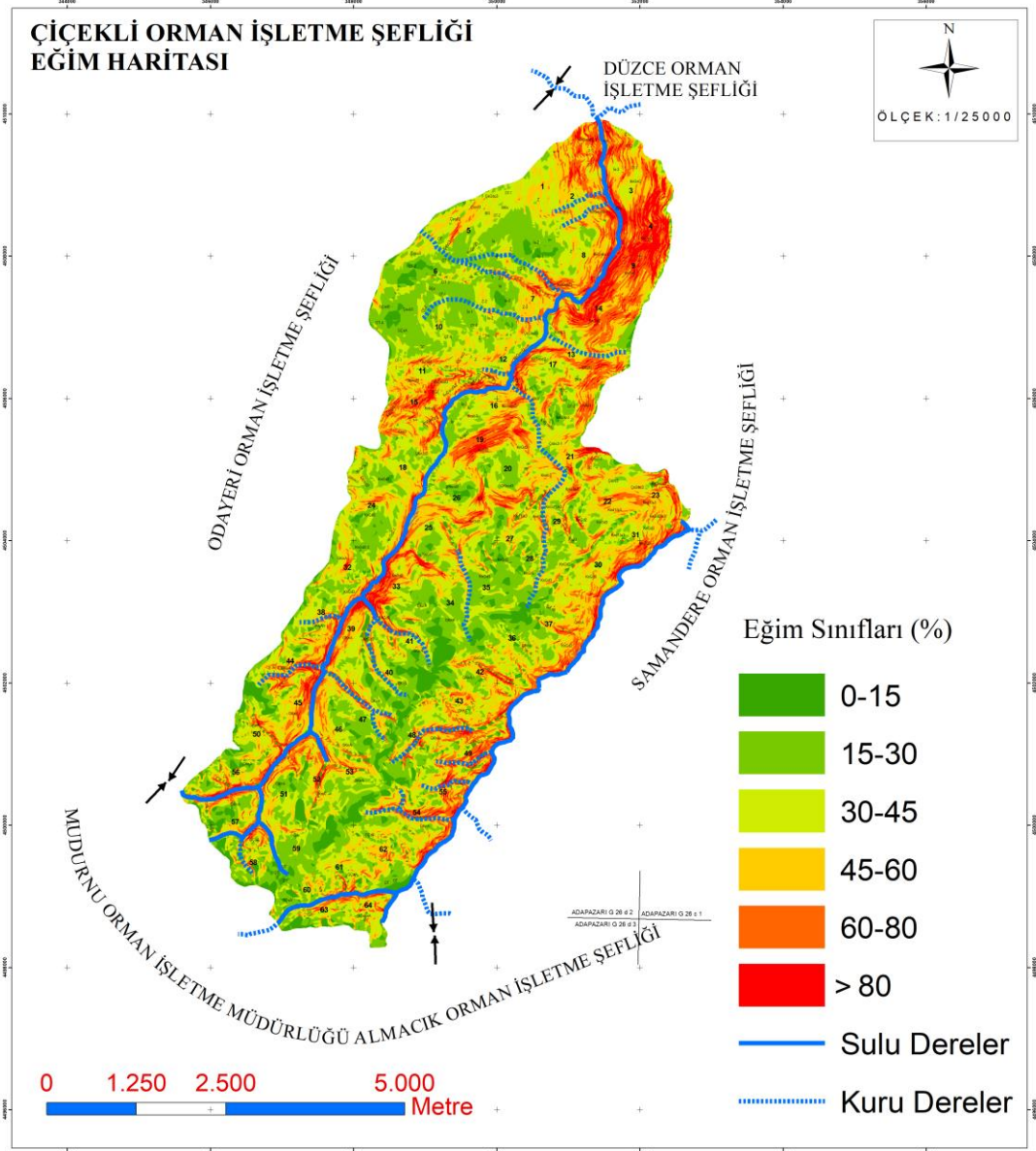
Çiçekli orman işletme şefliği genel alanı 3941,2 hektardır. Bu alanın 3486,0 hektarı (%88) ormanlık alan, 455,2 hektarı ise ormansız alan olarak belirlenmiştir. Orman alanlarının 3442,6 hektarı normal kapalı, 50,6 hektarı ise boşluklu kapalı vasıftaki ormanlardır. Plan ünitesi, Greenwich başlangıç meridyenine göre, 31° 14' 27" - 31° 15' 26" doğu boylamları ile 40° 37' 14" - 40° 43' 35" Kuzey enlemleri arasında kalmaktadır. Planlama ünitesinin en yüksek yeri 1631 m. ile Erenler Tepe, en alçak yeri 410 m. ile Hamamsuyu derenin Çiçekli Şefliğini terk ettiği yerdir (Şekil 2.4).



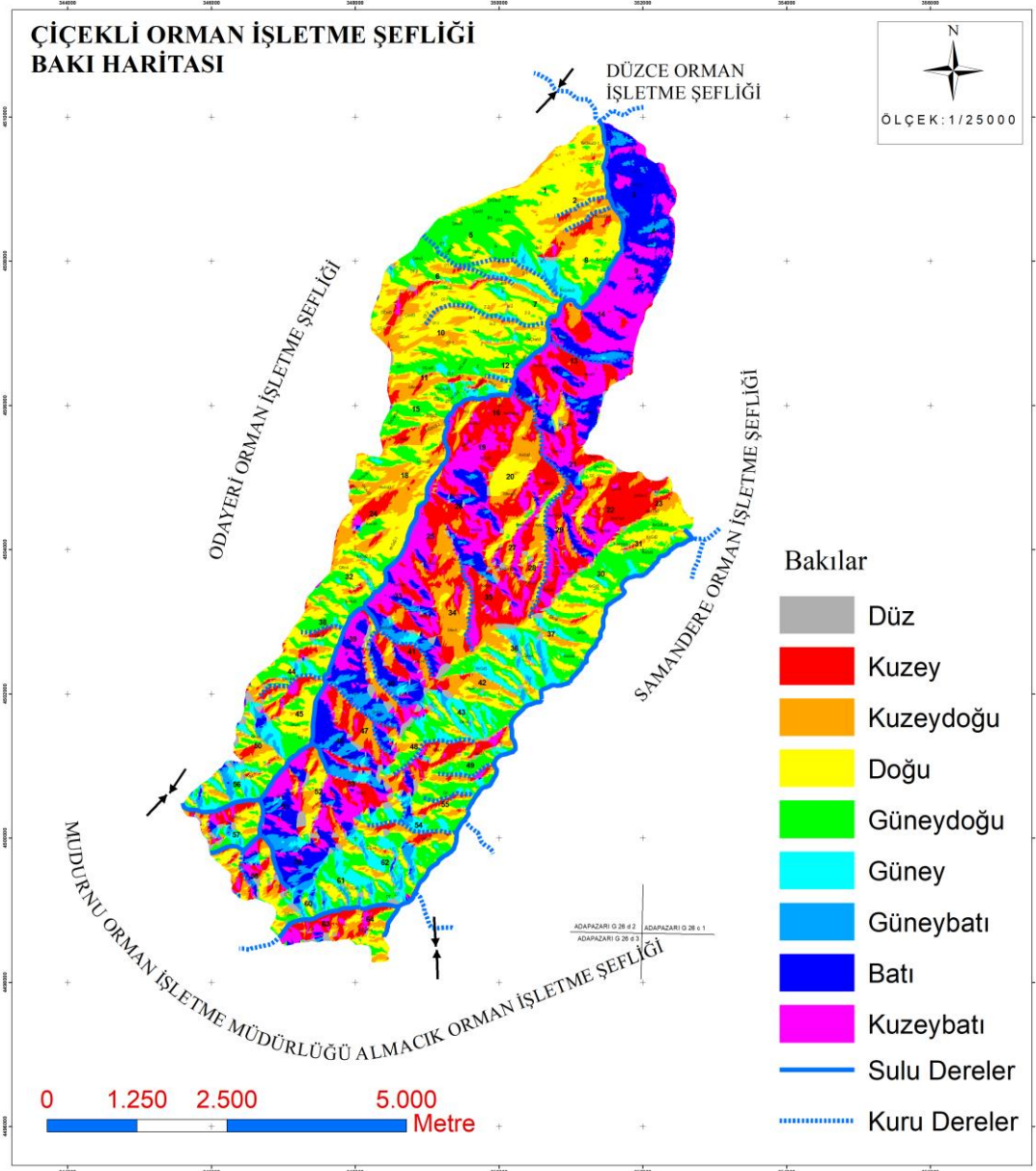
Şekil 2.4. Planlama birimi sayısal yükseklik modeli.

Çiçekli orman işletme şefliğinde yerleşim alanları, şefliğin kuzey kısmında yer almaktadır. Çalışma alanında, kadastro çalışmaları tamamlanmış, yenilenen amenajman planı meşcere haritasında Ziraat ve İskan olarak gösterilen yerler kadastro çalışmaları ile orman dışına çıkartılmış alanlardan oluşmaktadır. İşletme şefliği sınırları içinde yer alan Derdin köyü 381 nüfusa sahiptir. Köy 6831 sayılı orman kanununa göre 31. Madde köyü durumundadır [84]. Şeflik sınırları içinde bulunan köyün şehir merkezine olan mesafesinin fazla olmaması nedeniyle, köyde yaşayan halk, şehrin bütün iş olanaklarından yararlanabilmektedir. Ayrıca halk genellikle fındık tarımı başta olmak üzere, hayvancılık ve orman işleri ile de uğraşarak geçimlerini sağlamaktadır. Köy mülki hudutları dâhilindeki otlaklarda kontrollü otlatma yapılmaktadır. Yaz aylarında halk, kendilerine ait yaylalara büyük ve küçükbaş hayvanlarını çıkarmaktadır. Köy arazisinin büyük bir kısmı engebeli bir yapıya sahip olduğundan, halk genellikle eskiden ormandan açılmış tarlalarda fındık tarımı ile uğraşmaktadır. Köy halkının bir kısmı da ormancılıkla ilgili (kesme, sürütme, istifleme, nakliyat, ağaçlandırma) işlerde çalışmaktadır [84]. Halkın ormana yaptığı en önemli etkilerin başında otlatma ve açma gelmektedir. Yaz aylarında yaylalara çıkan köy halkı, hem yerleşim alanı hem de fındıklık olarak ormanı açmaktadır. Halk kendi yakacak ihtiyacını karşılamak için usulsüz ve kaçak kesimler yapmaktadır. Hayvanların beslenmesi için de ağaçların özellikle genç dalları ve fidanların yapraklarını toplamaktadır.

Planlama birimi eğim sınıfları açısından özellikle dere yatakları boyunca yüksek eğimli olmakla birlikte yerleşim yerlerinin kuzey kesimleri özellikle yüksek eğimli alanlardır. Planlama birimi alanının yaklaşık yarısı %15-45 eğim sınıfında yer almaktadır (Şekil 2.5). Planlama birimi hakim bakıları ise kuzeydoğu, doğu ve güneybatı olarak görülmektedir (Şekil 2.6).



Şekil 2.5. Planlama birimi eğim sınıfları haritası.



Şekil 2.6. Planlama birimi baki haritası.

Çiçekli orman işletme şefliği, ilk defa 1968 yılında seri bazında Çiçekli Serisi olarak düzenlenmiş ve arazi çalışmaları sonucunda Kayın İşletme Sınıfı olarak 1968-1987 yılları için geçerli olan kat'î amenajman planları ile planlanmıştır. Sonrasında 1987-2000 ve 2000-2009 yılları için plan yenilemesi yapılmıştır [84].

İlk yapılan amenajman planında sadece Kayın işletme sınıfı bulunmasına rağmen 1988 yılında yapılan planda Sarıçam, Gökmar Seçme ve Kayın işletme sınıfı olarak işletme sınıfı sayısı üçe çıkmıştır. Önceleri seri olarak planlanan Çiçekli orman işletme şefliği, daha sonraki amenajman planlarında müstakil işletme şefliği halinde ve herhangi bir

sınır değişikliği yapılmadan planlanmıştır [84].

Gençleştirme çalışmalarına ilk defa 1968 yılında yapılan amenajman planları ile başlanmıştır. 1968-1987 dönemi arasındaki plan döneminde Kayın işletme sınıfından 106 hektarlık gençleştirme sahası planlanmış, fakat bunun sadece 15 hektarlık kısmı gençleştirilmiştir. Aynı dönemde ağaçlandırma çalışmaları ise daha başarılı bir şekilde yapılmış ve planlanan 60 hektar sahanın tamamı ağaçlandırılmıştır. 1987-2000 döneminde ise yine Kayın işletme sınıfında planlanan 120 hektarlık gençleştirme sahasının tamamı gençleştirilirken, 280 hektarlık planlanmış ağaçlandırma sahasının 180 hektarı ancak ağaçlandırılabilmiştir. 2000-2009 yıllarına ait plan döneminde de toplam 400 hektarlık gençleştirme ve ağaçlandırma planlanmışken, toplam 133,0 hektarı gençleştirilmiş ve 10,3 hektar alan da ancak ağaçlandırılabilmiştir. 2000-2009 yılları arasında işletme şefliğinde yapılan müdahaleler sonucu elde edilen uygulama sonuçları aşağıdaki çizelgede verilmiştir [84]. Bu tarihler arasında özellikle her yıl olağanüstü hasılat etaları da alınmıştır. Planlama birimi kışları yoğun kar aldığından özellikle kar kırıklarının çok fazla olduğu, bu orman emvali de olağanüstü hasılat etası (OÜH) olarak alınmaktadır. Çiçekli orman işletme şefliği 2009 yılına ait amenajman plan verilerine bakıldığında 10 yıllık plan döneminde toplam 162 566 m³ ara hasılat ve seçme etasının alınması planlanmış ayrıca 142 270 m³'de son hasılat etasının kararlaştırılmıştır. Bu plan döneminde toplam 304 836 m³ etanın alınacağı öngörülmüştür (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1. 2000-2009 yılları arası yapılan silvikültürel uygulamaların sonuçları ve 2009-2018 yılları için öngörülen eta miktarları.

Uygulama Sonuçları (m ³)						TOPLAM
Yıl	Gençleştirme	Bakım	Seçme	Devamlı Orman	OÜH	
2000		785	1723		2622	5130
2001		3043	4583		1239	8865
2002	3000				15513	18513
2003	750	958	3096		1187	5991
2004	1273	767	2370		3479	7889
2005	1986	1713		193	699	4591
2006	1949	2335	990	766	421	6461
2007	4327	953		519	8480	14279
2008	2929	676	1100	1332	7786	13823
Toplam	11230	13862	2810	16214	41426	85542
2009-2018 yılı Plan Dönemi Verileri						
2009-2018	142270	23087	139479			304836
Toplam	142270	23087	139479			304836

Plan ünitesinde genel olarak Batı Karadeniz iklim özellikleri hâkimdir. Yazları serin ve az yağışlı, kışlar ise soğuk, sert ve kar yağışlı geçmektedir. Yağış, sıcaklık ve kar örtüsünün yerde kalma süresini bölgenin fiziki koşulları, yani yükselti, bakı, dağların uzanışı ve denizden olan uzaklık belirlemektedir. Fiziki koşulların değişkenliği, aynı yörede değişik yüksekliklerde farklı iklim şartlarının oluşmasına neden olmaktadır. Genel olarak 1000 m'ye kadar daha ılıman iklim koşulları varken, daha yüksek rakımlarda soğuk iklim şartları egemen olmaktadır. Dere tabanları ile sırtlara doğru uzanan dağlık kesim arasında yükseklik farkları yer yer 1000 m'ye kadar çıkmaktadır. Bu durum, önemli bir fiziki coğrafya unsuru olan dağların bakı özellikleri ile bir araya geldiğinde yağış, sıcaklık, kar örtüsünün yerde kalma süresi ve nispi nem gibi iklim elemanlarının dağılışında önemli farklılıklar oluşturmaktadır. Yüksekliğe bağlı olarak vejetasyon sürelerinin başlama ve bitiş tarihleri arasında da farklılıklar oluşmaktadır. Düzce il merkezinde (146 m rakım) bulunan meteoroloji istasyonuna ait veriler aşağıdaki çizelgede verilmiştir (Çizelge 2.2). Dolayısıyla aşağıda verilen değerlerin tamamı istasyonun bulunduğu yükselti ve coğrafyaya ait verilerdir. Plan ünitesinin bulunduğu alanın meteorolojik değerlerinde bir takım sapmalar olacağı gerçektir. Plan ünitesinin bulunduğu alana daha yakın istasyon bulunmadığından bu değerler alınmıştır. Fakat belirli bir alana ait yaklaşık sıcaklık ve yağış değerleri elde edilmek istendiğinde her 100 m'lik rakım artışı için sıcaklık değerlerinden 0,5 derece düşülmesi, yağış değerlerine ise 50 mm. eklenmesi gerekmektedir.

Planlama birimi meşcerelerinin dağılışında dağların uzanış yönüne, yükselti ve bakı gibi unsurlara bağlı olarak farklılıklar görülmektedir. Kuzeye bakılı yamaçlar daha fazla yağış ve genellikle nemli bir ortam içerirler, güneye bakılı yamaçlar ise daha fazla güneş aldığından dolayı kurak ve yarı nemli ortam koşulları göstermektedir. Plan ünitesi ormanları, genel olarak ibrelî ağaç türlerinden oluşmaktadır fakat yapraklı ağaç türleri de bulunmaktadır. Münferit halde farklı ağaç türleri de yayılış göstermektedir. Fakat karışıma girebilecek yoğunlukta değillerdir.

Çizelge 2.2. Düzce ili meteorolojik rasat değerleri tablosu.

1975-2008 Yılları rasatlarına ait ortalama ve ekstem kıymetler														
METEOROLOJİK GÖZLEMLER	AYLAR												YILLIK	VEJETASYON SÜRECİNDE
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık		
Ortalama Sıcaklık (°C)	3,8	4,7	7,5	12,2	16,3	20,2	22,3	22,0	18,4	14,1	9,1	5,5	13,01	17,9
En Yüksek Sıcaklık Ortalaması(C)	8,0	9,7	13,3	18,6	22,8	26,6	28,5	28,5	25,4	20,4	14,8	9,8	18,87	24,4
En Düşük Sıcaklık Ortalaması(C)	0,4	0,8	3,1	7,1	10,9	14,3	16,6	16,7	13,0	9,5	4,8	2,1	8,28	12,6
Ortalama Nisbi Nem %	80,5	75,9	72,9	71,2	71,7	69,8	71,7	73,5	74,8	78,0	78,3	80,1	68,06	73,0
Ortalama Bulutluluk (Günlük.)	7,0	6,8	8,3	5,8	4,9	3,8	3,4	3,6	4,1	5,7	6,2	7,0	5,6	4,6
Ortalama Yağış (mm.)	86,5	69,2	69,5	58,4	58,9	55,5	46,9	52,7	47,2	83,3	88,4	100,2	816,70	402,9
Donlu Günler Sayısı	15,9	14,7	9,9	2,1	0,4						0,6	6,9	12,6	5,26
Karlı Günler Sayısı	5,5	6,2	3,2	0,2							0,1	1,4	3,7	1,69
Ortalama Karla Örtülü Günler Sayısı	8,5	7,2	2,5	0,1							1,1	4,9	2,02	0,1
Sisli Günler Sayısı	6,9	3,0	1,9	1,4	1,0	0,4	0,3	0,4	3,1	6,9	7,9	7,4	3,33	1,9
En hızlı rüzgar	SE	SSE	WNW	SW	S	WSW	NNE	W	SW	SW	W	NNW	SSE	SW
yönü ve hız	17,8	20,1	15,4	14,5	18,3	14,0	17,4	11,8	12,4	13,9	16,0	14,1	20,1	14,6

2.1.2. Çalışma Kapsamında Kullanılan Materyaller

Çalışma alanı olarak seçilen Çiçekli orman işletme şefliği meşcere tipleri haritası Düzce Orman İşletme Müdürlüğü'nden sayısal olarak hazır halde alınmıştır. Meşcere tipleri haritası olarak 2000 yılına ait amenajman planı meşcere harita kullanılmıştır. 2000 yılına ait meşcere haritasının seçilmesinin temel nedeni, bu yıla ait amenajman planında meşcere tiplerinin çok daha hassas bir şekilde belirlenmiş ve ormanı temsil eden daha küçük alanların olmasından kaynaklanmaktadır. Plan ünitesi 2000 yılı amenajman planında 292 meşcere bulunurken, 2009 yılında bu rakam bölmeciklerin birleştirilmesiyle 192'ye düşmüştür. Bu bağlamda alanı daha iyi yansıttığını düşündüğümüz 2000 yılı amenajman planına ilişkin meşcere haritası kullanılmıştır. Plan ünitesine ait dere ve yolların çiziminde, her bir bölmeciğin yola ve depoya olan mesafelerinin belirlenmesinde 1/25000 ölçekli standart topoğrafik haritaları altlık olarak kullanılmıştır. Her bir meşcereye ilişkin eğim gurubu da planlama birimine ait eşyükselti eğrilerinden faydalanılarak elde edilmiştir.

Planlama birimi meşcerelerine ilişkin çeşitli parametrelerin planlama ufku boyunca gelişim trendlerini elde etmek üzere hasılat tablolarından faydalanılmıştır. Planlama birimi farklı ağaç türlerinin değişik oranlarda karışımından oluşmaktadır. Buna karşın ülkemizdeki hasılat tabloları saf, aynı yaşlı meşcereler için düzenlenmiştir. Dolayısıyla karışık meşcerelerde, asli ağaç türünü esas almak suretiyle, yine saf meşcereler için düzenlenmiş hasılat tabloları kullanılmıştır. Bu nedenle Meşe [85], Kayın [86], Sarıçam [87], ve Gökmar [88] hasılat tablolarından faydalanılmıştır.

Meşcerelere ilişkin dikili değerlerinin hesaplanabilmesi için de; Düzce Orman İşletme Müdürlüğü'nden temin edilen masraf çeşitlerine ilişkin birim fiyat karar tutanakları ve dikili satışa konu edilmiş açık arttırma değerlerinden faydalanılmıştır. Her bir meşcerenin dikili haldeki değerinin belirlenmesinde öncelikle maliyetlerin hesaplanması gerekmektedir. Bu nedenle her bir meşcere için, ortalama eğim, sürütme mesafesi, nakliye mesafesi, ArcGIS 10.4TM programı ile belirlenmiş ve orman işletme şefliklerinde kullanılan net birim fiyat hesabı cetvellerinden faydalanılmıştır. Maliyetlerin hesaplanmasından sonra Düzce Orman İşletme Müdürlüğü'nün 2016 yılı birim satış fiyatlarından maliyet fiyatları çıkarılarak tomruk, maden direği, sanayi odunu ve yakacak odun için birim fiyatları bulunmuştur.

Karışık tamsayı programlama modeli kapsamında 100 yıllık planlama yörüngesine (ufkuna) göre her bir meşcere tipi için büyüme matrisleri Microsoft Office programları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Farklı senaryolara göre 100 yıllık planlama ufku için en uygun (optimal) kesim düzeninin oluşturulmasında GAMS 24.8.1 (General Algebraic Modeling System) isimli optimizasyon programı kullanılmıştır.

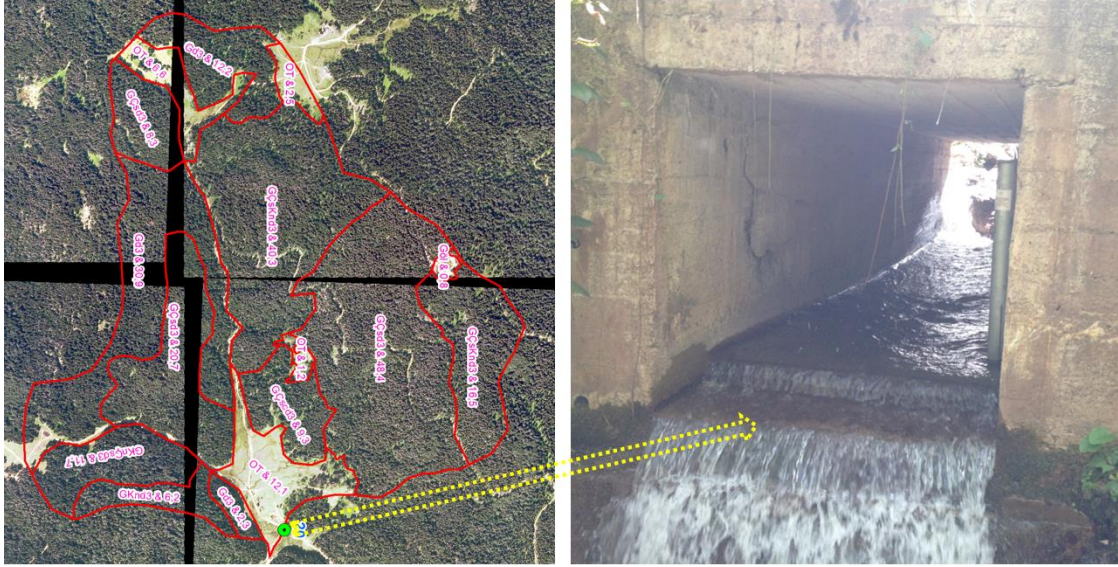
2.2. YÖNTEM

Tez çalışması su verimi ve kalitesi ile bunları etkileyen değişkenler arasındaki ilişkilerin belirlenmesi, su verimi ve kalitesinin bu değişkenler yardımıyla ortaya konması ve bunların ormanların çok amaçlı planlanmasında kullanımını kapsamaktadır. Bu amaçla öncelikle bazı temel çalışmaların yapılması gerekmektedir. Su verimi ve kalitesinde havza karakteristikleri, vejetasyon ve toprak özelliklerinin etkili olduğu düşünülerek, ilişkileri belirlemek amacıyla havzaların su verimi ve kalitesinin yanında bu özellikleri belirlenmiştir. Bu amaçla çeşitli aşamalarda uygulanan yöntemler aşağıda açıklanmıştır.

2.2.1. Su Seviyesi ve Kalitesine Yönelik Verilerin Elde Edilmesi

Uygun havzalar belirlendikten sonra havzalardan su verimlerini belirlemek amacıyla kullanılacak aletlerin kurulması ve korunmasına yönelik çalışmalar yapılmıştır. Havzaların çıkışlarında bulunan menfezlere uygun düzenekler kurulmuştur. Suyun menfez çıkışlarında özellikle homojen şekilde akmasını sağlamak amacıyla suyun menfez tabanına homojen bir şekilde dağılmasını sağlamak, bununla birlikte debinin

çok azaldığı zamanlarda aletlerin (Levelogger) ölçüm yapabilmesi için su ölçüm yerinin ön tarafına bir set kurulmuştur. Levelogger aletlerinin ölçüm yapabilmesi için ölçüme duyarlı kısımlarının su içerisinde olması gerekmektedir. Derelerin önüne set oluşturmak amacıyla kalın tahtalardan faydalanılmıştır. Bu tahtalar zemine monte edilip etrafına beton dökmek suretiyle sızdırmaz hale getirilmiştir. Bu şekilde havzalardaki derelerden gelen ve menfezden geçen suyun tamamının bu kalın tahtanın üzerinden akması sağlanmıştır (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. Havzaların çıkışına su birikmesi için monte edilen kalın tahtalar ile su ölçüm aletlerinin korunması için koyulan metal silindir.

Seviye ölçer (Levelogger) aletlerini içerisine yerleştirmek ve korunmasını sağlamak amacıyla silindir şeklindeki metal silindirler kullanılmıştır. Metal silindirler menfez içerisine sığacak ebatlarda kesilerek ve kilitli kapaklar yaptırılarak menfezlerin kenarlarına monte edilmiştir. Ayrıca metal silindirlerin içerisine gelen suyun girmesini sağlamak amacıyla dipten 35-40 cm'lik kısımlarına dört taraftan kanallar açılmıştır.

Metal silindirler 29 adet havzanın çıkışındaki menfezlere monte edildikten sonra bunların içerisine levelogger aletleri yerleştirilmiştir. Levelogger aletleri zemine değmeyecek ve zeminden 3 cm yukarda olacak şekilde silindirlerin kapak kısmından aşağı doğru kablo ile sarkıtılmıştır. Bu şekilde aletlerin uç tarafında bulunan ölçüm yapmaya duyarlı kısımların su içerisinde kalması sağlanmıştır. Bu aletler yerleştirilmeden önce kalibrasyon işlemleri gerçekleştirilmiştir. Kalibrasyon işlemi için

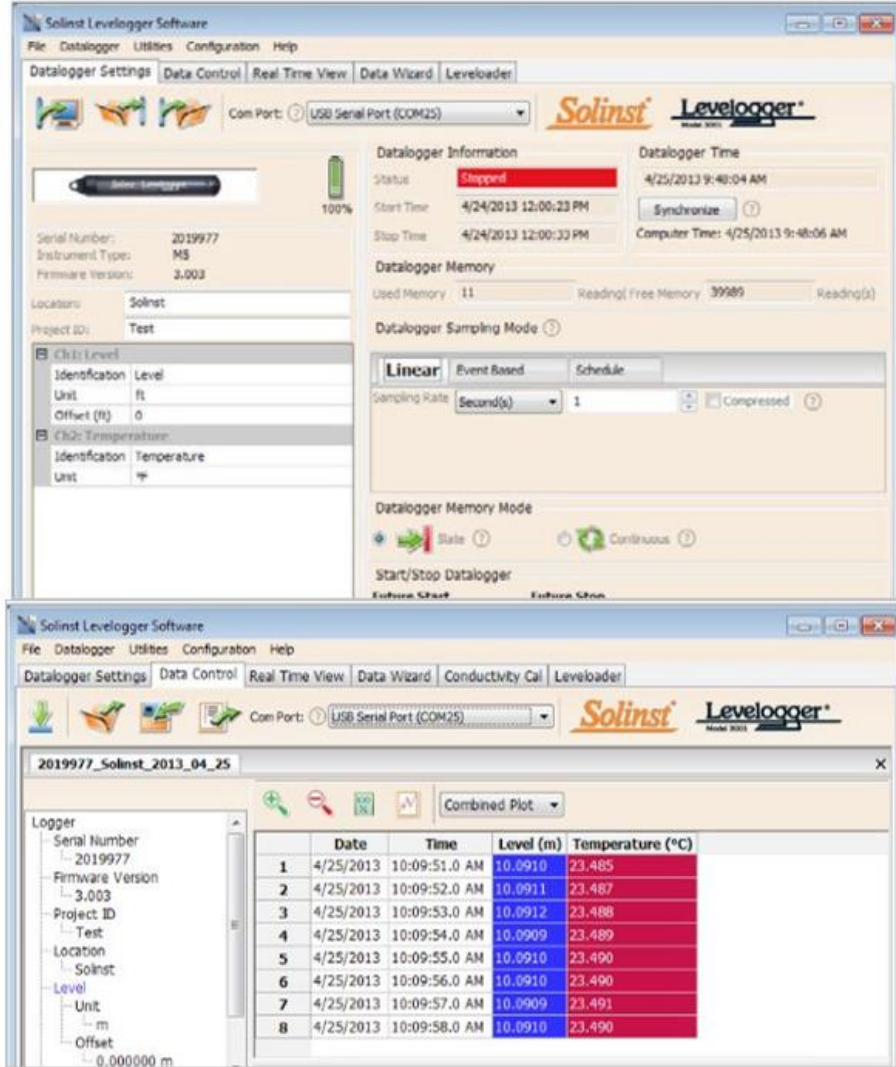
Solinst 4.1 yazılımını kullanılmıştır ve aletlerin ölçüme ne zaman başlayacağı, kaç dakikada bir ölçüm yapacağı, ölçüm birimi ve diğer bazı tanımlayıcı bilgileri girilmiştir. Bunlar her bir levelogger aleti için ayrı ayrı yapılmıştır. Ayrıca ölçümlerin aynı anda başlaması için de kalibre aşamasında gerekli düzenlemeler yapılmıştır. Bu şekilde aletler 19.11.2014 tarihinde su seviyelerini ölçmeye başlamıştır. Aletler her 30 dakikada bir ölçüm yapacak şekilde ayarlanmıştır (Şekil 2.8).

Su seviyesi, su basıncı ile hava basıncı arasındaki ilişkiye dayanılarak hesaplanmaktadır. Barologger aletlerinin ölçüm değerlerinden, 30 km yatay ve 300 metreye kadar yükselti farkı bulunan levelogger aletleri kalibre amacıyla faydalanabilmektedir. Bunu sağlamak üzere barologger aletleri çalışma alanındaki levelogger aletleri için hava basıncı verisi sağlamak amacıyla uygun konumda olan havzalardaki menfezlere yerleştirilmiştir. Levelogger aletlerinde olduğu gibi Solinst 4.1 yazılımını kullanılarak barologger aletleri de kalibre edilmiş ve levelogger aletleri ile aynı saatte ölçüm yapmaya başlayacak ve ölçüm zaman aralıkları aynı olacak şekilde ayarlanmıştır.



Şekil 2.8. Levelogger ve barologger cihazlarının bilgisayar ortamında kalibre edilmesi ve silindirin içerisine yerleştirilmesi.

Levelogger ve barologger aletlerinin tamamı kalibre edilip, havzalara yerleştirildikten sonra su seviyesi ölçümlerine başlanmıştır. Bu seviye değerleri de Solinst 4.1 yazılımı ile bilgisayarlara aktarılıp, barologger değerleri ile kompanse edilerek gerçek su seviyesi değerlerine ulaşılmıştır (Şekil 2.9).



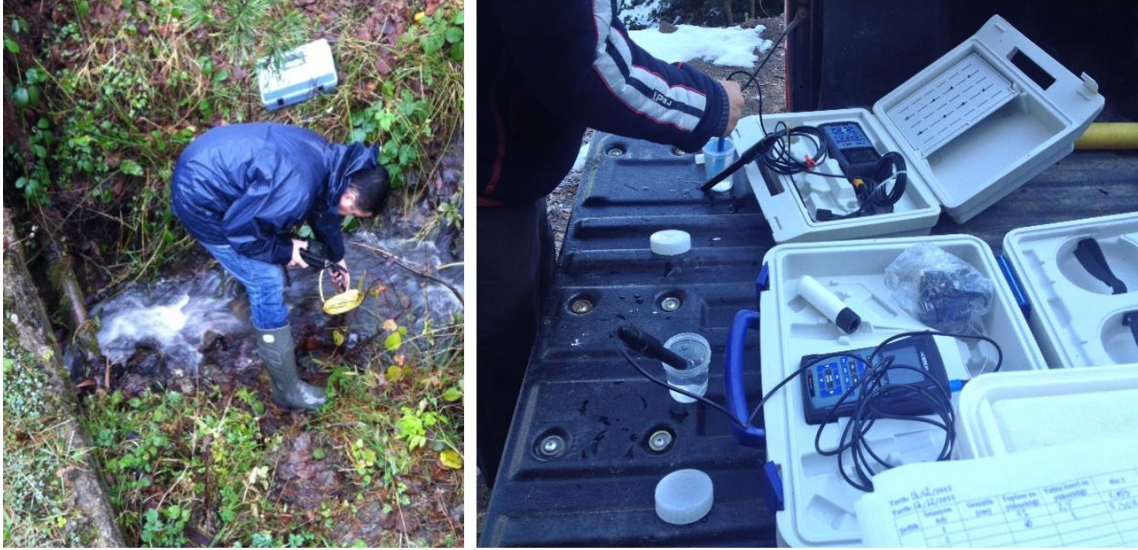
Şekil 2.9. Levelogger ve barologger verilerinin aktarılması ve kompanse edilmesinde kullanılan Solinst 4.1 yazılımı.

Havzalardan gelen su miktarını hesaplayabilmek adına gelen suların hızlarının da ölçülmesi ve su seviyesi ile ilişkilendirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla havzalarda her 15 günde ya da 30 günde bir muline ile su hızları ölçülmüştür. Su seviye okumalarının gerçekleştiği noktada, havza çıkışına koyulan kalın tahtaların olduğu yerde ortalamaları alınmak amacıyla su hızları da 3 ayrı noktada ölçülmüştür (Şekil 2.10).



Şekil 2.10. Su hızı ölçümlerine ilişkin görüntüler.

Ayrıca her bir menfezin genişliği sabit olup su seviyesine bağlı olarak değişen kesit alanları hesaplanmıştır. Ölçülen hız ve kesit alanı değerleri $Q : A \times V$ debi formülünde yerine koyularak havzalarda ölçüm anına ilişkin debiler elde edilmiştir. Burada; Q : Debi (m^3/sn), A : kesit alanı (m^2) ve V : su hızı (m/sn)'dır. Her 15 günde bir yapılan bu ölçümler seviye debi ilişkisinin ortaya koyulmasında kullanılmış ve istatistiki olarak analiz edilip ilişkiyi en iyi yansıtan denklemler elde edilmiştir. Bu denklemlerden faydalanarak herbir havza için su verimleri, önce aylık sonra da yıllık olarak hesaplanmıştır. Su ölçümleri 19.11.2014 tarihinden itibaren 2 yıl boyunca ölçülmüş ve ölçümlerin ortalamaları alınarak havzaların yıllık ortalama su verimleri hesaplanmıştır. Su seviyesi ölçümlerinin yapıldığı günlerde su kalitesinin belirlenmesine yönelik ölçüm ve örneklemeler için arazide ölçümü yapılabilen pH, elektriksel iletkenlik, çözünmüş oksijen parametreleri arazide ölçülmüştür (Şekil 2.11). Laboratuvar ortamında ölçümü gerçekleştirilecek olan parametreler için de su örnekleri alınmıştır. Alınan su örnekleri yardımıyla, bulanıklık ve askıda sediment ölçümü Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Havza Yönetimi laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Diğer anyon (F^- , Cl^- , PO_4^{-3} , SO_4^{-2} , NO_3^-) ve katyon (Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Ca^{+2} ve Mg^{+2}) için de su örnekleri alınarak Düzce Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde (DÜBİT) analizler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.11. Su kalitesine yönelik ölçümlerden görüntüler.

Su kalitesine yönelik olarak ölçülen 15 adet su kalite parametresi ile havzalarda ölçümü yapılan çeşitli değişkenler (havza, orman ve toprak özellikleri) arasındaki ilişkiler istatistiki olarak incelenmiş ve havzalarda ölçülen bu değişkenlerin su kalite parametreleri ile ilişkileri regresyon analizi ile ortaya koyulmaya çalışılmıştır. Bu analizlerde kolay ölçülebilen ve en az sayıdaki değişkenle en iyi tahmini değeri veren denklemler elde edilmeye çalışılmıştır. Bazı su kalite parametreleri için R^2 değeri 0,90'ların üzerinde denklemler elde edilmesine rağmen bunların çok sayıda değişken içermesi ve kullanışlı olmamaları nedeniyle tez çalışması kapsamında kullanılmamıştır. Tez çalışması kapsamında su kalite parametresi olarak önemli oldukları kabul edilen nitrat, pH ve askıda katı madde olmak üzere üç kalite parametresi kullanılmıştır.

2.2.2. Havza Karakteristiklerine İlişkin Verilerin Hesaplanması

Tez çalışması kapsamında kullanılan yöntemlerden öncelikle ilk aşamayı oluşturan havza karakteristikleri ile orman yapısı arasındaki ilişkilerin ortaya koyulması kapsamında kullanılan metotlardan bahsedilmiştir. Havza karakteristikleri adı verilen bazı havza özelliklerinin su verimi ve kalitesi üzerinde etkisi olduğu düşünülerek çalışma yapılan havzaların bu özellikleri belirlenmiştir. Havza karakteristiklerini belirlemek üzere Coğrafi Bilgi Sistemi programı olan ArcGIS 10.4TM kullanılarak çeşitli sayısallaştırma işlemleri ve bazı havza özelliklerine yönelik hesaplamalar yapılmıştır. ArcGIS 10.4TM yazılımında, su seviye ölçümü yapılacak havzaların ana ve yan dereler de dikkate alınarak havza sınırları standart topoğrafik haritalar yardımıyla çizilmiştir.

Altlık olarak kullanılan topoğrafik memleket haritaları 1/25000 ölçekte ve eşyüksekti eğrilerinden oluşmaktadır. Ayrıca havza sınırlarının belirlenmesinde Düzce iline ait sayısal arazi modelinden de faydalanılmıştır. Tüm havza sınırları harita ve sayısal arazi modeli üzerinde belirlendikten sonra doğrulukları arazide de kontrol edilmiştir. Bu tez kapsamında ele alınan havza karakteristikleri havza alanı, dairesellik oranı, uzunlaşma oranı, form faktörü, drenaj yoğunluğu, eğim ve yükseltidir.

Havza karakteristiklerinin hesaplanmasında kullanılan formüller aşağıda verilmiştir [89]. Bu şekilde 29 adet havzadan her birinin özellikleri ortaya koyulmuştur.

$$\text{Form faktörü } (F) = \frac{B}{L} \quad (2.1)$$

$$\text{Drenaj yoğunluğu } (D_d) = \frac{L_t}{A} \quad (2.2)$$

$$\text{Dairesellik oranı } (R_c) = \frac{4\pi A}{P^2} \quad (2.3)$$

$$\text{Uzunlaşma oranı } (R_e) = \frac{2}{L} \left(\frac{A}{\pi} \right)^{0.5} \quad (2.4)$$

B: Havzanın enine uzunluğu (m)

L: Havza uzunluğu (m)

L_t: Devamlı ve periyodik derelerin toplam uzunluğu (km)

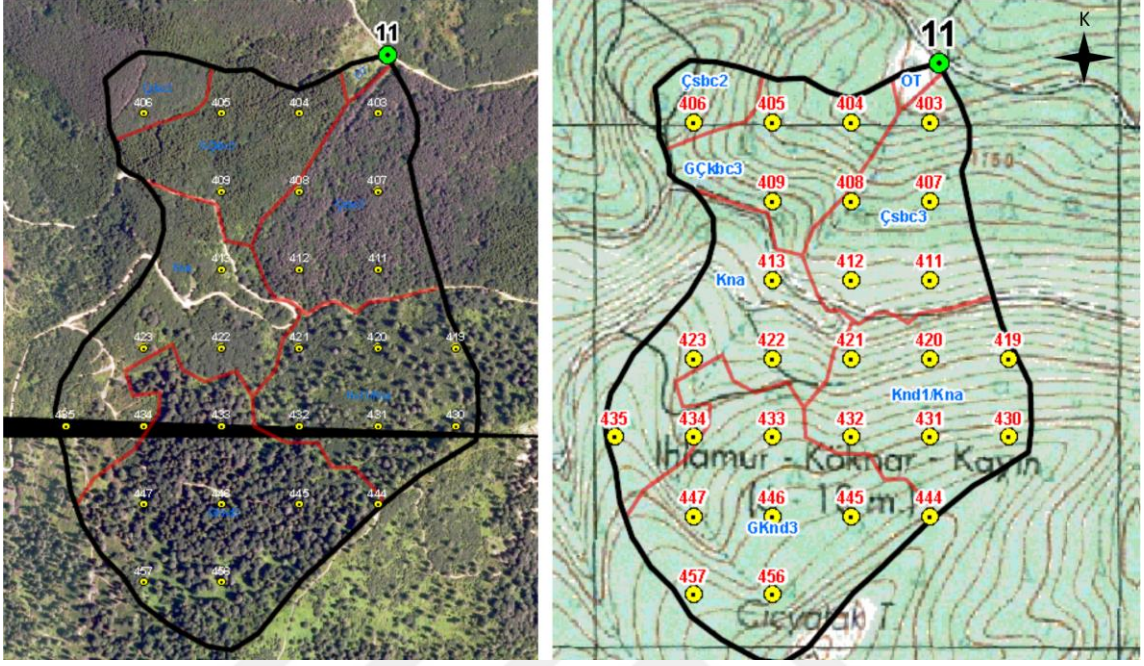
A: Havza Alanı (km²)

P: Havza çevresi (km)

2.2.3. Ağaç ve Toprak Üstü Bitki Tabakasına İlişkin Verilerin Elde Edilmesi

Çalışma yapılan havzalardaki orman yapısı ile su verimi, su kalitesi ve havza karakteristiklerine ait verilerin birbiriyle olan ilişkilerinin ortaya koyulabilmesi için havzaları oluşturan meşcerelerin hacim, göğüs yüzeyi, ağaç sayısı gibi parametrelerini belirlemek gerekmektedir. Bu nedenle ArcGIS yazılımı kullanılarak 150x150m aralık-mesafe ile sistematik olarak topoğrafik harita üzerine ve Düzce ili 2010 yılına ait ortofoto üzerine örnek noktalar atılmıştır (Şekil 2.12). Belirlenen her bir örnek noktaya ilişkin amacımıza uygun ölçüm ve gözlemler yapılmış ve bu veriler envanter

karnelerine girilmiştir. Örnek alanların arazide bulunmasında haritaların yanında çoğunlukla GPS(Global Position Systems) ve bazen de pusula ile ip kullanılmıştır.



Şekil 2.12. Sistematik olarak atılan örnek alanların bir havza üzerindeki dağılımı.

Örnekleme 10 ağaç örnekleme şeklinde yapılmış, merkezdeki konu ağaç ve buna komşu en yakın 10 adet ağacın türleri belirlenerek, göğüs yüksekliğindeki çapları ve boyları ölçülmüştür, sonuçlar envanter karnelerine yazılmıştır (Şekil 2.13)

Ağaç uzaklıklarının belirlenmesinde lazer metre kullanılmıştır. Ağaç tabakası yanında toprak üstü tabakaya yönelik olarak mevcut gençlik; örnek alandaki sayı, ortalama boy ve toprağı örtme oranı şeklinde tanımlanmış ve envanter karnelerine girilmiştir. Çalı ve otsu tabakanın ise ortalama boyu ile toprağı örtme oranları ayrı ayrı kaydedilmiştir. Toprağı örtme oranları gözle tahmin şeklinde belirlenmiştir. Kapalılığın düşük ve ağaçlar arası uzaklıkların fazla olduğu bazı alanlarda 600 m² büyüklüğünde daire şeklinde örnek alanlar alınmıştır.

Havzalardaki ağaç ve toprak üstü bitki tabakasını örnekleme amacıyla havzalara 150x150m aralık mesafe ile atılan örnek alan envanter karneleri değerlendirilerek, havzaların birim alandaki ağaç serveti hacmi, göğüs yüzeyi, ağaç sayısı, ot ve alt tabakanın toprağı örtme oranları gibi özellikleri hesaplanmıştır. Sistematik olarak atılan noktaların bazılarında arazi koşulları sebebiyle gidilememesi veya bazı noktaların orman içi açıklıklara düşmesi nedeniyle arazide toplam 737 adet örnek alanda ölçüm yapılmıştır.

2.2.4. Toprak Örneklerinin Alınması ve Analiz Edilmesi

Toprak özellikleri olarak; toprak tekstürü, toprak derinliği, toprak permeabilitesi, su tutma kapasitesi, hacim ağırlığı, tane yoğunluğu ve boşluk hacminin belirlenmesi kararlaştırılmıştır. Bu amaçla havzalara ilişkin nihai meşcere haritaları ortaya çıkarıldıktan sonra havzalardaki her meşcere tipi için en az bir adet toprak çukuru açılarak toprak örnekleri alınmıştır.

Toprak tekstürü tayini, toprak profillerinde üst toprak (0-20 cm) ve alt topraktan (20-40 cm) usulüne uygun olarak alınan doğal yapısı bozulmamış toprak örneklerinde Bouyoucos hidrometre silindir yöntemiyle gerçekleştirilmiştir.

Toprak derinliği, Çepel [90], tarafından orman ağaçları için belirlenen toprak derinlik sınıfları dikkate alınmak suretiyle belirlenmiştir. Buna göre toprak derinlikleri; sığ (30cm den az), orta derin (30-100cm) ve derin (100cm den çok) olarak belirlenmiştir.

Toprak permeabilitesi ise havzalarda farklı meşcere tiplerinde açılan toprak profillerinden üst toprak (0-20 cm) ve alt topraktan (20-40 cm) usulüne uygun olarak alınan doğal yapısı bozulmamış silindir örnekleri yardımıyla belirlenmiştir. Bu örneklerin permeabilite ölçümleri D.Ü. Orman Fakültesi Havza Yönetimi A.B.D. laboratuvarında Darcy yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Permeabilite aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmıştır.

$$K = \frac{Q}{A} \times \frac{L}{H+L} \quad (2.5)$$

Burada;

K= Permeabilite (cm/saat)

Q= Belirli bir zamanda sütundan geçen su miktarı (cm³/saat)

A= Toprak örneklerinin kesit alanı (cm²)

L= Toprak örneğinin yüksekliği (cm)

H= Toprak örneği üzerindeki su sütunu yüksekliği (cm)

Toprakların maksimum su tutma kapasitelerini belirlemek amacıyla geçirgenlikleri (permeabilite) belirlenen silindir örnekleri eğimli bir yüzeyde 10 dakika süreyle serbest drenaja bırakılarak ağırlıkları belirlendikten sonra 105 °C’de kurutulmuştur. Maksimum su tutma kapasitesi de kuru ve doymuş ağırlık arasındaki farktan faydalanarak kuru ağırlığın % değeri olarak hesaplanmıştır [49], [91], [92].

Toprakların hacim ağırlığını belirlemek amacıyla ise doğal strüktürü bozulmamış olarak alınan silindir örneklerinde diğer analizlerin tamamlanmasından sonra topraklar boşaltılıp 105 °C’de fırın kurusu ağırlıkları belirlenmiştir. Toprak örneklerinin fırın kurusu ağırlıklarının, silindir hacimlerine bölünmesiyle hacim ağırlığı (g/cm^3) hesaplanmıştır [49], [91]–[93]. Toprak örneklerine ilişkin tane yoğunluğunun belirlenmesinde ise piknometre yöntemi kullanılmıştır. [49], [91]–[93].

Bir toprak kitlesinin birim hacmi içinde su ve hava ile işgal edilen hacim boşluk hacmi olarak adlandırılır [93]. Topraklardaki boşluk hacmi, hacim ağırlığı ile tane yoğunluğu arasındaki ilişkiden faydalanılarak aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır [93].

$$E (\%) = \frac{(P_r - P_a)}{P_r} \times 100 \quad (2.6)$$

Burada;

E= Toplam gözenek hacmi (%)

P_r = Tane yoğunluğu (g/cm^3)

P_a = Hacim ağırlığı (g/cm^3)

2.2.5. Envanter Verilerinin Değerlendirilmesi

Her bir örnek alan karnesinin değerlendirilmesi ile öncelikle örnek alana ilişkin sonra da birim alandaki (hektar) orman yapısına ilişkin veriler değişik katmanlar (ağaç, gençlik, çalı, ot, ölü örtü) için hesaplanmıştır. Örnek alan büyüklüğü belirlenirken; 10 ağaç örneklemesine göre ölçülen, konu ağaç ile buna komşu 10. ağaç arasındaki mesafe örnek alan büyüklüğünü belirleyecek daire yarıçapının belirlenmesinde esas alınmıştır. Her havzada bulunan örnek alanlar kendi içerisinde değerlendirilmiş ve her bir havzadaki ortalama değerler hesaplanmıştır. Bu amaçla öncelikle, havza içerisindeki her bir meşcereye düşen örnek alanlar kullanılarak meşcerelerin hektar bazında ortalama

hacim, göğüs yüzeyi, ağaç sayısı ve alt tabakaya ilişkin diğer özellikleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamalardan sonra havzaya ilişkin verilerin hesaplanmasında meşçere tiplerine göre ağırlıklı ortalamalar kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır.

Havzaların su verimi ve kalitesi ile çeşitli havza karakteristikleri ve orman yapısı arasındaki ilişkilerin ortaya koyulmasında çoklu doğrusal regresyon analizi kullanılmıştır. Bu istatistiki analizlerde su verimi ve kalite parametreleri bağımlı değişken olarak alınırken, havza ve orman özellikleri ise bağımsız değişken olarak ele alınmıştır. Bağımsız değişkenler arasında otokorelasyon olup olmadığını belirlemek amacıyla Durbin-Watson testi kullanılmıştır. Regresyon analizinde öncelikle mevcut tüm değişkenlere ait değerlerin su verimi ve kalitesi ile ilişkisine bakılmış, daha sonra aşamalı olarak etkisi düşük olanlar analizden çıkarılmıştır.

2.2.6. Planlama Birimi Karbon Miktarının Hesaplanması

Planlama biriminde herhangi bir zaman dilimindeki depolanan karbon miktarı, canlı biyokütledeki, orman toprağındaki ve odun hammaddesi ürünlerindeki birikmiş karbon miktarlarının toplamı olarak tahmin edilmektedir. Ormanların karbon deposu olarak üzerinde bulunan bitkisel çeşitliliğin ibrelimi geniş yapraklı olduğunu ve bu ağaç türlerinin biyokütle miktarlarının fırın kurusu maddeye dönüştürülmüş miktarlarına bağlı olarak hesaplanmaktadır. Yapılan hesaplamalarda 1 ton fırın kurusu bitkisel maddenin içinde 0,45 ton karbon bulunduğu kabul edilmektedir. Bu çalışmalarda öncelikle toprak üstündeki biyokütle miktarları belirlenmekte, daha sonra da toprak altı biyokütle miktarları tahmin edilmektedir [94].

Orman ekosistemleri elemanlarından yaprak, gövde, dal ve kökler ile birlikte ölü örtü, diri örtü ve alt tabakada bulunan ölü ve kuru ağaçlar büyük miktarlarda karbon depolama kapasitesine sahiptir [95]. Orman ekosistemleri üzerinde yapılan her çeşit üretim faaliyetleri ve elde edilen orman emvalinin kullanılması karbon döngüsü üzerinde son derece önemlidir. Üretim ile elde edilen eta miktarları ve odun ürünü çeşitleri kullanımdan kalkıncaya kadar karbonu içlerinde tutmakta ve belirli bir ayrılma miktarıyla atmosfere tekrar salmaktadır [96].

Net karbon birikim miktarlarının günümüzde orman amenajman planlarına yansıtılmasında, ihtiyaç duyulan verilerin eksik ve yetersiz olduğu durumlarda aşağıdaki eşitlikten faydalanılmaktadır [97].

$$CB_t = [\gamma(V^t - V^{t-1} + H_t) - CE_t] \quad (2.7)$$

Bu eşitlikte; γ , odun biyokütlesindeki karbon oranını; CB_t , t . kesim periyodundaki net karbon birikimi miktarını; CE_t , t . kesim periyodundaki karbon emisyonunu; H_t , t . kesim periyodunda hasat edilen servet miktarını; V_t , t . kesim periyodunun sonundaki dikili servet miktarını göstermektedir.

Yukarıda bahsedilen yaklaşım tarzı ülkemizde orman amenajman planlarında planlama birimlerinin karbon stokunun hesaplanmasında kullanılmaktadır. Tez çalışması kapsamında planlama birimine ilişkin karbon depolama kapasitesinin belirlenmesinde yukarıda da değinilen yaklaşım tarzı benimsenmiş fakat tüm orman ekosistemi elemanlarında tutulan karbon miktarı hesaplanmamıştır. Planlama modeli ile bağlanan karbon miktarının hesaplanmasında yalnızca toprak üstü biyokütlerdeki değişimlere bağlı olarak meydana gelen değişimleri incelenmiştir.

Planlama birimindeki ormanlara ilişkin toprak üstü biyokütlerde bağlanan karbon miktarının belirlenmesinde Asan [98] ve Tolunay [99] tarafından yapılan çalışmalarla belirlenen katsayılar üzerinden hesaplamalar yapılmıştır. Planlama birimi toprak üstü biyokütlerdeki (TÜB) bağlanan karbon miktarının ortaya koyulmasında iki aşamadan oluşan aşağıdaki çizelgedeki yol izlenmiştir [100].

Aşağıdaki tabloda görüldüğü üzere iki aşamanın hesaplanması sonucunda, planlama birimi TÜB miktarları hesaplanıp, ikinci aşama olarak da bu TÜB'deki toplam bağlanan karbon miktarı belirlenmektedir.

Çizelge 2.3. Plan ünitesindeki bağlanan karbon miktarının hesaplanması.

Kategoriler	Verimli Orman		Bozuk Orman	
	Biyokütle (Ton)		Biyokütle (Ton)	
Toprak Üstü Biyokütle (TÜB)	İbrelî	DGH*0,446* 1,212	DGH*0,446* 1,212	
	Yapraklı	DGH*0,541* 1,310	DGH*0,541* 1,310	
Toprak Üstü Biyokütle İçindeki Karbon (TÜK)	İbrelî	TÜB*0,51	TÜB*0,51	
	Yapraklı	TÜB*0,48	TÜB*0,48	

2.2.7. Net Bugünkü Değerin Hesaplanması

Ormancılıkta idare süreleri çok uzun sürelerden oluşmaktadır. İdare süresi boyunca farklı dönemlerde çeşitli ürünler elde edilmekte ve bu duruma karşılık olarak da çeşitli harcamalar yapılmaktadır. Farklı dönemlerde yapılan harcamaların ve elde edilen

gelirlerin karşılaştırılabilmesi için belirli bir zamandaki değerlerinin bilinmesi gerekmektedir [101]. Ormanların bugünkü aktüel durumlarının ortaya koyulmasında envanter verileri kullanılmaktadır fakat ormanın zaman içerisindeki değişiminin ekonomik olarak ortaya koyulmasında ya da bugüne indirgenebilmesinde ise Net Bugünkü Değer (NBD) yöntemi kullanılmaktadır.

$$NBD = \sum_{k=1}^n \left(\left(\frac{G}{(1+r)^k} \right) - \sum_{k=1}^n \left(\frac{M}{(1+r)^k} \right) \right) \quad (2.8)$$

Burada,

NBD: Net bugünkü değer

G: Gelirler

M: Giderler

k: Planlama dönemi

n: Plan dönemi sayısı

r: Faiz veya iskonto oranını ifade etmektedir.

Ormancılık sektöründe NBD indirgeme oranı uzun yıllar bazı kabullere dayalı olarak belirlenmiştir. Bu kabullere bağlı olarak NBD oranının %2-%3 ve risk priminin % 1-%7 civarında olduğu düşünülerek ormancılık sektörü için önerilen faiz oranları genellikle %1-%10 arasında olmuştur [102]. Yurt dışında yapılan çalışmalarda da benzer oranların alındığı görülmektedir. Kullanılan bazı NBD oranlarına baktığımızda Forstmagazin % 4, Hohl % 2,5, Faustmann % 3-4, Hartig %6, Borgmann % 2-2,5 gibi faiz oranlarının kullanılmasını önermişlerdir [103]. Yine Amerika'da Mississippi'de yapılan bir çalışmada kısa idare süreli ormanlarda idare süresine göre değişmekle birlikte %5,7 ile %13,1 arası faiz oranlarının kullanıldığı görülmektedir [104]. Türkiye'de ormancılıkta faizle ilgili çalışmaların oldukça kısıtlı olması ve ormancılıkta genel kabulün %3 olması sebebiyle tez çalışmasında NBD oranı %3 olarak alınmıştır.

2.2.8. Planlama Modelinin Kurulması ve Büyüme Matrislerinin Oluşturulması

Tez çalışmasının ikinci ve ana aşaması olan planlama modelinin kurulması amacıyla, plan ünitesi verileri kullanılarak su, odun üretimi ve bağlanan karbon miktarının birlikte ele alındığı çok amaçlı bir matematiksel planlama modeli oluşturmaya yönelik

çalışmalar yapılmıştır. Planlama modeli olarak Karışık Tamsayı Programlama modeli kullanılmıştır. Bu model yapısında yer alması düşünülen amaç ve kısıtlar matematiksel ifadelerle tanımlanmaya çalışılmıştır. Bu amaçla modelin koşturulması ve sonuçların elde edilmesinde GAMS 24.8.1 yazılımı kullanılmıştır. Model yazılımıyla havzalarda toplanan su miktarlarının tahmin edilmesinde, tezin ilk ayağını oluşturan havzalara ilişkin verilerin istatistiki analizi sonucunda elde edilen denklemlerden faydalanılmıştır. İşletme amacına göre bir plan ünitesindeki su miktar ve kalitesi ile odun ve karbon gelirlerinden elde edilecek faydayı maksimum yapacak şekilde, meşcerelerin gençleştirme zamanlarını ve alınacak periyodik etaları ayarlayacak şekilde bir model oluşturulmuştur.

Planlama modeli amaç fonksiyonunu 100 yıllık plan ufku sonunda odun üretimi, su üretimi veya karbon bağlamadan elde edilecek toplam gelirin maksimize edilmesi oluşturmaktadır. 100 yıllık plan ufku, 20 yıllık 5 dönemden oluşmaktadır. Meşcereler bu dönemlerin herhangi birinde gençleştirilebilir veya hiç gençleştirmeye konu edilmeyebilirler. Bu şekilde her bir meşcere için gençleştirileceği periyota bağlı olarak 5 farklı büyüme senaryosu karşımıza çıkmaktadır. Hiç gençleştirilmedikleri de düşünüldüğünde bu sayı 6 olmaktadır. Bu nedenle planlama modelinin kurulmasının yanında özellikle meşcerelere ilişkin bilgilerin altı farklı senaryo için büyüme matrislerinin oluşturulması gerekmektedir. Bu işlem için Eraslan [9] tarafından önerilen artım yüzdeleri simülasyon metodu kullanılmıştır. Her bir ağaç türü için ilgili bonitet, yaş sınıfı ve cari artım yüzdelerinin hesaplanmasında hasılat tablolarından faydalanılmıştır. Hasılat tablolarından elde edilen cari artım yüzdeleriyle yaş eğrisinden faydalanılarak her bir meşcerenin farklı yaşlardaki cari artım yüzdeleri hesaplanmıştır. Karışık meşcereler için asli ağaç türü ana tür kabul edilmiş ve bu ağaç ürüne göre cari artım yüzdeleri hesaplanmış ve büyüme matrisleri oluşturulmuştur. Öncelikle meşcerelere ilişkin hacim değerleri ele alınarak her bir meşcere için altı farklı senaryoya göre (meşcereye yapılan müdahale şekilleri) matrisler oluşturulmuştur. Planlama birimindeki aktüel meşcere hacimleri hasılat tablolarındaki meşcere hacimleriyle karşılaştırılarak bir oran elde edilmiş ve göğüs yüzeyi ve orta çap matrisleri de elde edilen bu oranlarda büyütülerek altı farklı senaryoya göre ilgili matrisler oluşturulmuştur. Meşcerelerin gençleştirilmesinden sonra 10 yaşındaki cari artım yüzdesi ve hasılat tablosundaki ilgili ağaç türü ve bonitet verilerine göre büyüyeceği varsayılmıştır. OT (Orman Toprağı) alanları için farklı periyotlarda ağaçlandırılacağı

düşünülerek, ana ağaç türü olan Kn seçilmiş ve bu ağaç türüne göre büyüme matrisleri elde edilmiştir. Bozuk orman alanları için 25 m³/ha hacim ve 30 cm orta çap belirlenmiş ve büyüme matrisleri bu değerler üzerinden hesaplanmıştır. Farklı senaryolara göre Knd3 meşceresine ilişkin örnek hacim, ortaçap ve göğüs yüzeyine ilişkin cari artım yüzdesi matrisleri aşağıda verilmiştir. Bu senaryolardan S1; bu meşcerenin 1. periyotta gençleştirilmesi, S6 ise 100 yıllık plan ufku boyunca hiç gençleştirilmemesi durumunda meşcere parametrelerinin periyotlara göre değişimini göstermektedir (Çizelge 2.5).

Çizelge 2.4. Knd3 Meşceresine ait farklı senaryolara göre hacim, göğüs yüzeyi ve ortaçap büyüme matrisleri

Senaryolar	Periyotlar				
	Hacim (%)	1P	2P	3P	4P
S1	0,137	0,08	0,021	0,011	0,006
S2	0,005	0,137	0,08	0,021	0,011
S3	0,005	0,005	0,137	0,08	0,021
S4	0,005	0,005	0,005	0,137	0,08
S5	0,005	0,005	0,005	0,005	0,137
S6	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Göğüs Yüzeyi (%)	1P	2P	3P	4P	5P
S1	0,294	0,41	0,486	0,534	0,565
S2	0,51	0,294	0,41	0,486	0,534
S3	0,51	0,518	0,294	0,41	0,486
S4	0,51	0,518	0,525	0,294	0,41
S5	0,51	0,518	0,525	0,26	0,294
S6	0,51	0,518	0,525	0,26	0,363
Ortaçap (%)	1P	2P	3P	4P	5P
S1	0,032	0,12	0,215	0,316	0,421
S2	0,316	0,032	0,12	0,215	0,316
S3	0,316	0,378	0,032	0,12	0,215
S4	0,316	0,378	0,44	0,032	0,12
S5	0,316	0,378	0,44	0,44	0,032
S6	0,316	0,378	0,44	0,44	0,44

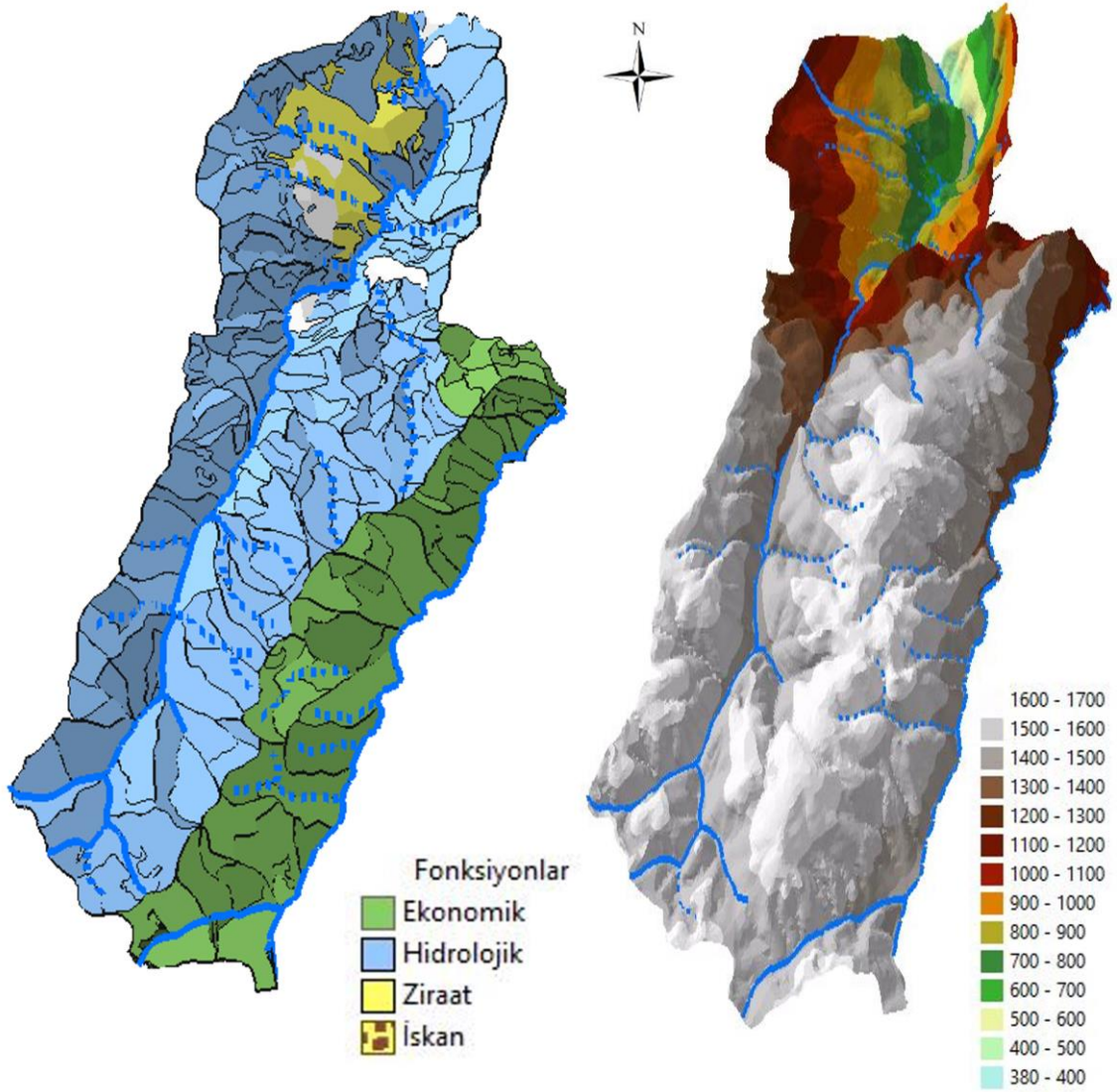
Planlama modelinin amaçlara uygun şekilde koşturulabilmesi adına ayrıca her bir meşcere için farklı birçok veri hazırlanmıştır. Her bir meşcerenin idare süresine göre gençleştirilebileceği ilk periyotlar girilmiştir. Burada dikkat edilen husus Kn ve Gökmar meşcereleri için idare süresi 120 yıl, Karaçam ve sarıçam meşcereleri için ise 100 yıl

alınmıştır ve meşcerelerin yaş sınıflarına göre gençleştirilebilecekleri ilk periyotlar hesaplanmış ve modele dâhil edilmiştir.

Her bir meşcereye ait Düzce ili için belirlenmiş 2016 yılı OGM dikili satış fiyat listeleri temin edilerek satış fiyatından toplam maliyet fiyatları çıkarılmış ve ortalama olarak odun ürün çeşitleri birim fiyatları bulunmuştur. Düzce orman işletme müdürlüğünde genellikle III. sınıf normal boy odun ürünleri satılmıştır. Bu bağlamda tez çalışmasında tomruk için 210,00 TL, maden direği için, 180,00 TL sanayi odunu için, 90,00 TL ve yakacak odun için, 60,00 TL ortalama birim fiyatları kullanılmıştır.

Planlama birimi işletme amacımıza uygun olacak şekilde yeniden fonksiyonlarına ayrılmıştır. Çiçekli orman işletme şefliğinin ana dereyi besleyen meşcereleri hidrolojik fonksiyon kapsamında değerlendirilmiştir. Diğer meşcereler ise odun üretim fonksiyonu olarak ayrılmıştır (Şekil 2.15).

Ana dere havzasını besleyen meşcerelerin oluşturduğu hidrolojik fonksiyon yaklaşık 2693 ha iken diğer orman alanları üretime konu edilmiştir ve yaklaşık alanı 943 hektardır. Ziraat ve İskân alanları da hidrolojik fonksiyona ayrılmış alanın içerisinde kalmaktadır fakat verilen alana bu kısımlar eklenmemiştir. Planlama biriminde yaklaşık 307 hektarlık ziraat ve iskân alanı bulunmaktadır.



Şekil 2.15. Çiçekli orman işletme şefliği amaca uygun belirlenmiş fonksiyon haritası.

Planlama modelinin oluşturulmasında yukarıda bahsedilen konuların dışında birçok kısıt ve karar değişkenleri için de modele ilave bilgiler girilmiştir. Planlama biriminde kullanılacak farklı amaç fonksiyonlarına göre odun, su ve karbon gelirini maksimize edecek modelin matematiksel ifadesi oluşturulmuştur. Formül 2.9 planlama biriminde odun üretimi, su miktarı ve bağlanan karbon miktarından elde edilecek gelirin maksimize edilmesine yönelik kurulan amaç fonksiyonudur. Kısıtlara ilişkin açıklamalar formüllerin sağ tarafında verilmiştir. Burada amaç fonksiyonunda odun üretiminin yanında karbon ve su miktarından elde edilecek gelirin hesaplanabilmesi için birim su ve birim karbon miktarının sayısal olarak değerinin belirlenmesi gerekmektedir. Planlama modelinin oluşturulmasında kullanılan su miktarına ilişkin denklemlerde suyun birim fiyatı (m^3) belirlenmesinde Düzce ili su fiyatları baz alınmış

ve belediye tarafından evlere ulaşan suyun m³ fiyatının yaklaşık 2 TL olduğu belirlenmiştir. Bu birim fiyatın %70'ini maliyetlerin oluşturduğu varsayılarak, tez çalışması kapsamında ormandan elde edilecek suyun birim fiyatı 0,6 TL alınmıştır. Planlama biriminde toprak üstü biyokütlede tutulan karbon miktarının birim fiyatının da belirlenmesi gerekmektedir. Karbonun fiyatlandırılmasında ulusal, uluslararası veya bölgesel olarak farklı fiyatlandırmalar ile karbon fiyatları çok geniş bir yelpazede dağılım göstermektedir [105]. Genellikle karbon fiyatının belirlendiği bölgelerin %75'i 3 Euro(€)'nun altında bir karbon değeri kullanmaktadır. Fakat 1 € ile 35 € arasında fiyatlandırmalar da yapılmaktadır [106]. Dünya genelinde yaygın olarak 3 €'nun altında karbon birim fiyatı uygulandığından, bu çalışma kapsamında karbon birim fiyatı yaklaşık 1 €'ya tekabül eden 5 Türk Lirası olarak alınmıştır.

Modelin ana çerçevesine anlamaya yönelik temel ifadeler ve kabul edilen bazı varsayımlar aşağıda belirtilmiştir.

- ♣ Planlama yörüngesi (ufku) 100 yıl ve periyot uzunluğu 20 yıl olacak şekilde 5 periyot için hesaplamalar yapılmıştır.
- ♣ 100 yıllık plan ufkunda sadece idare süresini dolduran meşcereler geliştirilebilir.
- ♣ Gençleştirmeye konu edilmeyen meşcereler bakıma konu olacaktır.
- ♣ Gençleştirme, doğal gençleştirme yöntemleri ile yapılacak ve bir plan periyodunda bölmeçiğin tamamında başarılı bir gençliğin geleceği kabul edilmiştir.
- ♣ Plan ufku boyunca bölmeciklerin sınırları değişmeyecektir ve tıraşlama kesim şekli kullanılmayacaktır
- ♣ Meşcerelerden gelişim çağlarına bağlı olarak hacimlerinin belli bir miktarı ara hasılat etası olarak alınacaktır.
- ♣ Karışık meşcerelerin gençleştirilmesinden sonraki gelişimleri asli ağaç türüne göre yapılacaktır ve asli ağaç türüne ait hasılat tablosu kullanılacaktır.
- ♣ Hasılat tablosu bulunmayan ağaç türleri için, o ağaç türüne benzeyen diğer ağaç türlerine ait hasılat tablosundan faydalanılacaktır. Hasılat tablolarında bulunmayan çok ileri yaşlardaki meşcere parametreleri enterpolasyon yapılarak tahmin edilecektir.
- ♣ Meşcerelerin hacim, göğüs yüzeyi ve ortaçap gelişimleri artım yüzdeleri simülasyon metoduna göre belirlenecektir.

- ♣ Amenajman metodu olarak, Yaş Sınıfları Yöntemi kullanılacak ve periyodik son hasılat etası bu yönetime göre hesaplanacaktır.
- ♣ Planlama biriminde bulunan değişik yaşlı ormanlar, aynı yaşlı orman gibi düşünülecek ve ona göre planlama yapılacaktır.
- ♣ Seçme ormanlarının aynı yaşlıya dönüştürülmesinde genç seçme ormanlarına I. ve II. yaş sınıfına alınırken, orta yaşlı seçme ormanları III. ve IV. yaş sınıfına ve yaşlı seçme orman alanları da V. yaş sınıfına alınmıştır.
- ♣ OT (Orman Toprağı) alanları plan ufku boyunca herhangi bir periyotta ağaçlandırılacaktır. Ağaçlandırmalarda Kn ağaç türü kullanılacaktır.

Bu varsayımlardan yola çıkarak oluşturulan karışık tamsayı programlama modelinin matematiksel ifadesi, değişkenleri, kısıtları ve diğer elemanları aşağıdaki gibidir. Amaç fonksiyonu, odun üretimi, su miktarı ve karbon miktarından elde edilecek kârı maksimize etmeye çalışmaktadır. Kısıtlayıcı denklemlerin neyi ifade ettiği de her bir denklemin yanında verilmiştir.

Amaç Fonksiyonu;

$$\max Z = \sum_{j=0}^N \left(\left(\sum_k \sum_{u=1}^{n^{pr}} (P_u^w - C_{k,u}) m_{k,u,j}^w \right) + P^{wa} W_j + P^c m_j^c \right) (1+\alpha)^{-n(j-1)} \quad (2.9)$$

Kısıtlar;

$$m_{k,u,j}^c = \sum_i q_{k,i,u,j}^m X_{k,i,j}^m + q_{k,i,u}^r X_{k,i,j}^r \quad \dots \text{orman ürünleri miktarı}, \quad (2.10)$$

$$X_j^p = \sum_{k,i} (X_{k,i,j}^r + X_{k,i,j}^m) \quad \dots \text{periyodik eta} \quad (2.11)$$

$$V_{k,i,1} = V_k^0 A_k y_{k,i} \quad \dots \text{başlangıç hacmi} \quad (2.12)$$

$$V_{k,i,j+1} = V_{k,i,j} (1 + nr_{k,i,j}^{growth}) - X_{k,i,j}^m, \quad \forall k, i, j: i \neq j \quad \dots \text{büyüme dengesi} \quad (2.13)$$

$$V_{k,j,j+1} = V_k^{10} A_k y_{k,j}, \quad \forall k, j \quad \dots \text{gençleştirme dengesi} \quad (2.14)$$

$$X_{k,j,j}^r = V_{k,j,j} (1 + nr_{k,j,j}^{growth} / 2), \quad \forall k, j \quad \dots \text{son hasılat etası} \quad (2.15)$$

$$\underline{r}^m V_{k,i,j} \leq X_{k,i,j}^m \leq \bar{r}^m V_{k,i,j}, \quad \forall k, i, j: i \neq j \quad \dots \text{bakım etası sınırları} \quad (2.16)$$

$$(1-r^p)X_j^p \leq X_{j+1}^p \leq (1+r^p)X_j^p, \quad \forall j \dots \text{periyodik eta dengesi} \quad (2.17)$$

$$\sum_i y_{k,i} = 1, \quad \forall k, \dots \text{periyotlardan sadece bir tanesinde gençleştirme kısıtı} \quad (2.18)$$

$$\underline{A}^p \leq \sum_k A_k y_{k,i} \leq \bar{A}^p, \quad \forall i, \dots \text{periyodik alan kısıtı} \quad (2.19)$$

$$M_j^c = (V(k,i,j+1) - V(k,i,j)) * 0.541 * 1.31 * 0.48) \text{ karbon bağlama hesabı} \quad (2.20)$$

$$\sum_{k,i} X_{k,i,j}^r \leq \bar{R}, \quad \forall j, \dots \text{periyodik gençleştirme} \quad (2.21)$$

$$W_j = (3143.5 + 1.49 \sum_k s_k A_k + 0.31V_j^w + 0.25Nu_j + const) \sum_k s_k A_k, \dots \text{su verimi hesabı} \quad (2.22)$$

$$const = -1075.7HAü + 19.1BHü - 0.94Pü - 964.1HAa - 19.5STKa - 4.2Pa \text{ havza} \quad (2.23)$$

özellikleri

Parametreler;

N: periyot sayısı,

n: periyot uzunluğu

P_u^w : u odun ürününün fiyatı

S_k : k meşçeresi su üretimi için ayrılan alanda mı,

P^{wa} : 1 m³ su fiyatı,

P^c : 1 ton karbon fiyatı,

$C_{k,u}$: k meşçeredeki u ürün çeşidi için üretim masrafı,

α : faiz oranı,

A_k : k. meşçerenin alanı,

$D_{k,i,j}^m$: k meşçerenin j. periyottaki orta çapı,

$D_{k,i}^r$: k meşçerenin gençleştirilecek olması durumunda orta çapı,

V_k^0 : k. meşçerenin hektardaki aktüel hacmi,

V_k^{10} : k. meşçerenin gençleştirildikten sonraki hacmi,

$r_{k,i,j}^{growt}$: k meşçerenin j. periyottaki hacim artım yüzdesi,

$\bar{r}^m, \underline{r}^m$: bakım kesimleriyle meşçereden çıkarılacak hacim etasının alt ve üst sınırları,

$\bar{A}^p, \underline{A}^p$: periyodik faydalanma alanı,

r^p : odun ürünleri üretimi için ardışık periyotlardaki dalgalanma miktarı sınırı,

\bar{R} : son hasılat etası ile çıkarılacak hacim için üst sınır,

$q_{k,i,u}^m$: k meşçerede j. periyotta bakım kesimleri ile elde edilecek u ürün çeşiti miktarı,

$q_{k,i,u}^r$: k meşçerede i. senaryoya göre gençleştirilmesi ile elde edilecek u ürün çeşiti miktarı

Nu_j : j. periyotta havzada hektardaki 1,3 metreden uzun gençlik sayısı,

Karar Değişkenleri:

$y_{i,k}$: 1 (eğer k. meşcere i. periyotta geliştirilecekse),

$X_{k,i,j}^m$: k meşcereden j. periyotta bakım kesimleri ile elde edilecek hacim miktarı,

$X_{k,i,j}^f$: k meşcereden j. periyotta gençleştirme kesimleri ile elde edilecek hacim miktarı,

X_j^P : j. periyotta elde edilecek toplam odun hacmi,

$V_{k,i,j}$: k. meşcerenin i. senaryoya göre gençleştirilmesi durumunda j. periyottaki hacmi,

V_j^w : su üretim havzasının j. periyotta hektardaki hacmi,

A_k : su verimi,

$m_{k,u,j}^w$: k meşcerenin j. periyotta u odun çeşidi miktarı,

2.2.9. Planlama Stratejilerinin Belirlenmesi

Planlamaya ilişkin farklı amaç fonksiyonlarına yönelik farklı planlama stratejileri geliştirilmiştir. Tez çalışması kapsamında belirli hedeflere ulaşabilmek için planlama yürüngesi boyunca farklı alternatifler üretilip, bunlar arasından işletme amacına en uygununun seçilebilmesi için 7 farklı strateji geliştirilmiştir. Amaç fonksiyonunu etkileyen bazı kısıt düzeylerinde değişiklikler yaparak farklı alternatifleri denemek suretiyle çeşitli stratejiler oluşturmak mümkündür ancak tezin kapsamını genişletmemek amacıyla belirli amaç fonksiyonları alınmış ve aşağıda Çizelge 2.6'daki durumlar göz önüne alınarak amaç fonksiyonlarına yönelik çıktıların periyodik olarak değişimi incelenmiştir. Orman amenajman planlarında aynı yaşlı ormanlarda uygulanan yaş sınıfları yöntemine göre bir işletme sınıfı, ağaç türüne bağlı olarak idare süresi sonunda her bir yaş sınıfında eşit veya birbirine yakın alanlar istenmektedir. Her bir yaş sınıfında eşit alanlardan oluşan orman alan bakımından optimale ulaşmış olarak değerlendirilmektedir. Bu bağlamda her bir periyotta optimal periyodik alan (OPA) kadar alanın gençleştirilmesi arzu edilmektedir. Dolayısıyla OPA belirlenen çoğu stratejilerde gençleştirilecek alan için kısıtlayıcı bir faktördür. Periyotlar arası et dalgalanması da ayrıca bir kısıt olarak belirlenmiştir.

Amaç fonksiyonu olarak STRATEJİ 1 (ST1)'de odun üretiminden elde edilecek kârın maksimize edilmesi, STRATEJİ 2 (ST2)'de odun üretimi ve su üretiminden elde edilecek kârın maksimizasyonu, STRATEJİ 3 (ST3)'te odun üretimi ve karbon birikiminden elde edilecek kârın maksimizasyonu, STRATEJİ 4 (ST4)'te odun üretimi, su üretimi ve karbon birikiminden elde edilecek kârın maksimizasyonu, STRATEJİ 5

(ST5)'de odun üretimi ile su üretiminden elde edilecek kârın maksimizasyonu ve su kalite parametrelerinin dikkate alınması, STRATEJİ 6 (ST6)'da OPA kısıtı ve periyodik eta kısıtı olmadan odun üretimi, su üretimi ve karbon birikiminden elde edilecek kârın maksimizasyonu ve son olarak STRATEJİ 7 (ST7)'de OPA kısıtı dikkate alınmadan, periyodik gençleştirme etası 100 000 m³'lük üst sınır ile kısıtlanmış ve odun üretimi, su üretimi ve karbon birikiminden elde edilecek kârın maksimizasyonu hedeflenmiştir.

Çizelge 2.5. Amaca göre belirlenen planlama stratejileri.

Strateji No	Kısıtlar	Düzyey
1	<ul style="list-style-type: none"> ♣ Periyodik eta dalgalanması göz önünde bulundurulsun ♣ OPA kısıtı dikkate alınsın ♣ Periyodik toplam gençleştirme üst sınır olmasın (m³) ♣ Sadece Odundan elde edilecek kâr maksimize edilsin 	<ul style="list-style-type: none"> ♣ $r_{Odun} = 0,20$ ♣ $500ha \leq OPA \leq 800ha$ ♣ $TG \geq 0$ ♣ $Z_{max} = Odungeliri$
2	<ul style="list-style-type: none"> ♣ Periyodik eta dalgalanması kontrol edilsin ♣ OPA kısıtı dikkate alınsın ♣ Periyodik toplam gençleştirme üst sınır olmasın (m³) ♣ Odundan ve Su üretiminden elde edilecek kâr maksimize edilsin 	<ul style="list-style-type: none"> ♣ $r_{Odun} = 0,20$ ♣ $500ha \leq OPA \leq 800ha$ ♣ $TG \geq 0$ ♣ $Z_{max} = Odungeliri + Sugeliri$
3	<ul style="list-style-type: none"> ♣ Periyodik eta dalgalanması kontrol edilsin ♣ OPA kısıtı dikkate alınsın ♣ Periyodik toplam gençleştirme üst sınır olmasın (m³) ♣ Odundan ve Karbon Birikiminden elde edilecek kâr maksimize edilsin 	<ul style="list-style-type: none"> ♣ $r_{Odun} = 0,20$ ♣ $500ha \leq OPA \leq 800ha$ ♣ $TG \geq 0$ ♣ $Z_{max} = Odungeliri + Karbongeliri$
4	<ul style="list-style-type: none"> ♣ Periyodik eta dalgalanması kontrol edilsin ♣ OPA kısıtı dikkate alınsın ♣ Periyodik toplam gençleştirme üst sınır olmasın (m³) ♣ Odun Karbon Birikimi ve Su Üretiminden elde edilecek kâr maksimize edilsin 	<ul style="list-style-type: none"> ♣ $r_{Odun} = 0,20$ ♣ $500ha \leq OPA \leq 800ha$ ♣ $TG \geq 0$ ♣ $Z_{max} = Odungeliri + Karbongeliri + Sugeliri$

5	<ul style="list-style-type: none"> ♣ Periyodik eta dalgalanması kontrol edilsin ♣ OPA kısıtı dikkate alınsın ♣ Periyodik toplam gençleştirme üst sınırı olmasın (m³) ♣ Odun üretimi ve Su üretiminden elde edilecek kâr maksimize edilsin ♣ Su kalite parametreleri dikkate alınsın 	<ul style="list-style-type: none"> ♣ rOdun = 0,20 ♣ 500ha ≤ OPA ≤ 800ha ♣ TG ≥ 0 ♣ Zmax = Odungeliri + Sugeliri ♣ AKM, Nitrat ve pH
6	<ul style="list-style-type: none"> ♣ Periyodik eta dalgalanması dikkate alınmasın ♣ OPA kısıtı dikkate alınmasın ♣ Periyodik toplam gençleştirme üst sınırı olmasın (m³) ♣ Odun üretimi, Karbon Birikimi ve Su Üretiminden elde edilecek kâr maksimize edilsin 	<ul style="list-style-type: none"> ♣ rOdun ≥ 0 ♣ OPA ≥ 0 ♣ TG ≥ 0 ♣ Zmax = Odungeliri + Karbongeliri + Sugeliri
7	<ul style="list-style-type: none"> ♣ Periyodik eta dalgalanması dikkate alınmasın ♣ OPA kısıtı dikkate alınmasın ♣ Periyodik toplam gençleştirme üst sınırı dikkate alınsın (m³) ♣ Odun üretimi, Karbon Birikimi ve Su Üretiminden elde edilecek kâr maksimize edilsin 	<ul style="list-style-type: none"> ♣ rOdun ≥ 0 ♣ OPA ≥ 0 ♣ TG ≤ 100000 ♣ Zmax = Odungeliri + Karbongeliri + Sugeliri

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. ÇALIŞMA ALANINI OLUŞTURAN HAVZALARA İLİŞKİN BULGULAR

Planlama modelinde kullanılmak üzere orman yapısı ile havza karakteristikleri, su verimi ve kalitesi arasındaki ilişkilerin ortaya konulmasına yönelik olarak çalışma yapılan havzalardan elde edilen verilerin, gerek laboratuvar analizi gerekse istatistikî analizleri sonucunda elde edilen bulgular aşağıda başlıklar halinde verilmiştir.

3.1.1. Havza Karakteristiklerine İlişkin Bulgular

Çalışma yapılan 29 adet havzaya ilişkin havza karakteristiklerinin belirlenmesinde 1/25000 ölçekli topoğrafik haritalar kullanılmıştır. ArcGIS 10.4™ yazılımı ile sayısallaştırılan havza sınırları ile derelerin konumlarının doğrulukları arazide kontrol edilmiştir. Bu işlemlerden sonra aynı yazılım kullanılarak havza karakteristikleri belirlenmiş ya da belirlenmeleri için gerekli ölçümler (havza uzunluğu ve genişliği gibi) yapılmıştır. Çalışma kapsamında değerlendirilen 29 adet havzanın alanı, dairesellik oranı, form faktörü, drenaj yoğunluğu, uzunlaşma oranı, eğim ve yükselti şeklindeki havza karakteristiklerine ilişkin değerler Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Havza karakteristiklerine ilişkin bulgular.

Havza No	Alan (ha)	Uzunluk (m)	Genişlik (m)	Dairesellik oranı	Uzunlaşma oranı	Form Faktörü	Drenaj Yoğunluğu	Eğim (%)	Yükselti (m)
1	104,7	1671,5	1059,6	0,7	0,35	0,6	4,6	42,4	924
2	21,6	772	451,5	0,7	0,34	0,6	4,5	37,5	1097
3	12,8	586,4	254,5	0,8	0,34	0,4	3,1	41,6	1150
4	11,5	548,9	330,6	0,7	0,35	0,6	2,9	37,6	1347
5	8,6	616,5	190,4	0,5	0,27	0,3	4,1	35,9	1346
6	19,7	586	612,4	0,7	0,43	1	3,2	36,6	1373
7	17,5	593,8	562,7	0,7	0,4	0,9	5,5	54	1294
8	37,2	1100,5	491,8	0,6	0,31	0,4	4	50,2	1035
9	41,9	1168,4	591,4	0,6	0,31	0,5	4	50,8	758
10	63,1	1171,1	770,7	0,7	0,38	0,7	3,5	35,5	1105
11	55,8	1834,4	552,2	0,4	0,23	0,3	3,7	33,5	1180
12	179	2214,3	1120,8	0,5	0,34	0,5	2,3	30,8	1176
13	108,4	1371,7	1252,9	0,7	0,43	0,9	2,3	26,1	1351

Çizelge 3.1. (devam). Havza karakteristiklerine ilişkin bulgular.

14	15,9	712	316,4	0,6	0,32	0,4	4,2	39,5	1433
15	51,6	1115,2	898,1	0,7	0,36	0,8	4,3	38,2	1451
16	449,3	2400,6	2328,3	0,6	0,5	1	2,7	34,4	1471
17	17,4	453,1	472,2	0,9	0,52	1	3,8	28,9	1526
18	112,3	1486,7	910	0,6	0,4	0,6	3,9	32,2	1472
19	230	1992,1	1965,7	0,7	0,43	1	3,3	31,5	1458
20	26,8	902,9	525,8	0,6	0,32	0,6	3,3	35,2	1435
21	125,9	1917,1	1050,1	0,6	0,33	0,5	3,1	32,1	1405
22	48,7	1271,9	718,8	0,4	0,31	0,6	2,7	28,5	1394
23	39,4	1080	662,6	0,6	0,33	0,6	3,9	31,5	1380
24	86,8	1745,8	949,7	0,5	0,3	0,5	4,5	42,2	650
25	77,8	1389,2	845,8	0,7	0,36	0,6	3,1	45,9	528
26	31,3	916,6	576,8	0,8	0,34	0,6	3,5	39,9	576
27	133,6	1883,6	1431,8	0,6	0,35	0,8	4	38,9	660
28	68,8	1063,4	996,7	0,8	0,44	0,9	4	42,4	662
29	14	727,8	294	0,7	0,29	0,4	3,5	41,6	757

Havzaların çıkış noktalarının deniz seviyesine göre yükselteleri 500 m'den fazladır. En düşük yükseltiyeye sahip havza 528 m ile 25 nolu havza iken, en yüksek rakımlı havza ise 1526 m ile 17 nolu havzadır. Büyük dağ kütleleri esas alındığında 1-24 nolu havzalar güney bakıda ve Düzce ilinin kuzeyinde, 25- 29 nolu havzalar ise güney bakıda ve Düzce ilinin kuzeydoğusunda bulunmaktadır. Havzaların alanları 8,6 ha ile 449,3 ha arasında değişmekte olup çoğunluğu 75 hektardan daha küçüktür. Ortalama eğimleri %30-55 arasında değişen havzaların, dairesellik oranları 0,4-0,9 arasında ve uzunlaşma oranları ise 0,23-0,50 arasında değişim göstermektedir.

3.1.2. Havzalardaki Meşcere Yapısına İlişkin Bulgular

Çalışma yapılan havzalardaki meşcereler yapraklı, ibreli ve karışık orman olarak gruplandırılarak genel bitki örtüsü belirlenmeye çalışılmıştır. Yapraklı olarak gruplandırılan meşcereler saf veya karışık halde, genellikle kayın olmak üzere, meşe, kestane, akçağaç ve gürgen gibi ağaçların oluşturduğu meşcereleri kapsamaktadır. İbreli olarak gruplandırılanlar ise, başta göknar olmak üzere sarıçam ve karaçam ağaç türlerinin oluşturduğu saf veya karışık meşcerelerden oluşmaktadır. Karışık meşcereler; ibreli ve yapraklı türlerden oluşan meşcereleri göstermektedir. Ayrıca havzalarda oran olarak daha az bulunan orman içi açıklıklar ve ziraat alanları da farklı arazi biçimi olarak değerlendirilmiştir. Havzaların 16 tanesinde karışık meşcerelerin hâkim olduğu, bu 16 adet havzanın 12'sinde de karışık meşcere alanlarının toplam havza alanına

oranının %90 veya üzerinde olduğu saptanmıştır. Diğer 10 adet havzada yapraklı meşcerelerin hakim olduğu görülmektedir. Sadece 19 nolu havzada ibreli meşcereler alanın yarısından fazlasını kaplarken, 24 nolu havzanın da yaklaşık üçte biri ziraat alanları ile kaplıdır. 24 nolu havza dışındaki diğer havzalarda ziraat alanı bulunmamaktadır (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2. Havzalardaki arazi örtüsü biçimleri.

Havza No	Yapraklı		İbreli		Karışık		Açıklık		Ziraat		Toplam	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
1	77	73	0,3	0,2	27,4	26	0,3	0,3	-	-	104,7	100
2	20	92	-	-	-	-	1,8	8	-	-	21,7	100
3	12	96	-	-	-	-	0,5	4	-	-	12,6	100
4	-	-	-	-	11	100	-	-	-	-	11,2	100
5	-	-	-	-	9	100	-	-	-	-	8,8	100
6	-	-	-	-	19	99	0,2	1	-	-	19,7	100
7	3	32	-	-	5	68	-	-	-	-	8,0	100
8	36	99	-	-	-	-	0,2	1	-	-	36,5	100
9	34	81	-	-	8	19	-	-	-	-	42,6	100
10	12	19	21	34	30	47	0,5	1	-	-	63,1	100
11	12	24	-	-	39	76	-	-	-	-	50,8	100
12	-	-	-	-	177	100	-	-	-	-	176,7	100
13	-	-	-	-	109	100	-	-	-	-	108,6	100
14	-	-	-	-	16	100	-	-	-	-	15,9	100
15	-	-	-	-	52	100	-	-	-	-	51,6	100
16	-	-	-	-	422	94	25,4	6	-	-	447,1	100
17	-	-	-	-	17	100	-	-	-	-	17,4	100
18	-	-	10	9	100	90	1,6	1	-	-	111,7	100
19	-	-	132	57	75	33	23,2	10	-	-	230,2	100
20	-	-	7	26	20	74	-	-	-	-	26,8	100
21	-	-	-	-	23	100	-	-	-	-	22,7	100
22	-	-	33	26	91	71	4,0	3	-	-	128,5	100
23	-	-	-	-	39	100	-	-	-	-	39,4	100
24	38	34	1	1	35	31	-	-	38	34	112,1	100
25	78	100	-	-	-	-	-	-	-	-	77,8	100
26	35	100	-	-	-	-	-	-	-	-	35,1	100
27	133	100	-	-	-	-	-	-	-	-	132,7	100
28	70	98	-	-	2	2	-	-	-	-	71,8	100
29	14	100	-	-	-	-	-	-	-	-	14,0	100

Ormanın dinamik özellikleri ile su verimi veya kalite parametreleri arasındaki ilişkileri analiz edebilmek adına, bu dinamik özelliklerin havza bazında temin edilmesine ihtiyaç duyulmuştur. Dolayısıyla yapılan alan envanteri ile havzaları oluşturan meşcerelere ilişkin değerler bulunmuş ve sonra bu meşcerelerden hareketle her havza için ortalama değerler elde edilmiştir. Her bir meşcerenin alanı farklı olduğundan, alana bağlı olarak ağırlıklı ortalamaları alınmak suretiyle her havzanın hektardaki ortalama hacim, göğüs yüzeyi, ağaç sayısı hesaplanmıştır (Çizelge 3.3).

Çizelge 3.3. Havzaların orman yapısına ait ortalama değerleri.

Havza No	Alan (ha)	Hacim (m ³ /ha)	Göğüs Yüzeyi (m ² /ha)	Ağaç Sayısı (adet/ha)
1	104,7	371	39	936
2	21,7	416	42	1446
3	12,6	403	36	866
4	11,2	302	23	307
5	8,8	482	31	216
6	19,7	374	26	188
7	8	268	20	198
8	37	489	42	564
9	42,6	345	27	290
10	63,1	442	47	560
11	50,8	599	40	290
12	176,7	710	49	427
13	108,6	750	50	357
14	15,9	575	40	315
15	51,6	582	41	365
16	447,1	616	44	461
17	17,4	885	68	707
18	111,7	885	62	495
19	230,2	715	52	532
20	26,8	771	53	379
21	22,7	703	52	441
22	128,5	790	53	361
23	39,4	935	63	369
24	112,1	195	28	1034
25	77,8	317	29	459
26	35,1	369	37	542
27	132,7	315	31	408
28	71,8	326	34	462
29	14	188	21	445

Havzaların birim alandaki dikili ağaç hacim değerleri geniş bir aralıkta değişim göstermektedir. Bu durumdan dolayı çalışma alanı olarak seçilen havzaların birim alandaki hacim yönünden geniş bir gurubu temsil ettiği söylenebilir. En düşük hacim değeri 29 nolu havzada 188 m³/ha bulunmuşken, en yüksek hacim değeri ise 935 m³/ha ile 23 nolu havzada hesaplanmıştır. Havzalarda bulunan göğüs yüzeyleri hektarda 20 m² ile 68 m² arasında değişirken, ağaç sayıları da hektarda 188 adet ile 1446 adet arasında değerler almıştır.

3.1.3. Havzaların Toprak Yapısına İlişkin Bulgular

Her havzada farklı meşcere tiplerinden üst (0-20cm) ve alt (20-40 cm) topraktan en az birer toprak örneği alınarak, havzaları oluşturan meşcere tiplerine ait toprak özellikleri, laboratuvarında yapılan analizler sonucunda belirlenmiştir. Meşcere tiplerine ait toprak özelliklerinden hareketle, meşcere tiplerinin alansal büyüklükleri göz önünde bulundurularak ağırlıklı ortalamalar şeklinde havza bazındaki değerler elde edilmiştir (Çizelge 3.4).

Çizelge 3.4. Havzaların toprak özelliklerine ilişkin bilgiler.

Havza No	Toprak Derinliği (cm)	Kum (%)	Toz (%)	Kil (%)	Hacim Ağırlığı (g/cm ³)	Tane Yoğunluğu (g/cm ³)	Boşluk Hacmi (%)	Su Tutma Kapasitesi (%)	pH	Permeabilite (mm/saat)
1	0-20	78	14,7	7,3	0,9	1,9	49,2	32,4	5,2	244,5
	20-40	76,5	17,1	6,4	1	2,5	59,5	42,4	5,3	151,5
2	0-20	77,3	15	7,7	0,9	2,3	63,3	43	5,2	436,6
	20-40	72,5	18,1	9,5	1,1	2,4	51,9	30,2	5,3	63,2
3	0-20	77,1	18,8	4,1	0,8	2,2	62,5	53,7	5,3	396,7
	20-40	75,2	17,8	6,9	1,1	2,4	56,2	35	5	208,1
4	0-20	81,2	13,4	5,4	0,8	2,6	67,4	36,4	5,1	428,3
	20-40	84,6	11,2	4,2	0,9	2,3	60,6	35	5,4	319,1
5	0-20	66,7	21,5	11,8	0,9	2,2	58,8	33,8	5,6	162,5
	20-40	69,4	17,1	13,5	1,3	2,5	49,2	27	5,3	165,1
6	0-20	71,8	19,2	9	1	2,1	52,4	36,5	5,3	188,9
	20-40	77,2	14,5	8,2	1,2	2,5	54,3	25,5	5,4	199,3
7	0-20	65	23,7	11,3	1,1	1,9	40,4	38,3	5,2	54,1
	20-40	60,4	20,7	19	1,2	2,1	40,3	33,8	5,5	30,7
8	0-20	59,7	26,9	13,4	0,9	2,1	55,5	33,5	5,7	294
	20-40	64,1	19	16,9	1,1	2,3	51,5	29	5,6	163,5
9	0-20	64,1	24,3	11,6	1,1	2,3	53,8	40,3	6,2	197,8
	20-40	58,7	24,1	17,2	1,1	2,2	50,1	33,3	6,3	129,3
10	0-20	59,7	25,7	14,6	1,1	2,4	51,7	23,2	5,3	97,5
	20-40	55,1	24,5	20,4	1,3	2,4	44,2	25,5	5,3	72,7

Çizelge 3.4. (devam). Havzaların toprak özelliklerine ilişkin bilgiler.

11	0-20	54,3	30	15,7	1	2,1	51,9	34,9	5,4	135,9
	20-40	60,5	20,3	19,3	1,2	2,3	48	27,7	5,6	150
12	0-20	54,1	30,1	15,9	1,1	2,3	52	39	6,6	233,2
	20-40	45,4	25,2	29,4	1,3	2,3	45	24,7	5,8	126
13	0-20	54,2	22,6	23,3	1,3	2,4	43,8	27,2	6,1	109,9
	20-40	49,4	22,3	28,3	1,3	2,3	40,8	18,4	5,6	70,2
14	0-20	70	22	8	1,1	2,3	52,5	21,5	6,6	28,1
	20-40	62	34	4	1,5	2,9	49,3	13,9	5,4	34,4
15	0-20	53,3	26,8	19,8	1	2,3	59,2	27,3	5,8	221,2
	20-40	57,4	23,4	19,1	1,5	2,3	33,7	19	5,8	124,9
16	0-20	57,8	34,4	7,8	1,5	1,9	22,4	20,4	6,2	5,2
	20-40	76,9	17,2	5,9	1,8	2,1	10,2	14,5	6	1,6
17	0-20	65	21	14	1,5	2,1	26,6	15,4	5	10,1
	20-40	68	20	12	1,6	2,2	24,5	11,4	6,6	30,4
18	0-20	55	32,8	12,1	1,3	2,5	44,7	23,2	5,3	133,9
	20-40	61,2	24,2	14,5	1,6	2,3	31,1	18,6	6,6	30,6
19	0-20	52,5	33,8	13,7	1,4	2,2	33,8	21,8	5,6	14,9
	20-40	56,2	26,4	17,4	1,6	2,2	30,3	19,1	5,2	10,1
20	0-20	66,4	24,6	9	0,9	2	53,6	42,8	6,1	29,2
	20-40	71,4	22,5	6,1	1,3	2,5	48,7	37,1	5,7	20,7
21	0-20	51	27	22	1,4	2,5	43,7	25,3	6,2	11
	20-40	48	29	23	1,6	2,4	35,3	21,7	5,5	5,2
22	0-20	62	22	16	1,3	2,6	48,7	28,9	5,6	60,2
	20-40	55,9	25,1	19	1,5	2,5	37,9	24	5,9	27,6
23	0-20	52,3	23,1	24,5	1,1	2	45,1	33,9	5,8	38,2
	20-40	58,7	22,3	19	1,3	2,5	46,6	33,2	6,2	15,8
24	0-20	55,4	30,2	14,4	1,4	2,2	37,4	27,1	5,9	22,6
	20-40	55,8	32,6	11,6	1,5	2,3	34	24,3	6,3	7,4
25	0-20	51,4	27,3	21,4	1,2	2	39,3	30,4	5,2	133,1
	20-40	48,6	29,5	21,8	1,4	2,7	47,7	28,3	5,8	20,8
26	0-20	50,9	26	23,1	1,3	2,3	42,9	35,5	5	132,2
	20-40	48,9	26,4	24,6	1,3	2,1	35,3	33,1	5,8	25,5
27	0-20	43,3	32	24,7	1,4	1,9	26,5	26,9	5,1	118,2
	20-40	44,3	31,2	24,5	1,5	2,2	32,8	21,2	5,7	28,5
28	0-20	52	32,8	15,2	1,3	2,2	43,5	30	5,9	52,6
	20-40	49,6	27,5	22,9	1,4	2,6	46,9	28,2	6,2	13,9
29	0-20	69,9	21,4	8,6	1,4	2,3	39	28,2	6,3	33
	20-40	72,1	16,9	11	1,5	2,3	35,2	24	6	7,5

Havzaların hem alt toprak hem de üst topraktaki kum oranı genellikle %50'den yüksek çıkmıştır. Genel olarak havzalardaki toprakların kumlu-balçık veya kumlu-killi- balçık yapıda olduğu görülmektedir. Havzalardaki üst toprak hacim ağırlıkları 0,8-1,5 g/cm³ arasında değişirken, alt toprak hacim ağırlıkları 0,9-1,8 g/cm³ arasında değişim göstermektedir. Bazı havzalarda (2, 3 ve 4 nolu havzalar) üst toprak boşluk hacmi %60'ın üzerine çıkarken, bazı havzalarda (16, 17 ve 27) %30'un altına düşmüştür. Alt

toprak boşluk hacmi daha düşük olmakla birlikte yaklaşık %10-60 arasında değerler almaktadır. Üst toprak su tutma kapasiteleri %15-54 arasında değişim gösterirken, alt toprak su tutma kapasitesi en yüksek %42 olarak bulunmuştur. En yüksek su tutma kapasitesi 1 nolu havzada, en düşük ise 17 nolu havzadadır. Alt ve üst toprak pH değerleri 5,0 ile 6,6 arasında değişmektedir. Üst toprak pH değeri en yüksek 14 nolu havzada iken, en düşük değer ise 17 nolu havzada bulunmuştur. Alt toprak pH değeri en düşük 3 nolu havzada, en yüksek ise 17 nolu havzada bulunmuştur. İlk 4 havzada üst toprak permeabiliteleri nispeten yüksek olup 400 mm/saat'i aşmışken, 16 nolu havzada ise yaklaşık 5 mm/saat olarak bulunmuştur. Alt toprak permeabilitesi de yine 16 nolu havzada 1,6 mm/saat ile en düşük miktardadır.

3.2. SU VERİMİNE İLİŞKİN BULGULAR

Seviyeölçer (levelogger) cihazlarının kurulduğu havza çıkış noktalarında derelerden gelen suların hızları çüce muline vasıtasıyla ölçülmüştür. Ayrıca menfezlerin genişliği sabit olup su seviyesine bağlı olarak değişen kesit alanları bulunmuştur. Elde edilen hız ve kesit alan değerleri $Q = A \cdot V$ debi formülü kullanılarak havzaların ölçüm anına ilişkin debileri belirlenmiştir. Burada; Q :Debi (m^3/sn), A :kesit alanı (m^2) ve V :su hızı (m/sn)'dır. Bu şekilde değişik zamanlarda yapılan seviye ve debi ölçümleri vasıtasıyla havzaların seviye-debi grafikleri ile ilişkiyi gösteren regresyon denklemleri oluşturulmuş ve seviye ölçer aletlerinin her 30 dakikada bir ölçmüş ve kaydetmiş olduğu su seviyeleri bu denklemler kullanılarak hesaplanmıştır. Günde 48 ölçüm üzerinden aylık 1440 ($2 \times 24 \times 30$) ölçümlerin ortalaması alınarak aylık ortalama debiler belirlenmiştir. Havzalardan aylık çıkan su miktarını bulmak için de, hesaplanan bu ortalama debiler (m^3/sn) önce 60 ile çarpılarak $m^3/dakika$ 'ya, daha sonra 60 ile çarpılarak $m^3/saat$ 'e, daha sonra da 24 ile çarpılarak $m^3/gün$ 'e çevrilmiştir. Son olarak ilgili ayda akış gerçekleşen gün sayısı (bazı havzalarda donma veya kuruma nedeniyle bazı günlerde akış olmamıştır)ile çarpılarak m^3/ay olarak aylık su verimleri hesaplanmıştır. İki yıl boyunca yapılan ölçümler ve elde edilen seviye-debi ilişkisine bağlı olarak hesaplanan aylık ortalama su verimleri Çizelge 3,5'te verilmiştir.

Çizelge 3.5. Havzaların aylık ortalama su verimleri.

Havza No	Ortalama Su Verimi (m ³)												Toplam
	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	
1	71495	95471	121819	127657	141483	120241	91635	64470	58492	36565	33114	11942	974383
2	18939	23293	49554	37911	54715	35061	26102	12034	7173	2128	4578	958	272445
3	3445	2297	4545	3801	3154	3125	3125	1153	1606	491	2579	1125	30446
4	34	571	9381	6574	8597	11777	2985	51	1058	0	176	0	41207
5	4896	847	4758	5540	10796	23549	11085	5166	7270	5700	2904	2991	85502
6	3476	1015	5445	4171	10886	25693	10099	4711	7208	401	1717	14	74836
7	3804	2540	7710	10026	12912	10307	6309	739	2499	85	914	3	57847
8	10006	24621	42661	51717	54732	40967	21889	10684	4619	906	4006	331	267139
9	30579	66161	67833	64132	52372	39968	30384	9761	6398	4313	11089	5360	388351
10	26508	32867	38003	40960	43980	53504	39164	17296	14041	7602	12216	8675	334817
11	27245	32597	69940	36258	67274	34223	18400	6	1684	965	786	0	289379
12	177489	128670	139293	148272	174424	141154	107348	12505	29249	38547	68627	47190	1212769
13	45821	62284	135060	148687	178266	175899	102987	20046	9592	2791	40385	7112	928930
14	12847	11408	22238	24401	34195	34030	23396	10290	7816	4759	1832	639	187850
15	27134	10283	61435	61779	97736	113706	66629	25210	12698	6757	10600	109	494076
16	198576	282756	375231	381400	476443	456901	263639	131262	97938	70004	49214	12368	2795732
17	6882	2346	8396	7884	8554	7171	2966	7225	7087	2884	490	491	62375
18	60464	53479	97441	115876	114168	100068	46436	15631	10519	10699	6129	4084	634993
19	32683	92407	130732	170140	162249	152383	111462	90774	44417	14352	10179	8418	1020196
20	39112	8324	48674	44877	46279	64920	36415	16371	23671	11424	1961	1554	343581
21	11001	7175	17454	20292	23577	19323	13617	10383	10090	8869	2379	545	144705
22	59486	165557	174154	157134	184425	170855	82536	6755	10437	3293	9489	74	1024197
23	7701	13803	35413	57697	91015	67914	35930	29940	18627	7234	6184	5705	377163
24	14396	80845	79849	50378	86555	60845	39117	2361	1974	367	1258	686	418630
25	41261	65734	67070	55808	46153	36238	20267	11905	3409	3007	3633	2175	356660
26	6612	24263	18280	15513	21807	17307	16647	15942	15585	5676	1416	1106	160154
27	47424	109413	91112	77261	73096	48020	26365	15775	3233	3615	8664	2692	506669
28	18664	67491	84340	51441	59073	50152	34742	21433	3371	4322	5874	2198	403100
29	4044	7487	6389	3896	6737	5436	5754	7056	6911	4144	2415	4810	65078

Seviye-debi ilişkisine bağlı olarak hesaplanan iki yıllık ortalama su verimleri incelendiğinde en fazla su veriminin (2 795 732 m³/yıl) en büyük alana (449,3 ha) sahip olan 16 nolu havzada gerçekleştiği görülmektedir. En az su verimi (30 446 m³/yıl) ise en küçük havzalardan biri olan 3 nolu havzada (12,8 ha) gerçekleşmiştir. Bazı havzalarda yaz aylarının sonlarına doğru ve sonbahar başlarında kurumalar olurken bazılarında da yağışlar nedeniyle su seviyesinde Temmuz ayından sonra artışlar meydana gelmiştir.

Su verimi, birim alan akış ve akış katsayısı ile ölçülen havza, meşcere ve toprak özelliklerinden öne çıkanlar, birlikte değerlendirilmek suretiyle istatistiksel analizler yapılmış ve bu analizlerde en az sayıda değişken ile en yüksek belirtme katsayısını veren denklemler elde edilmeye çalışılmıştır. Bu tez çalışması kapsamında, havzaların birim alandan gelen akış miktarları ile bağımsız değişkenler (havza, meşcere ve toprak özellikleri) arasındaki ilişkiler çoklu doğrusal regresyon analizi ile belirlenmeye çalışılmıştır ve yapılan çoklu doğrusal regresyon analizinde adjusted R² değeri 0,66 olarak bulunan aşağıdaki denklem elde edilmiştir.

$$Akış = 3143,5 + 1,49A + 0,31V - 0,25Nug - 1075,7HAü + 19,1BHü - 0,94Pü - 964,1HAa - 19,5STKa - 4,2Pa \quad (R^2=0,66; p<0,01) \quad (3.1)$$

Bu denklemdeki sembollerin açıklaması aşağıda verilmiştir.

Akış: Birim alandan akış (mm/m²)

A: Havza alanı (ha)

V: Hacim (m³/ha)

Nug: Uzun gençlik sayısı (adet/ha) (Çapı 8 cm'den az ancak boyu 1.3 m'den uzun bireyler)

BHü: Üst toprak boşluk hacmi (%)

HAü: Üst toprak hacim ağırlığı (g/cm³)

HAA: Alt toprak hacim ağırlığı (g/cm³)

STKa: Alt toprak su tutma kapasitesi (%)

Pü: Üst toprak permeabilitesi (mm/sa)

Pa: Alt toprak permeabilitesi (mm/sa)

Denklemden yer alan parametreler orman planlama modelinin oluşturulduğu Çiçekli havzası için A: 2693 ha, H: 1250, BHü:6,36 %, HAü:0,18 g/cm³, HAA: 0,22 g/cm³, STKa: 24,39 %, Pa: 14,16 mm/sa ve Pü: 23,66 mm/sa olarak hesaplanmış ve

optimizasyon modelinde kullanılmıştır.

Denklem incelendiğinde, su miktarının havza alanı, üst toprak boşluk hacmi gibi sabit değişkenler ve hacim ile pozitif yönde ilişkisinin olduğu görülmektedir. Ayrıca su veriminin uzun gençlik sayısı, üst ve alt toprak permeabilitesi, alt toprak hacim ağırlığı ve alt toprak su tutma kapasitesiyle negatif ilişkisinin bulunduğu anlaşılmaktadır. Genel olarak önerilen hacimle veya göğüs yüzeyiyle su verimi arasındaki ters orantılı ilişkinin [60], [47] aksine, Düzce ilinde 29 havzada yapılan bu çalışma ve elde edilen bilgilerin analizi sonucunda hacim ve su verimi arasında pozitif ilişki olduğu saptanmıştır. Bu pozitif ilişkinin bulunmasında özellikle Düzce ili ormanlarında gençleştirilen orman alanlarının çok kısa sürede diri örtü elemanları tarafından kaplanması etkili olmaktadır.

3.3. SU KALİTESİNE İLİŞKİN BULGULAR

Suların kalite özelliklerini etkileyen çok sayıda parametre bulunmaktadır. Bu çalışmada su kalite parametrelerinden, kaliteli su için önemli oldukları kabul edilen nitrat, pH ve askıda katı madde parametreleri kullanılmıştır. Bu parametrelerin belirlenmesine yönelik çoklu doğrusal regresyon analizleri yapılmıştır. Kalite parametrelerine ilişkin adjusted R^2 değeri en yüksek ve uygulanabilir olan denklemler elde edilmiştir.

İnorganik azot ve azot bileşikleri sulara çözünmüş gaz halinde veya asılı organik bileşik ve mineral şeklinde bulunabilir. Azot döngüsünün ilk basamağı olan amonyak bazı özel bakteriler tarafından özel durumlarda nitrit (NO_2^-) ve nitrata (NO_3^-) dönüştürülür. Nitrat tatlı su ekosistemlerinde azot döngüsünün doğal tamamlayıcı bileşenidir [107]. Nitrat doğal sulara toksik bir etki oluşturmamakta ve su bitkileri tarafından da kullanılabilir. Ancak nitrat azotu algal büyümeyi sınırlayabilen veya artırabilen önemli bir faktördür. Nitrat azotunun sulardaki normal değerleri 10 mg/L den azdır [108]. Nitrat miktarlarını belirlemeye yönelik olarak yapılan çoklu doğrusal regresyon analizinde adjusted R^2 değeri 0,75 olarak bulunan aşağıdaki denklem elde edilmiştir. Denklemden, H değeri 1250 m, STKü ise 24,60 % olarak alınmıştır.

$$\text{Nitrat} = -1,885 + 0,004H - 0,005V + 0,0051\text{STKü} \quad (R^2=0,75; p<0,01) \quad (3.2)$$

Bu denklemdeki sembollerin açıklaması aşağıda verilmiştir.

H: Yükselti (m)

V: Birim alandaki meşcere hacmi (m³/ha)

STKü: Üst toprak su tutma kapasitesi (%)

Hidrojen iyonlarının (H⁺) molar bazda eksi logaritması olarak hesaplanan pH, suların bazik veya asidik olup olmadığını belirleyen bir değerdir. Yüzey sularının kalitesini ve farklı amaçlara yönelik kullanımında suyun uygunluğunu belirlemede kullanılan en önemli parametredir [109]. Bu nedenle su kalitesi analizlerinde ölçülmesi gereken önemli bir parametredir. pH değerleri 0-14 arasında değişmekle birlikte doğal sulardaki değeri 4-9 arasındadır. Sudaki pH değeri, genellikle karbonat sistemi ile dengelenmektedir. Yani, suda bulunan karbondioksit (CO₂), karbonik asit (H₂CO₃), bikarbonat (HCO₃) ve karbonat (CO₃) iyonları, denge halindedir ve bu denge, suyun pH değerini belirlemektedir. Sudaki bu karbonat dengesinin karbon dioksit ve bikarbonata doğru kayması durumunda suyun pH'sı düşer, karbonata doğru kayması halinde ise pH yükselir [107]. Genellikle akarsuların pH değerleri yüksek iken, durgun suların pH değerleri düşüktür. Su kirliliği kontrol yönetmeliğinde sulardaki pH değerinin 6,0-9,0 arasında olması gerektiği belirtilmekte olup I. sınıf suların ise 6,5-8,5 arasında pH değerine sahip olması gerektiği vurgulanmaktadır. pH miktarlarını belirlemeye yönelik olarak yapılan çoklu doğrusal regresyon analizinde adjusted R² değeri 0,67 olarak bulunan aşağıdaki denklem kullanılmıştır. Denklemde yer alan ifadeler optimizasyon modelinin oluşturulduğu Çiçekli Orman İşletme Şefliği için; D:2,59, F:0,31, H:1250 m, BHü:6,36 % ve Pü:23,66 mm/sa olarak hesaplanmış ve bu şeflik için dönemsel olarak değişen hacim değerlerine bağlı olarak havzadan çıkan suyun pH değerinin belirlenmesinde kullanılmıştır.

$$\text{pH} = 8,62 - 1,431 D + 0,606 F - 0,0005 H + 0,001 V + 0,001 BHü - 0,001 Pü \quad (R^2=0,67; p<0,01) \quad (3.3)$$

Bu denklemdeki sembollerin açıklaması aşağıda verilmiştir.

D: Dairesellik oran,

F: Form faktörü

H: Yükselti (m)

V: Birim alandaki meşcere hacmi (m³/ha)

BHü: Üst toprak boşluk hacmi (%)

Pü: Üst toprak permeabilitesi (mm/sa)

Suyun içerisinde bulunan çökebilen veya çökemeyen katı maddeler suyun debisi veya tanecik boyutuna göre havza boyunca taşınabilmektedir. Su içerisinde bulunan bu askıda katı maddelerin kaynakları, toprakta meydana gelen erozyon ve aşınmalarla derelere ulaşan kaya parçacıkları, kum, toz ve kil mineralleri, organik madde parçalarından oluşmaktadır. Tarım arazilerinde meydana gelen erozyon ve insan faaliyetlerinin sonucunda yüzey sularındaki askıda katı madde miktarı artabilir [93], [107]. Askıda katı madde ölçümünün yapılması özellikle barajlara ilişkin projelendirmelerde içme ve kullanma suyu temininde çok önemlidir. Akarsular özellikle sel ve taşkın zamanlarında kısa sürede çok fazla miktarda askıda katı madde taşıyabilmektedir. Su kirliliği kontrol yönetmeliğinde I. sınıf sular için toplam çözünmüş katı madde miktarının 500 mg/L (0,5 g/L)'yi geçmemesi gerektiği belirtilmektedir. AKM miktarlarını belirlemeye yönelik olarak yapılan çoklu doğrusal regresyon analizinde adjusted R² değeri 0,58 olarak bulunan aşağıdaki denklem kullanılmıştır. Denklemde yer alan ifadeler optimizasyon modelinin oluşturulduğu Çiçekli Orman İşletme Şefliği için; Ay:10 %, Pa:14,16 mm/sa olarak hesaplanmış ve optimizasyon modelinde kullanılmıştır.

$$AKM = 0,116 + 0,004Ay - 0,0003Pa + 0,00009V \quad (R^2=0,58; p<0,01) \quad (3.4)$$

Bu denklemdeki sembollerin açıklaması aşağıda verilmiştir.

AKM: Askıda katı madde (g/L)

Ay: Havzadaki açıklıkların alansal olarak oranı (%)

Pa: Alt toprak permeabilitesi (mm/sa)

V: Birim alandaki meşcere hacmi (m³/ha)

3.4. PLANLAMA STRATEJİLERİNE İLİŞKİN BULGULAR

Farklı amaç fonksiyonları ve farklı kısıtlarla birlikte geliştirilen 7 planlama stratejisine ilişkin bulgular aşağıda açıklanmaya çalışılmıştır. Ana planlama modeli üzerinde kısıtlarda ve amaç fonksiyonlarında değişiklikler yapılarak oluşturulan bu stratejilerde amacı maksimize edecek planlama modeli çözümleri elde edilmiştir. Farklı kesim planlarıyla, su verimi, su kalitesi ve karbon birikiminin de entegre edildiği amaç

fonksiyonları ve elde edilen diğer bulgular öncelikle her bir strateji için ayrı ayrı verilmiş, daha sonra ise bütün stratejilerin birlikte değerlendirilmesi yapılmıştır. Parasal değerlerin tümünde Net Bugünkü Değerler (NBD) dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

3.4.1. Planlama Stratejilerine Ait Özel Bulgular

STRATEJİ 1 (ST1)'de amaç fonksiyonu olarak yalnızca odun üretiminden elde edilecek kârın maksimize edilmesine yönelik planlama stratejisi geliştirilmiştir. Bu stratejide ayrıca ormanlarımızın optimale ulaştırılabilmesi adına Optimal Periyodik Alan (OPA) kısıtı eklenmiştir ve planlama ufku (100 yıl) sonunda her yaş sınıfından eşit veya birbirine yakın OPA alanlarının olması amaçlanmıştır. Çiçekli planlama biriminin tamamı bir işletme sınıfı olarak düşünüldüğünde OPA'sı yaklaşık 706 ha'dır. Burada kesin bir değer yerine OPA, bir aralık olarak tanımlanmış ve modelin her dönem bu aralıktaki alan kadar meşcereleri gençleştirmesi istenmiştir. Bu bağlamda OPA alt sınırı olarak 500 ha, OPA üst sınırı olarak da 800 ha belirlenmiş ve kısıt olarak modele eklenmiştir. Ayrıca periyotlar arası eta akışını kontrol altına alabilmek adına periyotlar arası eta dalgalanması da en fazla %20 fark olacak şekilde modele kısıt olarak girilmiş ve model çalıştırılmıştır.

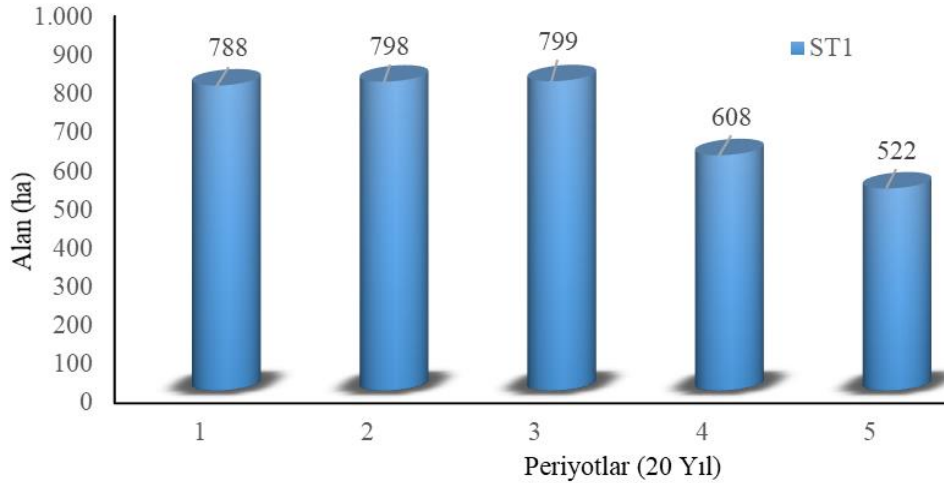
Sadece odun üretiminden elde edilecek kârı maksimize eden model (ST1) optimal çözüme ulaştığında, amaç fonksiyon değeri yıllık ortalama 2 041 696 TL olarak bulunmuştur. Bu amaç fonksiyon değeri sadece odun üretiminden elde edilen gelirlerden oluşmaktadır. Bunun yanında karbon ve su üretimi de gerçekleşmiştir fakat amaç fonksiyonuna dâhil edilmemiştir. Amaç fonksiyonuna karbon değeri olarak 31 164 TL ve su üretim geliri olarak 2 258 562 TL miktarları da eklenmiş olsaydı ST1 planlama stratejisine göre elde edilecek yıllık ortalama gelir 4 331 423 TL'ye yükselecektir.

ST1 planlama stratejisine göre elde edilen eta miktarlarına bakıldığında son hasılat (gençleştirme) etasının ilk 3 periyotta azaldığı sonraki 2 periyotta ise arttığı görülmektedir. Ara hasılat (bakım) etası ise tüm periyotlarda gittikçe azalmıştır. Tüm periyotlarda ara hasılat etasının en az 10 katı miktarda son hasılat etası elde edildiği görülmektedir. Planlama ufku sonunda elde edilen toplam etanın 4 934 485 m³ olduğu bu etanın da %92,7'sinin son hasılat etasından oluştuğu belirlenmiştir (Çizelge 3.6).

Çizelge 3.6. ST1 planlama stratejisine göre elde edilen eta miktarları.

Periyotlar	Ara Hasılat		Son Hasılat		Toplam Eta
	m ³	%	m ³	%	
1P	118094	10,1	1050692	89,9	1168786
2P	78913	8,1	900982	91,9	979895
3P	70586	9,0	713330	91,0	783916
4P	69661	7,7	840288	92,3	909949
5P	23296	2,1	1068643	97,9	1091939
Toplam	360550	7,3	4573935	92,7	4934485

ST1’de gençleştirmeye konu edilen alanlara bakıldığında ise ilk üç periyotta OPA üst sınırı olan 800 ha’ya çok yakın miktarlarda alanın gençleştirildiği, son iki periyotta ise OPA değerinin altında orman alanlarının gençleştirmeye konu edildiği görülmektedir. Özellikle ilk üç periyotta yüksek miktarda alanların gençleştirilmesi, odun üretiminden elde edilecek kârın maksimize edilmeye çalışılmasından kaynaklanmaktadır. Gençleştirme alanı kısıtı üst sınıra kadar zorlanmış ve model alınacak etayı, dolayısıyla da gelirin artırılmasını hedeflemiştir (Şekil 3.1).



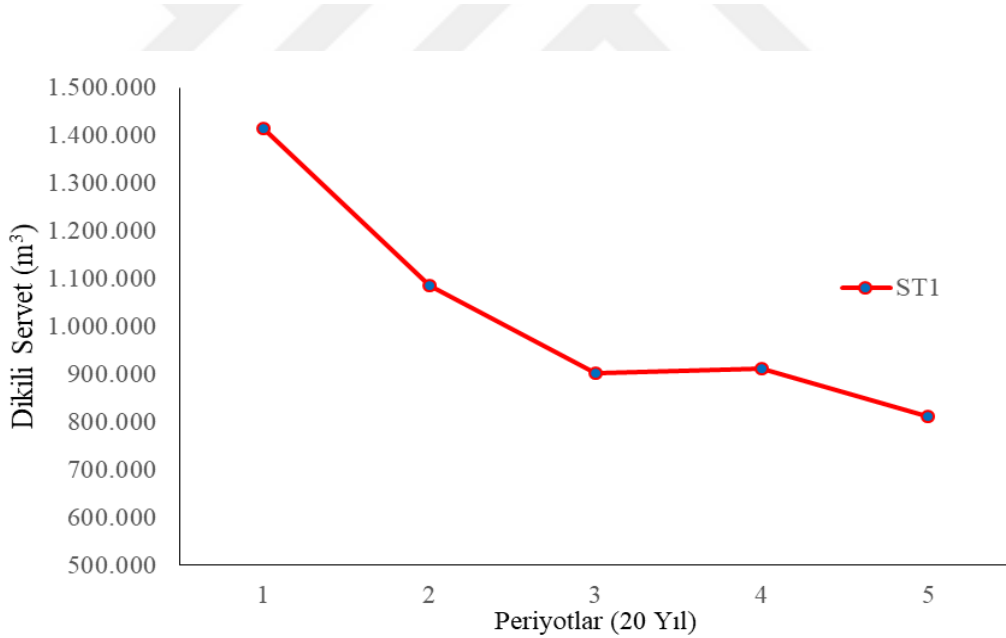
Şekil 3.1. ST1’e göre her bir periyotta gençleştirilen orman alanları.

ST1’de planlama ufku sonunda gerçekleşen son hasılat ve ara hasılat miktarlarının ürün çeşitleri bakımından dağılımına bakıldığında, alınan toplam emvalin %30,0’u tomruk, %29,0’u yakacak odun %28,3’ü maden direği ve %12,2’si de sanayi odunu ürün çeşidinden oluşmaktadır. ST1 planlama stratejisinde en az üretilen ürün çeşidi sanayi odunu olurken, birim fiyatı en yüksek olan tomruk ürün çeşidi en fazla üretilen emval olmuştur (Çizelge 3.7).

Çizelge 3.7. ST1 planlama stratejisine göre üretilen odun ürün çeşitleri dağılımı.

Periyot No	Ürün Çeşitleri				Toplam m ³
	Tomruk m ³	Maden Direği m ³	Sanayi Odunu m ³	Yakacak Odun m ³	
1P	546124	223158	155182	243834	1168298
2P	466129	193116	114068	206937	980249
3P	128389	306803	131884	216143	783219
4P	125631	330877	117502	336360	910370
5P	213776	340549	109865	428161	1092350
Toplam	1480049	1394503	628500	1431435	4934486

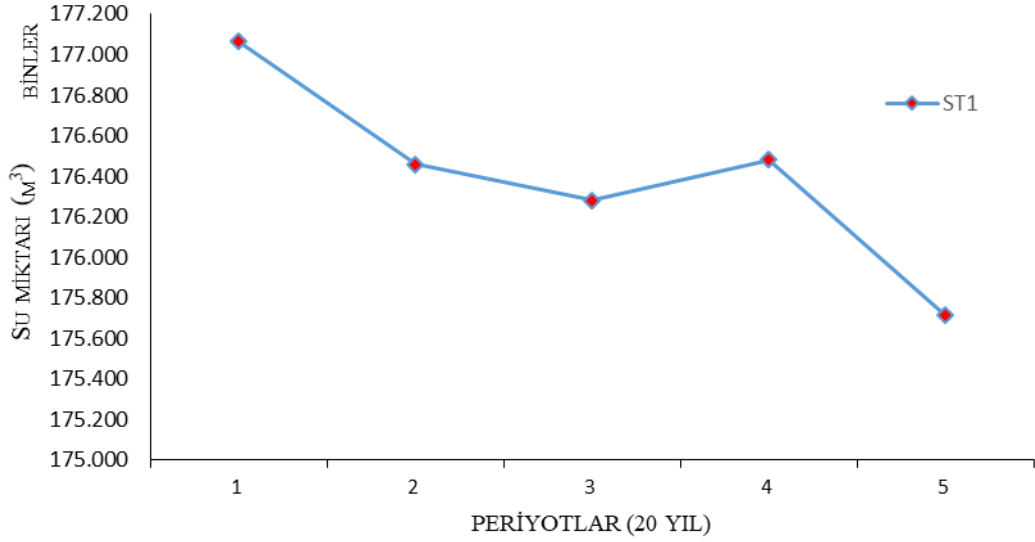
ST1 planlama stratejisinde odundan elde edilecek gelirin artırılmasına yönelik özellikle ilk 3 periyotta OPA'nın üzerinde geliştirilen orman alanları ve bu alanlardan elde edilen etalara bağlı olarak, planlama birimi dikili servet miktarında keskin bir düşüş meydana gelmiştir. 3. periyottan 4. periyota geçişte küçük bir artışın meydana geldiği stratejide son periyotta ise başlangıçtaki dikili servet miktarına göre yaklaşık %43 oranında bir düşüş yaşanmıştır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. ST1 planlama stratejisi dikili servet miktarlarındaki değişimler.

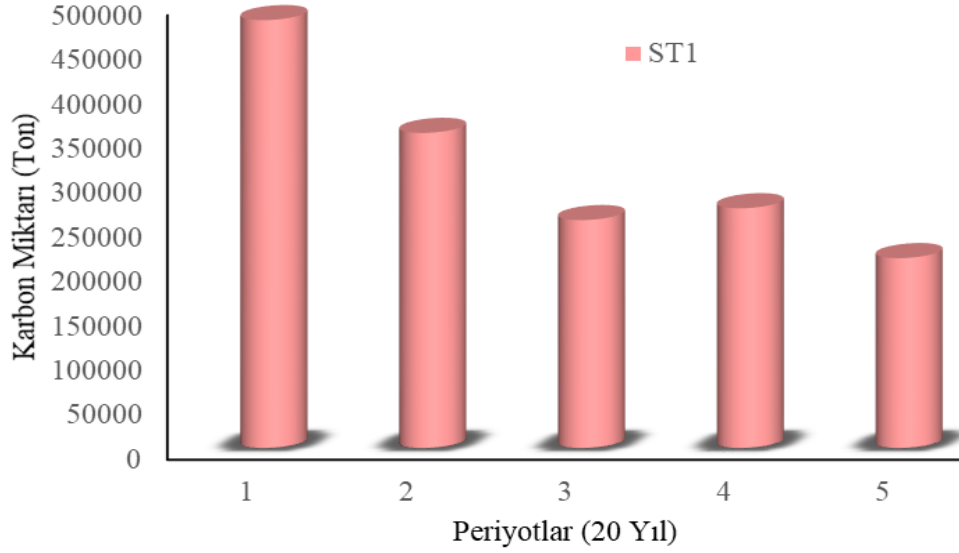
ST1 planlama stratejisinde amaç odun üretiminden elde edilecek karın eniyilenmesi olmasına rağmen, üretilen su miktarları ayrıca incelenmiştir. İlk üç periyot boyunca dikili servet miktarındaki keskin düşüşe paralel olarak su üretimi azalan bir seyir izlemiş, dördüncü periyotta biraz artış göstermiş fakat son periyotta yine azalma meydana gelmiştir. Periyotlar arası üretilen su miktarlarındaki değişimler yaklaşık %1

oranında olmuştur. Su miktarında meydana gelen değişimler, havzalardan elde edilen ilişkiye uygun olarak hacimdeki değişimlere paralel olarak artış ve azalış göstermiştir. Planlama ufku boyunca toplam 882 197 000 m³ su üretimi gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. ST1 planlama stratejisine göre planlama ufku boyunca üretilen su miktarları.

ST1 planlama stratejisinde toprak üstü biyokütlerde bağlanan karbon miktarları da özellikle ilk 3 periyotta gençleştirilen alan miktarlarının OPA'nın üstünde olması toprak üstü biyokütlerde bağlanan karbon miktarını düşürmüştür. Dikili servet miktarındaki azalmaya bağlı olarak toprak üstü biyokütlerde bağlanan karbon miktarı da azalmıştır. Planlama biriminin toprak üstü biyokütlesinde bağlanan karbon miktarı başlangıçta 481517 ton iken, alınan eta miktarının ormandaki artım miktarından yüksek olması nedeniyle sonuçta planlama biriminde bağlanan karbon miktarı 5 periyot sonunda yaklaşık %55,6 oranında azalmıştır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. ST1 planlama stratejisi periyodik olarak bağlanan karbon miktarları.

STRATEJİ 2 (ST2)'de amaç fonksiyonu olarak ST1'den farklı olarak odun üretiminin yanında su üretimini de dikkate alarak elde edilecek kârın maksimize edilmesine yönelik planlama stratejisi geliştirilmiştir. Bu stratejide de ST1'de olduğu gibi OPA kısıtı eklenmiştir ve planlama ufku sonunda her yaş sınıfında eşit veya birbirine yakın OPA alanlarının olması sağlanmıştır. Ayrıca periyotlar arası eta akışını kontrol altına alabilmek adına yine periyotlar arası en fazla %20 eta dalgalanması olacak şekilde model kısıtı girilmiş ve model çalıştırılmıştır.

Bu planlama stratejisinde odun üretiminin yanında su miktarının da dikkate alınarak elde edilecek kârın eniyilenmesini sağlayacak olan planlama modelinin koşturulması sonucunda olurlu bir çözüme ulaşılmış ve ST2 planlama stratejisinde amaç fonksiyon değeri yıllık ortalama 4 153 371 TL olarak bulunmuştur. Buradaki yıllık gelir su ve odun üretiminden elde edilmiştir. Her ne kadar karbondan elde edilecek gelirler amaç fonksiyonunda yer almasa da bu stratejiye göre 31 163 TL değerinde karbon bağlanmıştır. Amaç fonksiyonuna karbondan elde edilecek gelir de eklenmiş olsaydı yıllık gelir 4 184 535 TL'ye çıkmış olacaktı. Bağlanan karbondan elde edilen gelirin amaç fonksiyonunu çok fazla etkilemediği görülmektedir.

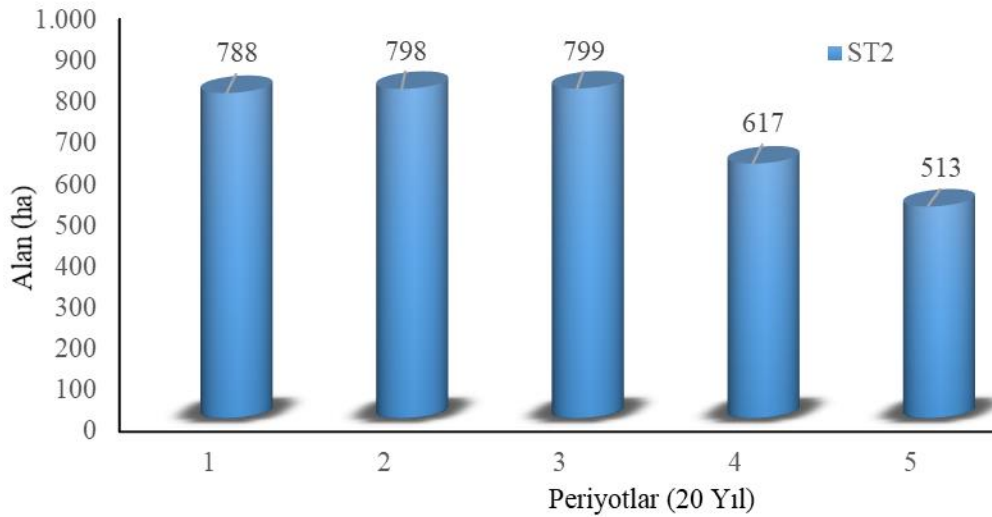
ST2'ye göre elde edilen ürün miktarlarına bakıldığında gençleştirme ile elde edilen eta miktarının bakım etasına göre çok yüksek olduğu görülmüştür. Her bir periyotta gençleştirme etasında artışın olduğu, bakım etasında ise genellikle azalmanın olduğu görülmektedir. Planlama ufku boyunca elde edilen toplam eta miktarı 4 938 568 m³

olarak bulunmuş ve bu etanın yaklaşık %92,7'sinin gençleştirme etarından oluştuğu belirlenmiştir (Çizelge 3.8).

Çizelge 3.8. ST2 planlama stratejisine göre elde edilen eta miktarları.

Periyotlar	Ara Hasılat		Son Hasılat		Toplam Eta
	m ³	%	m ³	%	
1P	116995	10,0	1050691	90,0	1167686
2P	80207	8,2	900981	91,8	981188
3P	69728	8,9	715222	91,1	784950
4P	69677	7,6	841570	92,4	911247
5P	23375	2,1	1070122	97,9	1093497
Toplam	359982	7,3	4578586	92,7	4938568

ST2 planlama stratejisinde gençleştirmeye konu edilen orman alanlarına bakıldığında ilk 3 periyotta OPA'nın üst sınırına kadar zorlandığı ve OPA'nın üstünde orman alanlarının gençleştirmeye alındığı görülmektedir. Son iki periyotta ise OPA'nın altında orman alanı gençleştirmeye ayrılmıştır. ST2 planlama stratejisi amaç fonksiyonunda, ST1 planlama stratejisinden farklı olarak su üretiminden elde edilecek karın da maksimize edilmesi mevcuttur fakat bu durum modelin kesim planını pek etkilememiştir. ST1 ile ST2 planlama stratejilerinin amaç fonksiyon değerlerindeki fark su miktarından elde edilen gelirden kaynaklanmaktadır. Model ST1 planlama stratejisine benzer miktarlarda orman alanlarını gençleştirmeye almıştır (Şekil 3.5).



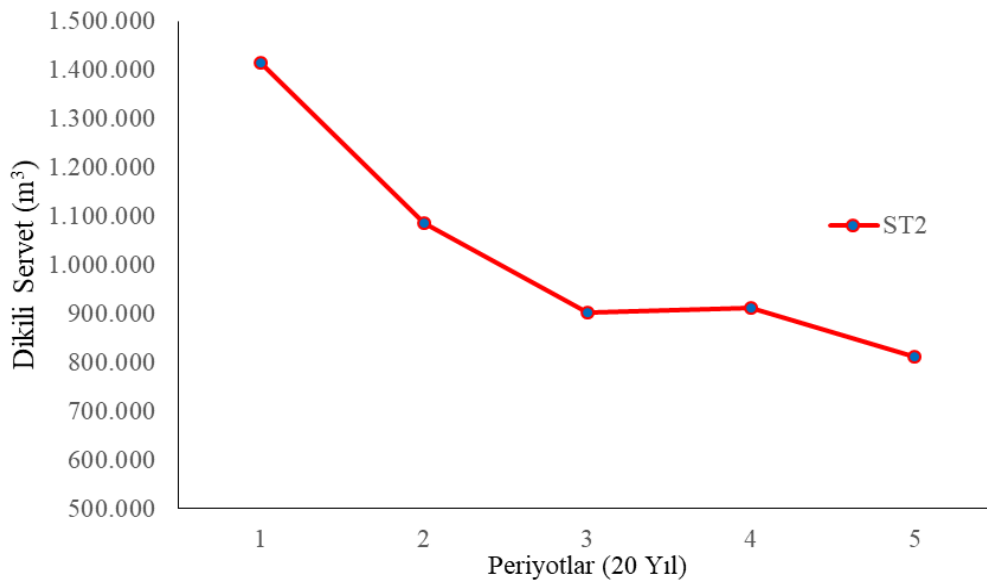
Şekil 3.5. ST2 planlama stratejisine göre periyotlarda gençleştirilen alan miktarları.

ST2’de planlama ufku boyunca son hasılat ve ara hasılat etalarıyla ormandan alınan envallerin ürün çeşitleri bakımından dağılımına bakıldığında, tomruk miktarının tüm ürün grubu içerisinde %30’luk bir orana sahip olduğu, yakacak odun üretiminin %29 ve maden direği üretiminin de %28,3 olduğu görülmektedir. ST2’de de en az üretilen ürün çeşidi %12,7’lik oranla sanayi odunu olmuştur (Çizelge 3.9).

Çizelge 3.9. ST2 planlama stratejisine göre üretilen odun ürün çeşitleri dağılımı.

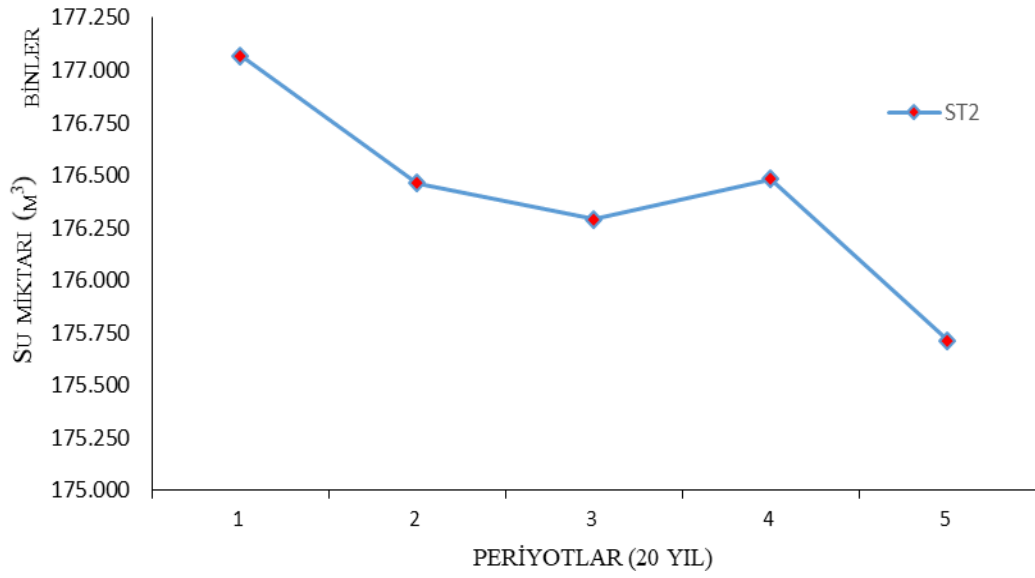
Periyot No	Ürün Çeşitleri				Toplam m ³
	Tomruk m ³	Maden Direği m ³	Sanayi Odunu m ³	Yakacak Odun m ³	
1P	546124	222703	155000	243374	1167201
2P	466129	193747	114322	207347	981544
3P	128574	307283	132084	216307	784248
4P	125826	330249	117268	338297	911640
5P	214521	341630	110167	427618	1093936
Toplam	1481174	1395612	628841	1432942	4938569

ST2 planlama stratejisinde geliştirilen orman alanları ve bu alanlardan elde edilen etalara bağlı olarak, Sadece 4. Periyotta bir önceki periyota göre küçük bir artış meydana gelirken, diğer periyotlarda planlama birimi dikili servet miktarlarında azalmalar olmuştur. Plan ufku boyunca dikili servet miktarında yaklaşık %42,7 oranında azalma meydana gelmiştir (Şekil 3.6).



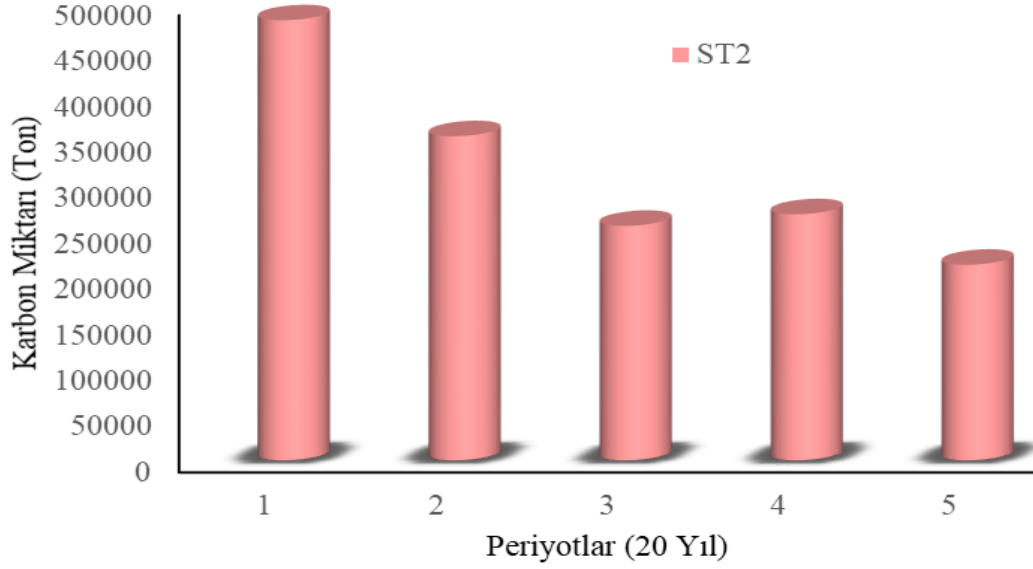
Şekil 3.6. ST2 planlama stratejisi dikili servet miktarlarındaki değişimler.

ST2 planlama stratejisine göre üretilen su miktarlarına bakıldığında ise, küçük miktarlarda değişimler olduğu ilk 3 periyotta yaklaşık % 0,5 oranında düşüşlerin olduğu görülmektedir. 4. periyotta bir önceki periyota göre hafif bir yükseliş olsa da son periyotta dikili servet miktarındaki düşüğe bağlı olarak, su miktarında da yaklaşık %1'e yakın bir düşüş meydana gelmiş ve başlangıçtaki su üretiminin yaklaşık 2 milyon m³ altında bir su üretimi gerçekleşmiştir. Planlama yörüngesi boyunca toplam olarak 882 216 000 m³ su üretimi gerçekleşmiştir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. ST2 planlama stratejisine göre planlama ufku boyunca üretilen su miktarları.

ST2 planlama stratejisine göre ormandaki toprak üstü biyokütlede bağlanan karbon miktarlarına bakıldığında, 4. periyotta hafif bir artışın meydana geldiği diğer periyotlarda ise bağlanan karbon miktarının azaldığı görülmektedir. Gençleştirilen alan miktarının OPA üst sınırına yakın olması, ormandan alınan eta miktarının da ormandaki artım miktarından fazla olması bağlanan karbon miktarının azalmasına sebep olmuştur. Planlama birimi başlangıcındaki karbon miktarına göre, plan ufku sonunda yaklaşık %55,5 oranında bağlanan karbon miktarında düşüş gerçekleşmiştir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. ST2 planlama stratejisine göre periyodik olarak bağlanan karbon miktarları.

STRATEJİ 3 (ST3)'te amaç fonksiyonu olarak odun üretiminin yanında karbon birikiminden elde edilecek kârın maksimize edilmesine yönelik planlama stratejisi geliştirilmiştir. Bu stratejide de OPA kısıtı vardır ve periyodik eta dalgalanmasını kontrol altına almak için de periyodik eta dalgalanması kısıtı en fazla %20 fark olacak şekilde modele eklenmiştir ve model çalıştırılmıştır. Bu kısıtlara bağlı olarak çalıştırılan model işletme amacına göre en uygun optimal çözüme ulaşmış ve amaç fonksiyon değerini yıllık 2 070 121 TL olarak bulmuştur. Bağlanan karbon miktarının amaç fonksiyon değerine etkisi çok az olmuştur. ST1 planlama stratejisinden yaklaşık yıllık 28 500 TL fazla amaç fonksiyon değeri elde edilmiştir. Amaç fonksiyon değerindeki bu artış bağlanan karbon miktarından kaynaklanmaktadır. Karbon için belirlenen 5 TL/m³ değerinin odun ürün çeşitlerine oranla küçük bir değer olması, modelin amaç fonksiyonunu artırmak için modelin ara veya son hasılatla meşcerelerde kesim yapmasını engellememektedir. Ormanda dikili haldeki servetin bağlayacağı karbondan elde edilecek gelir yerine, kesim yapılarak elde edilen odun çeşitlerinin satışından sağlanacak kar daha ağır basmaktadır. Zengin ve Ünal [110] yaptıkları çalışmada düşük karbon değerlerinin odun üretiminin eniyilenmesini amaçlayan bir stratejiyi çok etkilemediğini, bununla birlikte yüksek karbon değerleri olması durumunda kesim planında yapılacak değişikliklerle çok daha fazla kar elde edilebileceğini belirtmiştir. Bu planlama stratejisinde elde edilen gelirlere her ne kadar işletme amacı olmamakla birlikte su üretimi gelirlerinin eklenmesi durumunda yıllık ortalama gelir miktarı 4 329

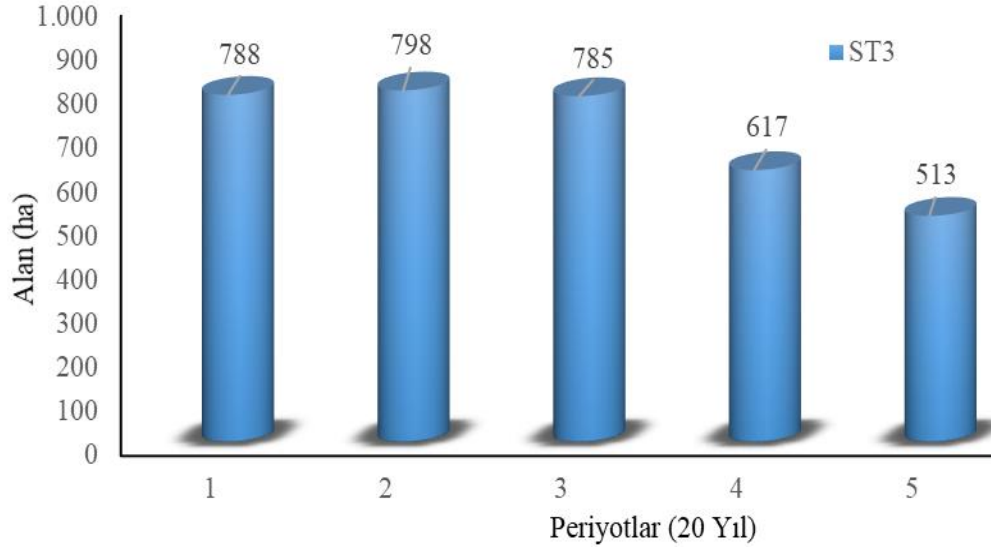
677 TL'ye yükselmektedir. Su miktarından elde edilen gelir amaç fonksiyon değerini %100'den daha fazla arttırabilmektedir.

ST3 planlama stratejisine göre elde edilen ürün miktarlarına bakıldığında gençleştirme ile elde edilen eta miktarının bakım etasına göre çok yüksek olduğu görülmüştür. İlk 3 periyot boyunca gençleştirme etasında miktar olarak düşüş görülürken son iki periyotta artış meydana gelmiştir. Bakım etası ise 3. periyotta artış göstermesine rağmen planlama ufku boyunca genellikle azalmıştır. ST3 planlama stratejisinden planlama ufku boyunca elde edilen toplam eta miktarı 4 915 293 m³ olarak bulunmuştur ve bu etanın %92,5'i gençleştirme etasından oluşmaktadır (Çizelge 3.10).

Çizelge 3.10. ST3 planlama stratejisine göre elde edilen eta miktarları.

Periyotlar	Ara Hasılat		Son Hasılat		Toplam Eta
	m ³	%	m ³	%	m ³
1P	117020	10,0	1050691	90,0	1167711
2P	76020	7,8	900981	92,2	977001
3P	82860	10,6	698740	89,4	781600
4P	70413	7,8	833669	92,2	904082
5P	23837	2,2	1061062	97,8	1084899
Toplam	370150	7,5	4545143	92,5	4915293

ST3 planlama stratejisinde son hasılat etasına konu olan orman alanlarına bakıldığında bundan önceki stratejilerde olduğu gibi ilk 3 periyotta OPA değerinin üstünde orman alanları gençleştirilmiştir (Şekil 3.9). ST3 planlama stratejisinde odun gelirinin yanında karbon gelirinin de maksimize edilmesi amacı, planlama modelinin kesim düzenini pek etkilememiş ve model odundan elde edilecek karı maksimize etmek için ilk 3 periyotta OPA'nın üstünde orman alanlarını gençleştirmeye almıştır. ST1 planlama stratejisine yakın miktarlarda alanları gençleştirmeye alan ST3 planlama stratejisi, ST2 planlama stratejisiyle aynı miktarlarda orman alanlarını gençleştirmeye tabi tutmuştur.



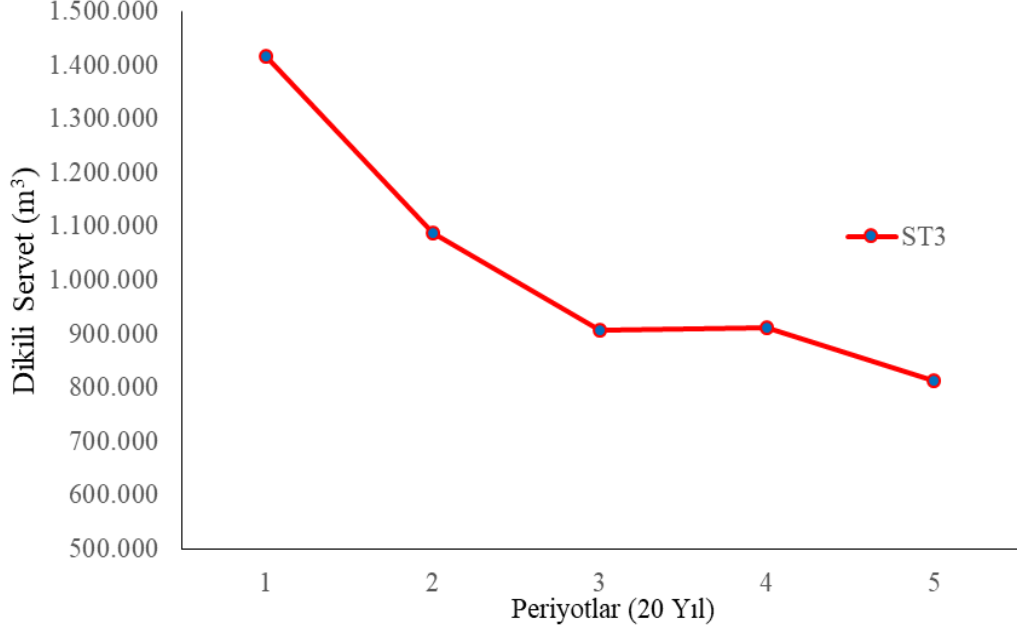
Şekil 3.9. ST3 planlama stratejisine göre periyotlarda gençleştirilen alan miktarları.

ST3 planlama stratejisinde 100 yıllık planlama ufku boyunca son hasılat ve ara hasılat etalarıyla ormandan alınan orman emvallerinin ürün çeşitlerine göre dağılımına bakıldığında, tomruk miktarının tüm ürün grupları arasında yaklaşık %30,1'lik bir orana sahip olduğu, yakacak odun üretiminin %29,0, maden direği üretiminin %28,3 ve sanayi odunu üretiminin de %12,7'lik bir orana sahip olduğu görülmektedir (Çizelge 3.11).

Çizelge 3.11. ST3 planlama stratejisine göre üretilen odun ürün çeşitleri dağılımı.

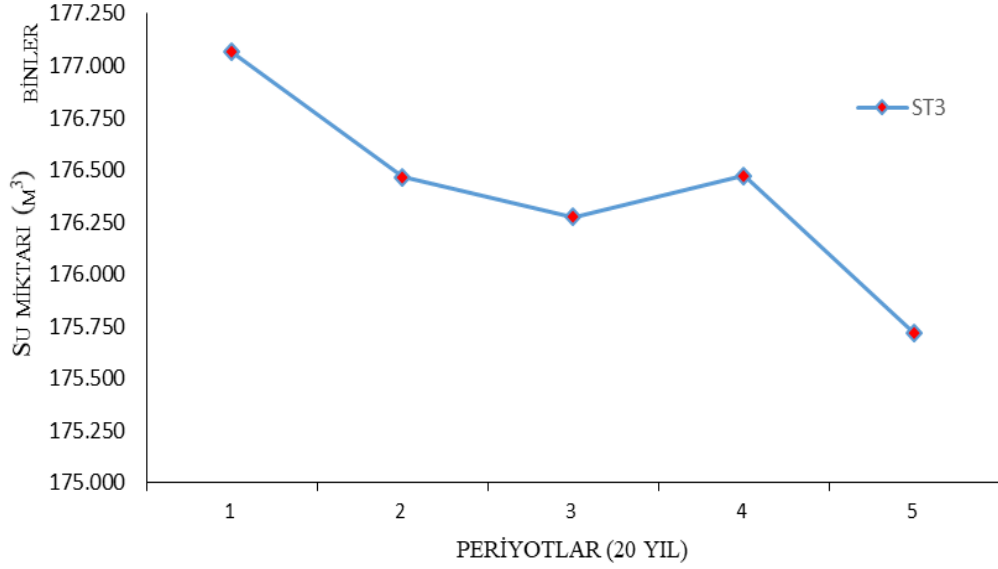
Periyot No	Ürün Çeşitleri				Toplam
	Tomruk m ³	Maden Direği m ³	Sanayi Odunu m ³	Yakacak Odun m ³	
1P	546124	222715	154995	243381	1167217
2P	466129	191678	113489	206061	977356
3P	128986	305038	131077	215808	780909
4P	125168	327333	116187	335786	904474
5P	212622	339082	109397	424237	1085339
Toplam	1479029	1385846	625145	1425274	4915294

ST3 planlama stratejisinde gençleştirilen orman alanları ve bu alanlardan elde edilen etalara bağlı olarak, planlama birimi dikili servet miktarlarında genellikle azalmalar meydana gelmiştir. Dikili servet miktarında sadece 3. periyotta bir önceki periyota göre hafif bir yükselme meydana gelmiştir. Plan ufku sonunda başlangıçtaki dikili servetten yaklaşık %42,6 oranında azalma meydana gelmiştir (Şekil 3.10).



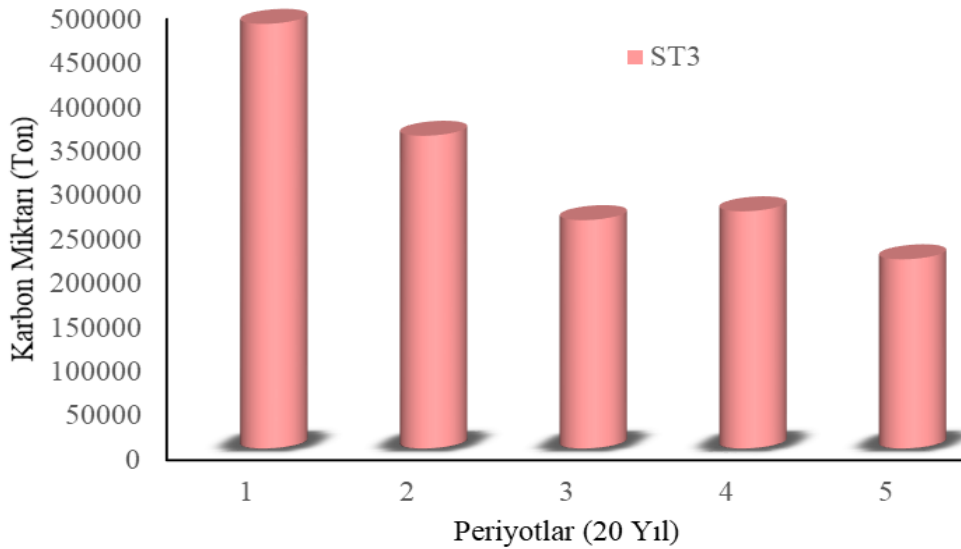
Şekil 3.10. ST3 planlama stratejisi dikili servet miktarlarındaki değişimler.

ST3 planlama stratejisine göre üretilen su miktarlarına bakıldığında ise periyotlar arası % 1'den daha küçük oranlarda değişimlerin olduğu görülmektedir. Su miktarı değerlerinin çok yüksek olması dolayısıyla su miktarındaki değişimlerin %1 civarında olması değişimin olmadığı düşüncesini akla getirebilir fakat buradaki %1 oranı yaklaşık 2 milyon m³ su miktarına karşılık gelmektedir. İlk üç periyotta su miktarında azalma olurken, dördüncü periyotta hafif bir yükselme meydana gelmiş fakat son periyotta daha keskin bir azalma olmuştur. Planlama birimi dikili servet miktarının 3. periyottan 4. periyota geçişteki yükselişi, 4. periyotta üretilen su miktarını önceki periyota göre biraz arttırmıştır fakat son periyotta yine azalma meydana gelmiştir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. ST3 planlama stratejisine göre planlama ufku boyunca üretilen su miktarları.

ST3 planlama stratejisinin gençleştirilen alan miktarları OPA miktarının altında olmasına rağmen, alınan eta miktarlarının ormanda meydana gelen artımdan yüksek olması sebebiyle toprak üstü biyokütle miktarı azalmış ve bağlanan karbon miktarları da tüm periyotlarda azalış göstermiştir. Bağlanan karbon miktarları azalmasına rağmen, ST1 planlama stratejisinden farklı olarak daha düşük etaların alınması sağlanmış ve bağlanan karbon miktarındaki azalmanın şiddeti azaltılmıştır. Planlama biriminin başlangıçtaki karbon miktarı, belirlenen kesim planı ve alınan etalar neticesinde 100 yıl sonunda yaklaşık %44 oranında azalmıştır (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. ST3 planlama stratejisine göre periyodik olarak bağlanan karbon miktarları.

STRATEJİ 4 (ST4) planlama stratejisinde amaç fonksiyonu olarak odun üretimi, su miktarı ve karbon birikiminin elde edilecek kârın maksimize edilmesi amaçlanmıştır ve bu yönde amaç fonksiyonunda düzenlemeler yapılmıştır. Bu stratejide de OPA kısıtı bulunmaktadır ve böylelikle planlama ufku sonunda, planlama birimimizde birbirine yakın yaş sınıfları dağılımının olması sağlanmış olacaktır. Periyotlar arası eta akışını kontrol etmek adına da en fazla %20 eta dalgalanması olacak şekilde periyodik eta dalgalanması modele kısıt olarak eklenmiş ve model çalıştırılmıştır. Optimal çözümün elde edilmesiyle ST4 planlama stratejisinde amaç fonksiyon değeri yıllık 4 329 677 TL olarak bulunmuştur. Burada odun üretiminden elde edilen gelir ST1 amaç fonksiyon değerine çok yakındır. Bu stratejide de karbon geliri, odun ve su gelirine göre çok düşük bir paya sahipken, en yüksek gelir su üretiminden elde edilmiştir.

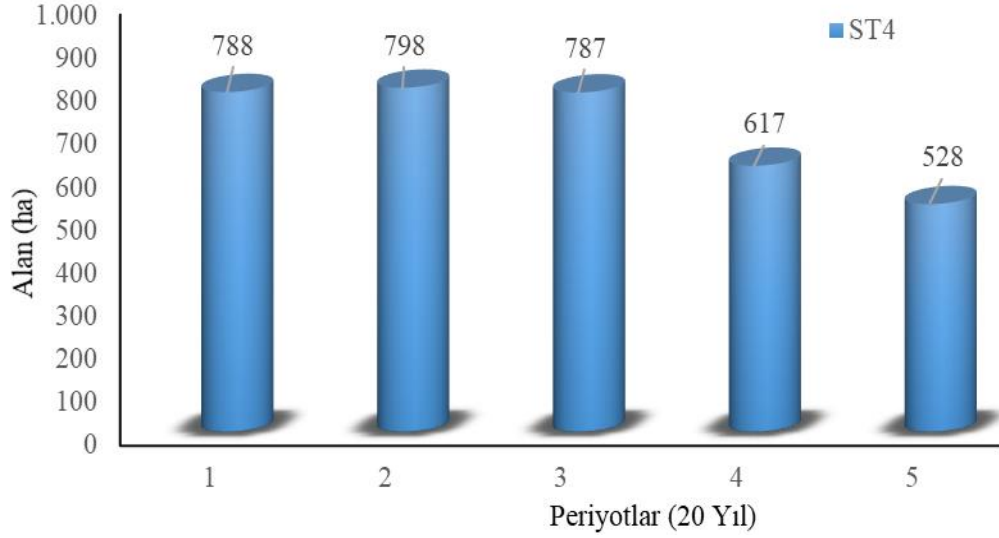
ST4 planlama stratejisine göre elde edilen eta miktarlarına bakıldığında ara hasılat etasının gençleştirme ile elde edilen eta miktarının çok altında olduğu görülmektedir. En düşük son hasılat etası 3. periyotta gerçekleşirken en yüksek son hasılat etası da 5. periyotta alınmıştır. Ara hasılat bakımından en yüksek bakım etası ilk periyotta alınırken en düşük bakım etası ise son periyotta alınmıştır. ST4 planlama stratejisinde, planlama ufku boyunca elde edilen toplam eta miktarı 4 935 961 m³'tür ve bu miktarın %92,7'si gençleştirme etalarından oluşmaktadır. Ara hasılat etası ise toplam etanın %7,3'ünü oluşturmaktadır. (Çizelge 3.12)

Çizelge 3.12. ST4 planlama stratejisine göre elde edilen eta miktarları.

Periyotlar	Ara Hasılat		Son Hasılat		Toplam Eta
	m ³	%	m ³	%	m ³
1P	116314	10,0	1050691	90,0	1167005
2P	73486	7,5	900981	92,5	974467
3P	77872	10,0	701702	90,0	779574
4P	70636	7,7	845234	92,3	915870
5P	23374	2,1	1075671	97,9	1099045
Toplam	361682	7,3	4574279	92,7	4935961

ST4 planlama stratejisinde gençleştirmeye konu edilen alanlar incelendiğinde ilk üç stratejide olduğu gibi benzer bir kesim düzeninin olduğu görülmektedir. İlk 3 periyotta OPA'nın üstünde orman alanı geliştirilirken son iki periyotta OPA'nın altında orman alanları gençleştirmeye konu edilmiştir. Amaç fonksiyonu olarak belirlenen odun üretimi, su miktarı ve karbondan elde edilecek kârın maksimize edilmesi, kesim

düzeninde pek değişikliğe neden olmadan model tarafından gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. ST4 planlama stratejisine göre her bir periyotta gençleştirilen orman alanları.

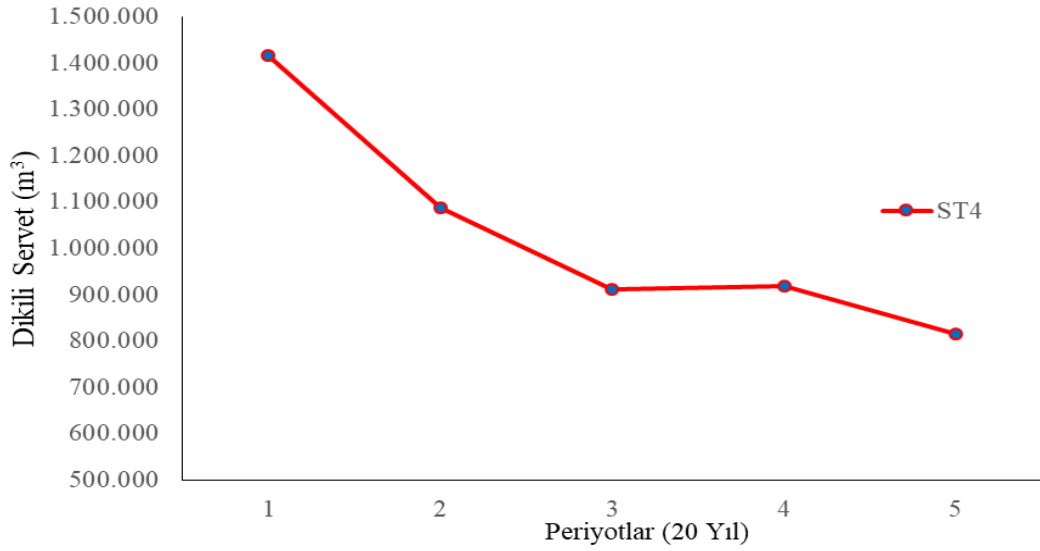
ST4 planlama stratejisinde 100 yıllık planlama yörüngesinde alınan bu etaların orman ürün çeşitlerine dağılımına bakıldığında, tomruk miktarının alınan tüm etanın yaklaşık üçte birini oluşturduğu görülmektedir. Tomruk miktarını yakacak odun üretimi %29,0'lık oranla takip ederken, maden direği üretimi %28,2 ve sanayi odunu üretiminin de %12,7'lik bir orana sahip olduğu görülmektedir (Çizelge 3.13).

Çizelge 3.13. ST4 planlama stratejisine göre üretilen odun ürün çeşitleri dağılımı.

Periyot No	Ürün Çeşitleri				Toplam
	Tomruk	Maden Direği	Sanayi Odunu	Yakacak Odun	
	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³
1P	546124	222367	154303	243165	1165959
2P	466129	190426	112984	205283	974823
3P	128920	304243	130798	214913	778875
4P	125210	333089	118494	339470	916263
5P	215251	343851	111127	429255	1099484
Toplam	1481635	1393976	627706	1432087	4935404

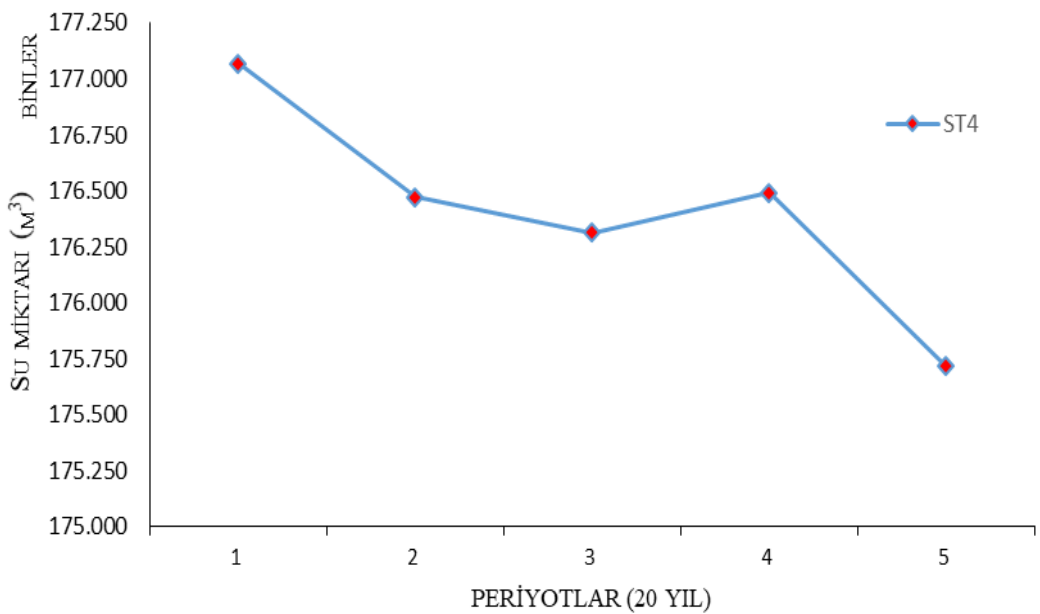
ST4 planlama stratejisinde gençleştirilen orman alanları ve bu alanlardan elde edilen emvallere bağlı olarak, planlama birimi dikili servet miktarlarında 4 periyotta bir önceki periyota göre hafif bir yükseliş meydana gelmişken, diğer periyotların hepsinde dikili

servet miktarı azalmıştır. Planlama ufku sonunda başlangıçtaki dikili servete göre yaklaşık %42,4 oranında azalma gerçekleşmiştir (Şekil 3.14).



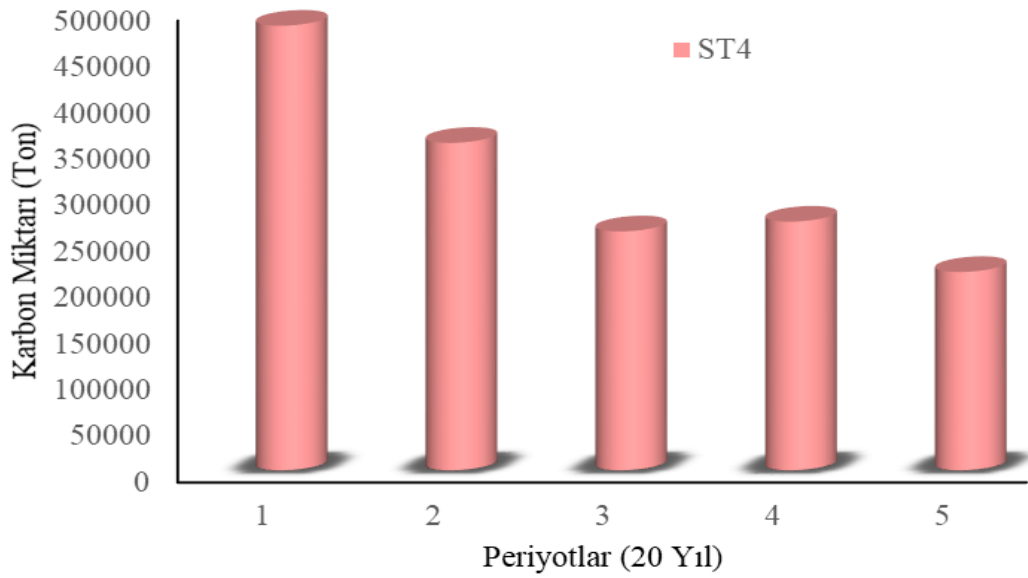
Şekil 3.14. ST4 planlama stratejisi dikili servet miktarlarındaki değişimler.

ST4 planlama stratejisinde planlama biriminden üretilen su miktarları incelendiğinde, ilk 3 periyotta dikili servet miktarındaki azalmaya paralel olarak düşüş yaşanırken, 4. periyotta küçük bir artış meydana gelmiştir fakat son periyotta diğer periyotlara oranla ciddi bir düşüş gerçekleşmiştir. Planlama yörüngesi boyunca 100 yıllık süreçte planlama biriminden toplam 882 263 500 m³ su üretimi gerçekleşmiştir (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. ST4 planlama stratejisine göre planlama ufku boyunca üretilen su miktarları.

Su üretiminin yanında planlama biriminde karbon miktarı da amaç fonksiyonunda dikkate alınmış ve periyotlar itibariyle karbon miktarı değerlerinin nasıl değişim gösterdiği incelenmiştir. ST4 planlama stratejisinde de gençleştirilen alanlardan elde edilen eta miktarlarının ormandaki artım miktarından yüksek olması dikili servetin düşmesine ve aynı zamanda bağlanan karbon miktarının da azalmasına sebep olmuştur. Planlama biriminde başlangıçta toprak üstü biyokütlede bağlanan karbon miktarı 481 517 m³ iken, planlama ufku sonunda bağlanan karbon miktarı yaklaşık %55,4 oranında azalmış ve 214 855 m³'e düştüğü belirlenmiştir (Şekil 3.16).



Şekil 3.16. ST4 planlama stratejisine göre periyodik olarak bağlanan karbon miktarları.

STRATEJİ 5 (ST5) planlama stratejisinde amaç fonksiyonu olarak odun üretimi ve su miktarından elde edilecek geliri maksimize ederken, su kalitesinin de periyotlar itibariyle değişiminin incelenmesine yönelik planlama stratejisi geliştirilmiştir. ST5 stratejisinde OPA kısıtı kullanılmıştır. Ayrıca diğer planlama stratejilerinde olduğu gibi bu strateji de eta akışının kontrol edilebilmesi amacıyla %20'lik eta dalgalanması kısıtı modele eklenmiştir. Amaç fonksiyonu bakımından ST2 planlama stratejisi ile aynı olmakla beraber, özellikle su kalitesi parametrelerinin dikkate alınmasının amaç fonksiyon değerine ve kesim planına etkileri belirlenmek istenmiştir. Su kalite parametresi olarak daha önceki bölümlerde de belirtildiği gibi, üç kalite parametresi kullanılmıştır. Su kalite parametresi olarak modele eklenen askıda katı madde (AKM), pH ve nitrat değerlerinin planlama yörüngesi boyunca ormana yapılan müdahaleler sonucunda periyodik olarak nasıl değiştiği belirlenmeye çalışılmıştır. Bu kısıtlar ve

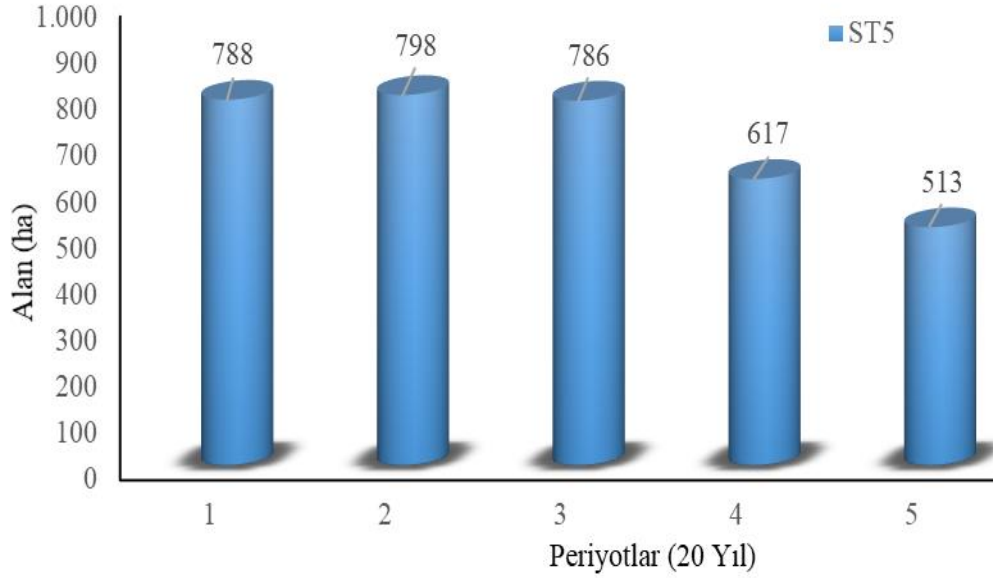
amaç fonksiyonuna göre koşturulan model en uygun çözüme ulaşmış ve amaç fonksiyon değerini yıllık 4 298 656 TL olarak bulmuştur. Bu planlama stratejisinde karbon geliri eklenmemiştir. Karbon gelirlerinin eklenmesi durumunda amaç fonksiyon değeri yıllık ortalama 4 329 879 TL olarak gerçekleşmektedir. Odun geliri yıllık 2 040 046 TL iken, su geliri yıllık ortalama 2 258 610 TL olarak gerçekleşmiştir. Bu stratejide de diğer stratejilerde olduğu gibi en fazla gelirin su üretiminden elde edildiği görülmektedir.

ST5 planlama stratejisine göre elde edilen eta miktarlarına bakıldığında bundan önceki stratejilerde de olduğu gibi ara hasılat etalarının, gençleştirme ile elde edilen eta miktarlarından çok düşük olduğu görülmektedir. Gençleştirme etası sadece 3. Periyotta miktar olarak azalış gösterirken, bakım etasında ise değişken bir durum olmakla beraber azalan bir eta akışının olduğu görülmektedir. ST5 planlama stratejisinde, planlama ufku sonunda elde edilen toplam eta miktarı 4 929 412 m³'tür ve bu miktarın yaklaşık %92,6'sı gençleştirme etalarından oluşmaktadır (Çizelge 3.14).

Çizelge 3.14. ST5 planlama stratejisine göre elde edilen eta miktarları.

Periyotlar	Ara Hasılat		Son Hasılat		Toplam Eta
	m ³	%	m ³	%	m ³
1P	116995	10,0	1050691	90,0	1167686
2P	76374	7,8	900981	92,2	977355
3P	76892	9,8	704992	90,2	781884
4P	70448	7,7	839773	92,3	910221
5P	23632	2,2	1068634	97,8	1092266
Toplam	364341	7,4	4565071	92,6	4929412

Gençleştirmeye konu olan ve her bir periyotta gençleştirilen orman alanlarına bakıldığında ST5 planlama stratejisinde de ilk 3 periyotta OPA miktarının üstünde orman alanları gençleştirmeye konu edilirken sonraki iki periyotta OPA miktarının altında orman alanları gençleştirilmiştir. ST2 planlama stratejisiyle aynı amaç fonksiyonuna sahip olan ST5 planlama stratejisi, sadece 3. periyotta ST2 planlama stratejisinden farklı ve daha düşük miktarda alanı gençleştirmeye konu etmiştir. Kalite parametrelerinin dikkate alınması kesim düzeninde çok fazla etkilememiştir (Şekil 3.17).



Şekil 3.17. ST5 planlama stratejisine göre her bir periyotta gençleştirilen orman alanları.

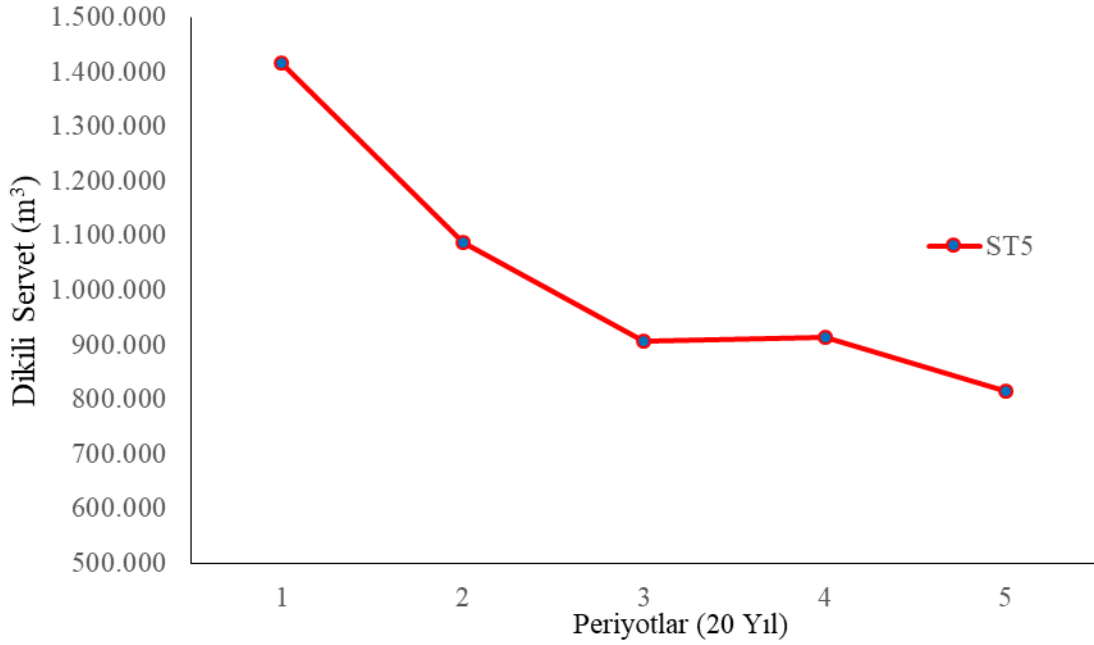
Model bu stratejide odun üretiminden elde edilen gelirin yanında, su üretiminden elde edilecek geliri de arttırmaya yönelik kesim düzeni yapmış ve geliri maksimize etmeye çalışmıştır. Planlama modeli amaç fonksiyonunda yapılan değişikliklere göre geliri maksimize etmiş fakat OPA kısıtı olan ilk 5 strateji de amaç fonksiyonundaki değişimler modelin kesim düzenini çok etkilememiştir. Kalite parametrelerinin dikkate alınmasının da kesim düzenine pek etkisi olmamıştır.

ST5 planlama stratejisinde alınan etaların orman ürün çeşitlerine göre dağılımlarına bakıldığında, tomruk miktarının alınan tüm etanın % 30,0'ını oluşturduğu görülmektedir. Tomruk miktarını yakacak odun üretimi %29,0, maden direği üretimi %28,2 ve sanayi odunu üretimi de %12,7'lik bir oranla takip etmektedir (Çizelge 3.15).

Çizelge 3.15. ST5 planlama stratejisine göre üretilen odun ürün çeşitleri dağılımı.

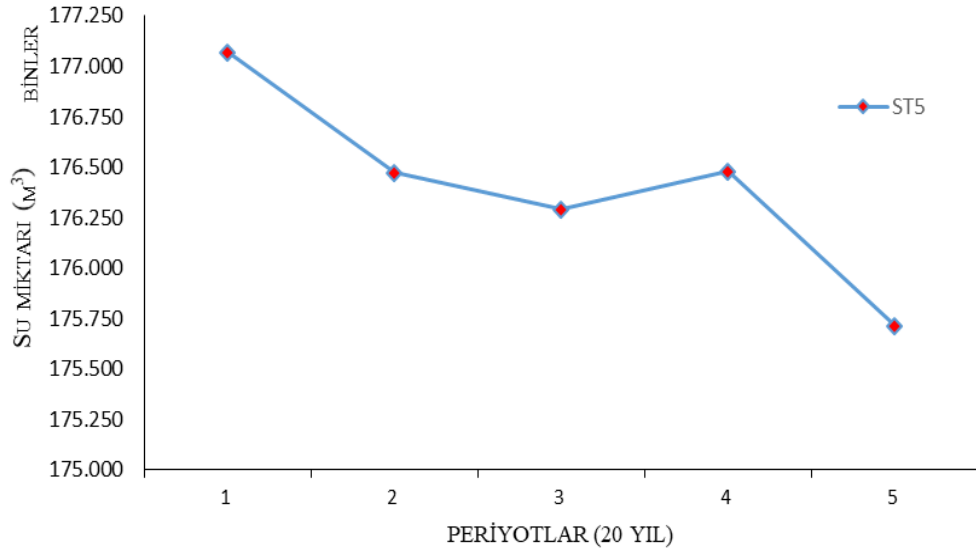
Periyot No	Ürün Çeşitleri				Toplam m ³
	Tomruk m ³	Maden Direği m ³	Sanayi Odunu m ³	Yakacak Odun m ³	
1P	546124	222703	154445	243374	1166646
2P	466129	191853	113559	206170	977710
3P	128908	305431	131286	215557	781183
4P	125212	330289	117364	337749	910615
5P	214258	341262	110061	427125	1092705
Toplam	1480632	1391538	626715	1429974	4928859

ST5 planlama stratejisinde gençleştirilen orman alanları ve bu alanlardan elde edilen ürün miktarlarına bağlı olarak, planlama birimi dikili servet miktarlarında 4. periyot hariç diğer periyotlarda azalmalar meydana gelmiştir. Planlama ufku sonunda başlangıçtaki dikili servete göre yaklaşık %42,4 oranında azalma gerçekleşmiştir (Şekil 3.18).



Şekil 3.18. ST5 planlama stratejisi dikili servet miktarlarındaki değişimler.

ST5 planlama stratejisine göre planlama biriminden üretilen su miktarları incelendiğinde ise, önceki 4 stratejide olduğu gibi küçük oranlarda değişimlerle, ilk 3 periyotta azalma, 4. periyotta küçük bir artış ve son periyotta diğer periyotlara göre çok daha bariz bir düşüş yaşanmıştır. Plan ufku sonunda 100 yıllık süreçte planlama biriminden toplam 882 223 600 m³ su üretimi gerçekleşmiştir (Şekil 3.19).



Şekil 3.19. ST5 planlama stratejisine göre planlama ufku boyunca üretilen su miktarları.

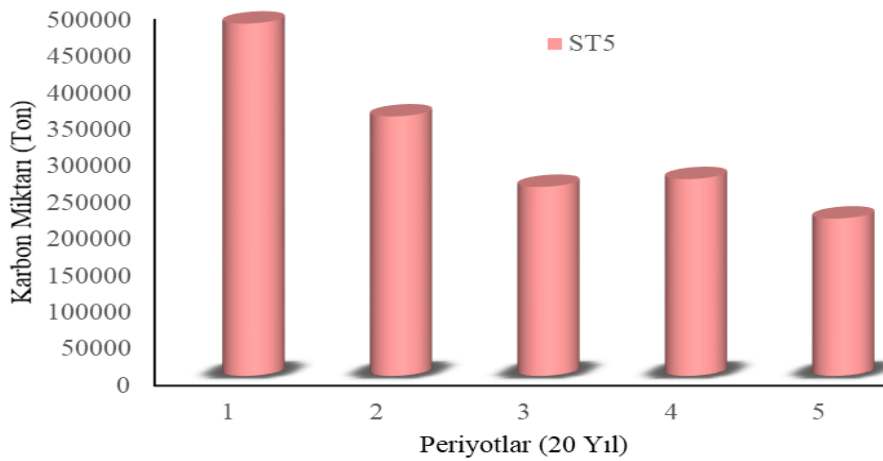
ST5 planlama stratejisinde, su üretiminin yanında planlama birimindeki su kalite parametrelerinin periyodik olarak değişimleri de incelenmiştir (Çizelge3.16). Orman formu, ağaç türü, meşcerelerin gençleştirilme sırası, bakım şekli gibi durumlar su kalitesi üzerinde etkiye sahiptir. Bu bağlamda su ve odun gelirinin maksimize edilmesinin amaçlandığı ST5 planlama stratejisinde kalite parametrelerinden pH'nın tüm periyotlarda asidik olduğu görülmektedir. pH değeri 0-14 arasında değişmekte olup bu değer doğal sularda 4-9 arasındadır. Su kirliliği kontrol yönetmenliğinde ise sularda pH değerinin 6,0-9,0 arasında olması gerekliliği belirtilmekte olup I. sınıf suların pH değerinin ise 6,5-8,5 olması gerektiği vurgulanmaktadır. Bu bağlamda değerlendirildiğinde doğal sularda olması gereken aralıkta bulunan pH değerleri, su kirliliği kontrol yönetmeliğine göre tüm periyotlar boyunca düşük bir seyir göstermiştir. Su içerisinde çökebilir veya çökemeyen katı maddelerin oluşturduğu askıda katı madde, suyun debi ve taneciklerin boyutlarına göre su ile taşınabilmektedirler. Özellikle akarsularda ani sel ve taşkın durumlarında çok fazla miktarda askıda katı madde taşınması mümkün olabilmektedir. Su kirliliği kontrol yönetmeliğinde I. sınıf sular için toplam çözülmüş askıda katı madde miktarı 0,5 g/L'yi geçmemesi gerektiği vurgulanmaktadır. Planlama yörüngesi boyunca 20 yıllık periyotlarda AKM değerinin olması gereken değerler arasında olduğu görülmektedir. Nitrat bitkiler için büyümede etkili olan bir faktördür. Doğal sularda yüksek konsantrasyon halinde bulunmadığı sürece toksik bir etki yaratmamakta ve bitkiler tarafından kullanılabilir. Nitrat'ın sulardaki normal değerinin 10 mg/L den az olması istenmektedir. Planlama biriminde

planlama ufku boyunca nitrat miktarlarının istenilen aralıkta olduğu ve 2,4-2,9 mg/L aralığında değiştiği belirlenmiştir.

Çizelge 3.16. ST5 planlama stratejisine göre planlama ufku boyunca kalite parametrelerinin değişimi.

Periyotlar	Kalite Parametreleri		
	pH	AKM g/L	Nitrat (NO ₃) ⁻ mg/L
1P	4,901	0,186	2,432
2P	4,848	0,182	2,700
3P	4,900	0,181	2,746
4P	4,920	0,178	2,896
5P	5,010	0,177	2,975

ST5 planlama stratejisinde uygulanan kesim planı ve alınan etalar sonucunda planlama birimindeki karbon birikim değerlerinin nasıl bir değişim gösterdiği amaç fonksiyonunda yer almamasına rağmen incelenmiştir. Bu planlama stratejisinde gençleştirilen alanlara bağlı olarak özellikle son hasılat eta miktarlarının ormandaki artımın çok üzerinde olması sebebiyle periyotlarda bağlanan karbon miktarları genellikle azalış göstermiştir. Sadece 4. Periyotta bir önceki periyota göre küçük bir artış meydana gelmiştir. Bu durum dikili servet ve topraküstü biyokütlede 4. Periyotta meydana gelen küçük artıştan kaynaklanmaktadır. Planlama biriminin başlangıçta bağlanan karbon miktarı ile plan ufku sonunda bağlanan karbon miktarı arasında %55,3 oranında fark vardır. Toprak üstü biyokütledeki azalışa bağlı olarak bağlanan karbon miktarı da azalış göstermiştir (Şekil 3.20).



Şekil 3.20. ST5 planlama stratejisi periyodik bağlanan karbon miktarları.

STRATEJİ 6 (ST6) planlama stratejisinde amaç fonksiyonu olarak odun üretimi, su miktarı ve bağlanan karbon miktarı dikkate alınarak kârı maksimize etmeye yönelik planlama stratejisi geliştirilmiştir. Bu stratejide ST4 planlama stratejisinden farklı olarak kısıtlarda değişiklikler yapılmış ve modelin nasıl davranacağı araştırılmıştır. Bu stratejide OPA kısıtı kaldırılmıştır ve amaç fonksiyonuna yönelik modelin hareket alanı genişletilmiştir. Ayrıca bu stratejide periyotlar arası eta dağılımını düzenlemek için önceki stratejilere eklenen %20'lik periyodik eta kısıtı da kaldırılmıştır. Bu kısıtlar ve amaçlar altında oluşturulan model, bu stratejiye göre en uygun çözüme ulaşmış ve yıllık 5 007 048 TL net kar elde etmiştir. Elde edilen bu kâr miktarının 2 726 836 TL'si odun üretiminden, 26 445 TL'si bağlanan karbon miktarından ve 2 253 767 TL'si de su üretiminden elde edilmiştir. İlk 5 stratejiye göre OPA kısıtı ve periyodik eta kısıtının olmaması odun üretiminden elde edilen gelirin en fazla olmasına sebep olmuştur. Diğer planlama stratejilerinde en fazla gelir elde edilen su üretimi gelir bakımından ikinci sıraya gerilemiştir. Karbondan elde edilen gelir diğer stratejilerde olduğu gibi en azdır.

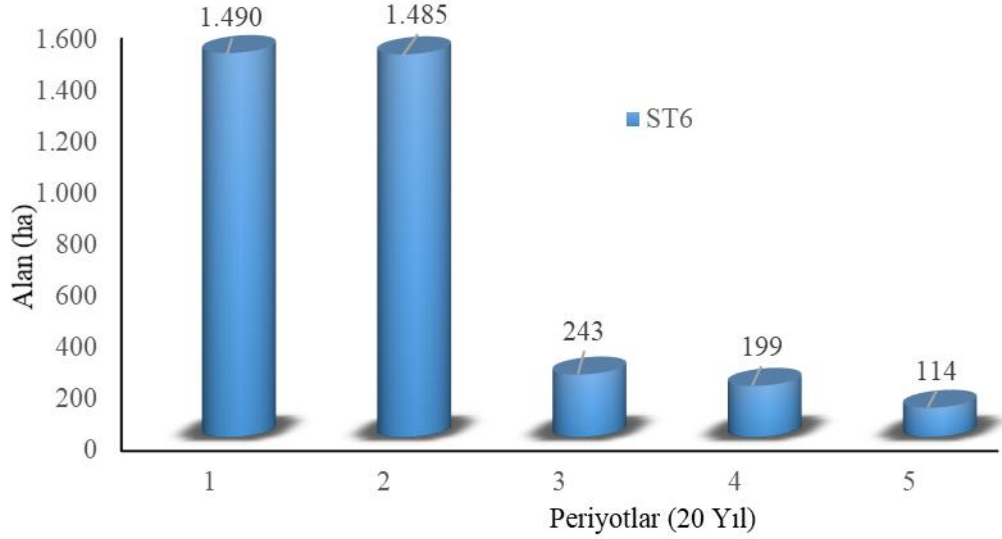
ST6 planlama stratejisine göre elde edilen ürün miktarları incelendiğinde ilk iki periyotta çok yüksek son hasılat etasının alındığı görülmektedir. 3. periyotta en düşük seviyede olan son hasılat eta miktarı son iki periyotta yine artmıştır. Ara hasılat etaları periyotlar boyunca artan azalan bir seyir izlemiştir. ST6 planlama stratejisinde, planlama ufku boyunca elde edilen toplam eta miktarı 4 749 136 m³ olarak bulunmuştur (Çizelge 3.17).

Çizelge 3.17. ST6 planlama stratejisine göre elde edilen eta miktarları.

Periyotlar	Ara Hasılat		Son Hasılat		Toplam Eta
	m ³	%	m ³	%	m ³
1P	64703	3,5	1793626	96,5	1858329
2P	28492	2,4	1157452	97,6	1185944
3P	36503	15,0	207049	85,0	243552
4P	65652	13,5	421451	86,5	487103
5P	31382	3,2	942826	96,8	974208
Toplam	226732	4,8	4522404	95,2	4749136

ST6 planlama stratejisinde gençleştirmeye konu edilen alanlar incelendiğinde ilk iki periyotta gençleştirmeye konu edilen alan miktarı OPA'nın iki katından fazla olduğu görülmektedir. Sonraki periyotlarda ise OPA değerinin çok altında orman alanını gençleştirmeye konu etmiştir (Şekil 3.21). Ormancılıkta pek istenmeyen bir durum olsa

da farklı kesim planı ile farklı miktarda alanlar gençleştirilerek elde edilecek kâr maksimize edilmiştir. Burada özellikle odundan elde edilen kârın yüksek çıkmasında ilk iki periyotta gençleştirilen alan miktarı ve bu ürünlerden elde edilen gelirlerin NBD'sinin yüksek olması etkili olmuştur.



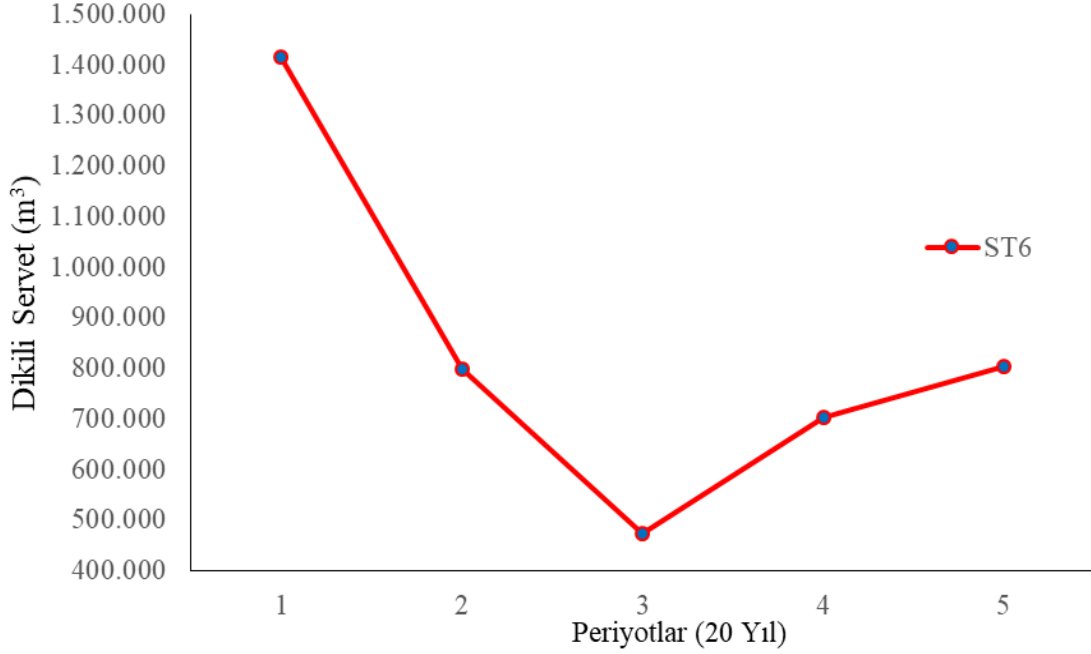
Şekil 3.21. ST6 planlama stratejisine göre her bir periyotta gençleştirilen orman alanları.

ST6 planlama stratejisinde alınan etaların orman ürün çeşitlerine göre dağılımları incelendiğinde, tomruk miktarının alınan tüm etanın %29,3'ünü oluşturduğu görülmektedir. Tomruk miktarını diğer stratejilerde de olduğu gibi %29,0 ile yakacak odun üretimi, %28,6 ile maden direği üretimi ve %13,1 ile de sanayi odunu üretiminin takip ettiği görülmektedir. Tomruk üretiminin tüm ürün içerisinde %30'un altına düştüğü tek strateji ST6 stratejisi olmuştur (Çizelge 3.18).

Çizelge 3.18. ST6 planlama stratejisine göre üretilen odun ürün çeşitleri dağılımı.

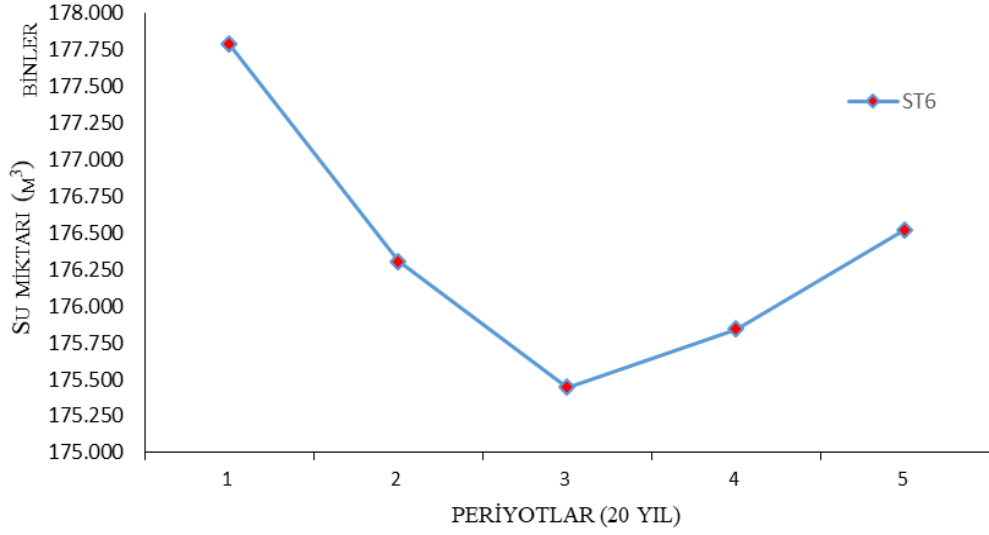
Periyot No	Ürün Çeşitleri				Toplam m ³
	Tomruk m ³	Maden Direği m ³	Sanayi Odunu m ³	Yakacak Odun m ³	
1P	922868	324218	233937	375345	1856368
2P	144723	491967	210540	338854	1186084
3P	32124	89807	35329	86316	243576
4P	85543	154759	50492	196869	487663
5P	205715	296115	93146	379406	974381
Toplam	1390973	1356866	623443	1376791	4748073

ST6 planlama stratejisinde gençleştirilen orman alanları ve alınan etaların özellikle ilk iki periyotta çok yüksek olması planlama birimi dikili servet miktarının üç periyot boyunca ciddi şekilde azalmasına sebep olmuştur. Son iki periyotta ise gençleştirilen alan miktarlarının düşük olması bu periyotlarda dikili servet miktarını arttırmıştır. Planlama ufku sonunda ise başlangıçtaki dikili servete göre yaklaşık %43,3 oranında bir azalma meydana gelmiştir (Şekil 3.22).



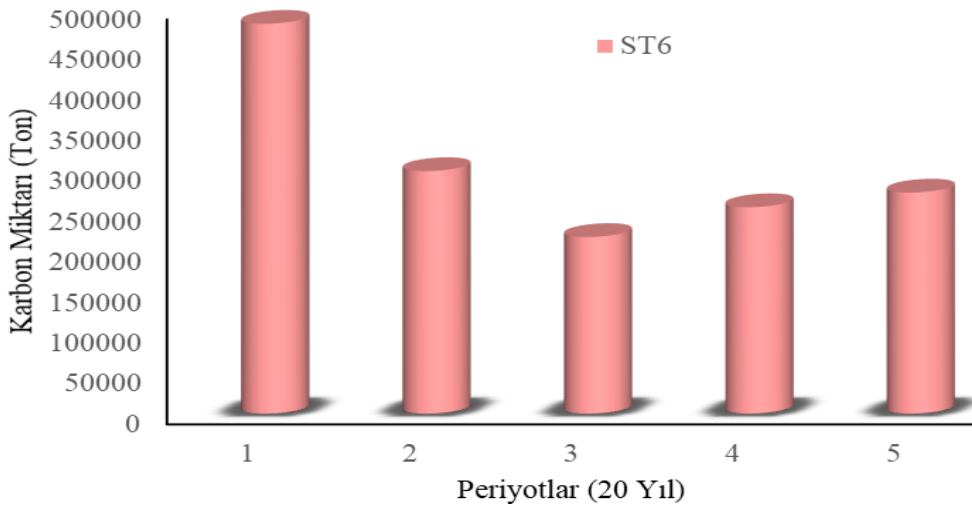
Şekil 3.22. ST6 planlama stratejisi dikili servet miktarlarındaki değişimler.

ST6 planlama stratejisi kapsamında üretilen su miktarları incelendiğinde ise, ilk üç periyotta dikili servet miktarındaki değişime paralel olarak su miktarı düşmüş ve son iki periyotta ise artış göstermiştir. En fazla dikili servet kaybının olduğu strateji olan ST6 planlama stratejisi su üretimi bakımından da son sıradadır ve en az su üretimi gerçekleştiren strateji olmuştur. ST6 planlama stratejisine göre planlama ufku sonunda planlama biriminden toplam 881 913 500 m³ su üretimi gerçekleşmiştir (Şekil 3.23)



Şekil 3.23. ST6 planlama stratejisine göre planlama ufku boyunca üretilen su miktarları.

ST6 planlama stratejisinde odun ve su üretiminin yanında planlama biriminde toprak üstü biyokütlede bağlanan karbon miktarı da amaç fonksiyonunda dikkate alınmış ve periyotlar itibariyle karbon miktarı değerlerinin nasıl değişim gösterdiği belirlenmiştir. ST6 planlama stratejisinde ilk 3 periyotta başlangıçtaki karbon miktarına göre ciddi miktarlarda azalmalar meydana gelmiş ve %55 oranında daha az karbon bağlanmıştır. Son iki periyotta dikili servet miktarındaki artışla birlikte toprak üstü biyokütle miktarı da artmış ve bu durum bağlanan karbon miktarının biraz artmasına sebep olmuştur. Plan ufku sonunda planlama birimi başlangıçtaki karbon miktarına göre yaklaşık %43,3 daha az miktarda karbon bağlanmıştır (Şekil 3.24).



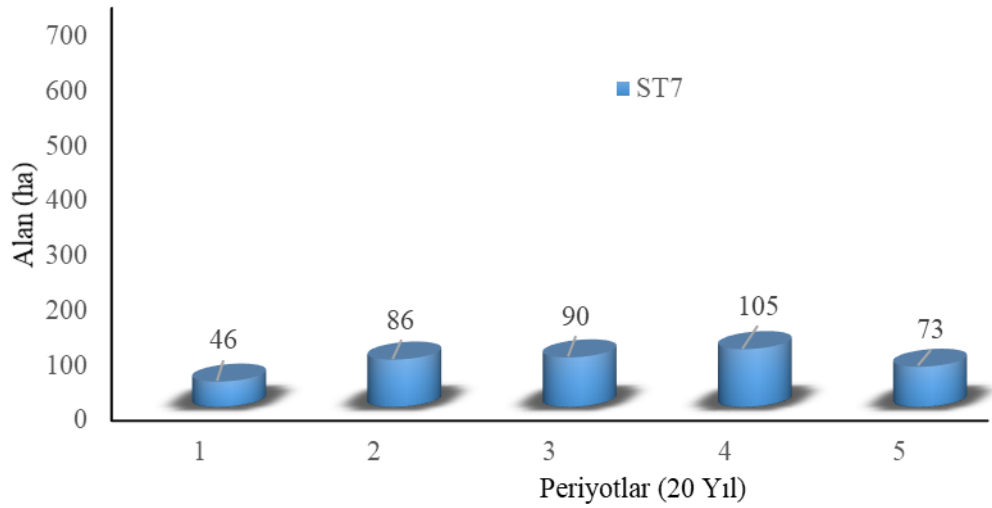
Şekil 3.24. ST6 planlama stratejisi periyodik bağlanan karbon miktarları.

STRATEJİ 7 (ST7) planlama stratejisinde amaç fonksiyonu olarak odun üretimi, su miktarı ve karbon birikiminin de dikkate alındığı, OPA ve periyodik eta dalgalanması kısıtının olmadığı fakat periyodik gençleştirme kısıtının en fazla 100000 m³ olduğu bir planlama stratejisi geliştirilmiştir. Periyodik gençleştirme kısıtıyla hiç bir periyotta son hasılat eta miktarının belirlenen kısıtı aşmaması hedeflenmiştir. Periyodik gençleştirme kısıtıyla toplam son hasılat etası miktarı sınırlandırılırken, bakım etasına yönelik meşcereler için belirlenmiş olan alt ve üst sınırlardan farklı olarak herhangi bir kısıt eklenmemiştir. Diğer stratejilerde olduğu gibi her bir meşcerenin gerektirdiği miktarlarda bakım etası alınabilecektir. ST7 planlama stratejisinde OPA kısıtı dikkate alınmayarak modelin kesim planı aşamasında rahat hareket etmesi ve geçerli bir çözüm bulabilmesi sağlanmıştır. OPA kısıtının eklenmesi durumunda model olurlu bir çözüm bulamamaktadır. Çünkü OPA kısıtıyla gençleştirilecek alan miktarı ile alınacak minimum eta miktarı periyodik gençleştirme kısıtı ile belirlenen üst limitin çok üzerinde olmaktadır. Bu durum da bu iki kısıtın çelişmesine ve uygun çözümün bulunamamasına sebep olmaktadır. Bu kısıtlar altında oluşturulan model, hedeflenen amaca yönelik en uygun çözümü elde etmiştir ve yıllık ortalama 2 813 606 TL net kâr hesaplamıştır. Bu yıllık gelir içinde 492 252 TL kâr odun üretiminden, 53 162 TL kâr karbon miktarından ve 2 268 191 TL kâr da su üretiminden sağlanmıştır. Periyodik gençleştirme kısıtı son hasılat etasını sınırlandırmış ve elde edilen odun gelirinin tüm stratejilere göre en düşük olmasına sebep olmuştur. Gençleştirmenin az olması bu stratejinin dikili servet birikimi yapmasına neden olmuş ve bu durum hem karbon hem de su üretiminden elde edilen yıllık kâr miktarının tüm stratejilerden daha yüksek olmasına sebep olmuştur.

ST7 planlama stratejisinden elde edilen eta miktarlarına bakıldığında periyodik gençleştirme etası kısıtından dolayı tüm periyotlardaki son hasılat etası miktarının ara hasılat etası miktarlarından düşük olduğu görülmektedir. ST7 planlama stratejisinde toplam etanın %33,8'i son hasılat etasından oluşurken %66,2'si ara hasılat etalarından oluşmaktadır. Planlama ufku sonunda alınan toplam eta miktarı 1 370 970 m³ olarak bulunmuştur (Çizelge 3.19). Özellikle periyodik gençleştirme kısıtının eklenmesi planlama modelinin gençleştireceği alan miktarını kısıtlamış ve yaklaşık 100 000 m³ gençleştirme etasını alabildiği kadar alanı gençleştirmeye konu etmiştir. Tüm periyotlarda OPA değerinin çok altında orman alanı gençleştirilmiştir (Şekil 3.25).

Çizelge 3.19. ST7 planlama stratejisine göre elde edilen eta miktarları.

Periyotlar	Ara Hasılat		Son Hasılat		Toplam Eta
	m ³	%	m ³	%	m ³
1P	180071	69,4	79227	30,6	259298
2P	158528	61,8	97916	38,2	256444
3P	165498	63,1	96986	36,9	262484
4P	193837	68,6	88680	31,4	282517
5P	210227	67,8	100000	32,2	310227
Toplam	908161	66,2	462809	33,8	1370970



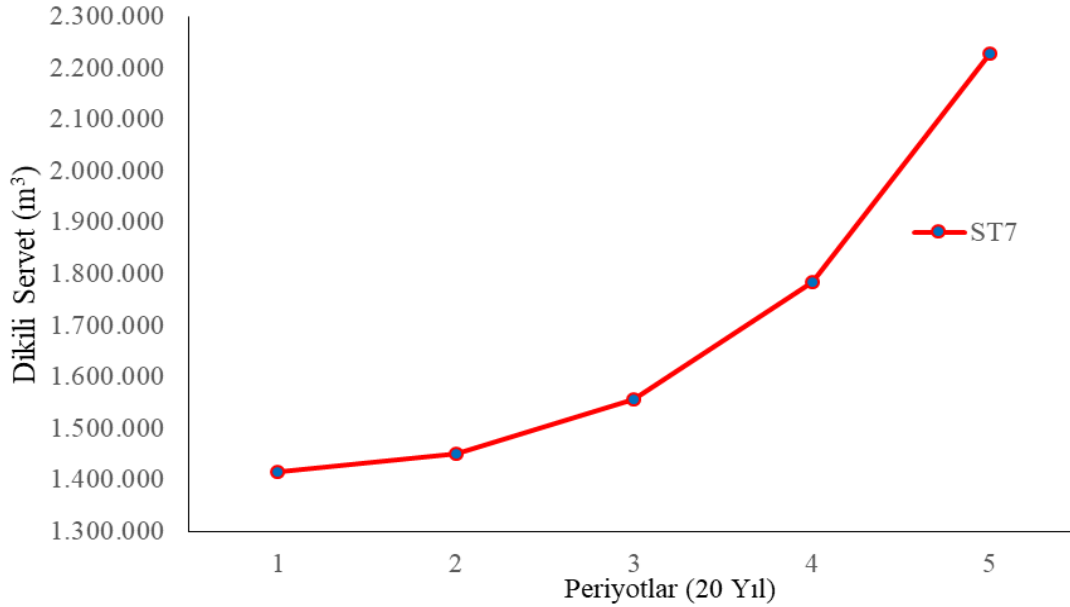
Şekil 3.25. ST7 planlama stratejisine göre her bir periyotta gençleştirilen orman alanları.

ST7 planlama stratejisinde gençleştirilen orman alanı ve yapılan bakımlardan elde edilen etaların orman ürün çeşitlerine göre dağılımları incelendiğinde, tüm emvalin % 33,0'nun tomruk ürün çeşidinden oluştuğu belirlenmiştir. Diğer stratejilerden farklı olarak bu stratejide maden direği üretimi oransal olarak yakacak odun üretiminden fazla çıkmaktadır. %27,9 oranında maden direği üretimi yapılmışken, %25,9 oranında yakacak odun üretimi ve %13,1 oranında da sanayi odunu üretimi gerçekleştirilmiştir(Çizelge 3.20).

Çizelge 3.20. ST7 planlama stratejisine göre üretilen odun ürün çeşitleri dağılımı.

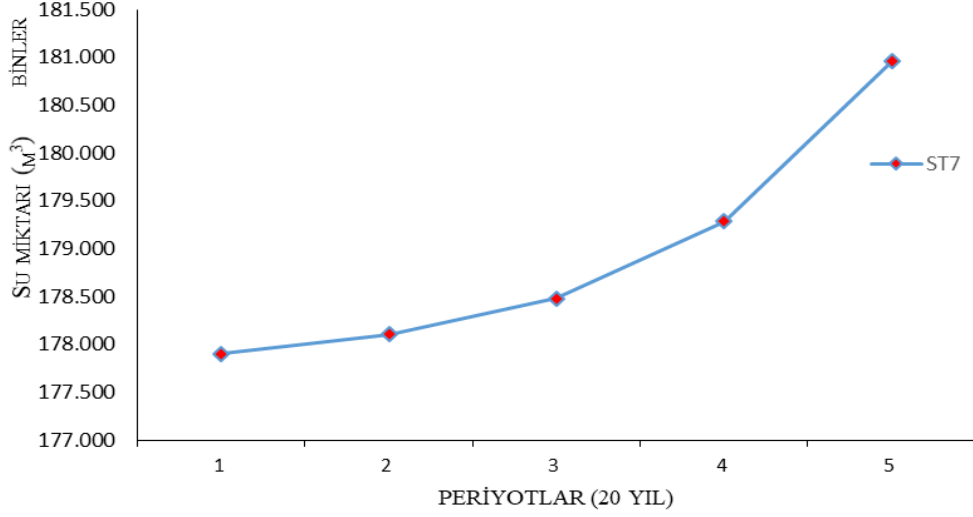
Periyot No	Ürün Çeşitleri				Toplam
	Tomruk m ³	Maden Direği m ³	Sanayi Odunu m ³	Yakacak Odun m ³	
1P	78686	74921	42867	66029	262502
2P	76226	77059	36246	67010	256541
3P	99427	70155	32230	59666	261478
4P	89853	80705	35619	75968	282145
5P	108649	80143	34793	86289	309873
Toplam	452841	382982	181754	354962	1372540

ST7 planlama stratejisinde alınan eta miktarlarının düşük olması periyotlar itibariyle dikili servet miktarının sürekli artmasına sebep olmuştur. Planlama birimi aktüel dikili servet miktarına göre plan ufku sonunda yaklaşık %57 oranında bir artış meydana gelmiştir (Şekil 3.26).



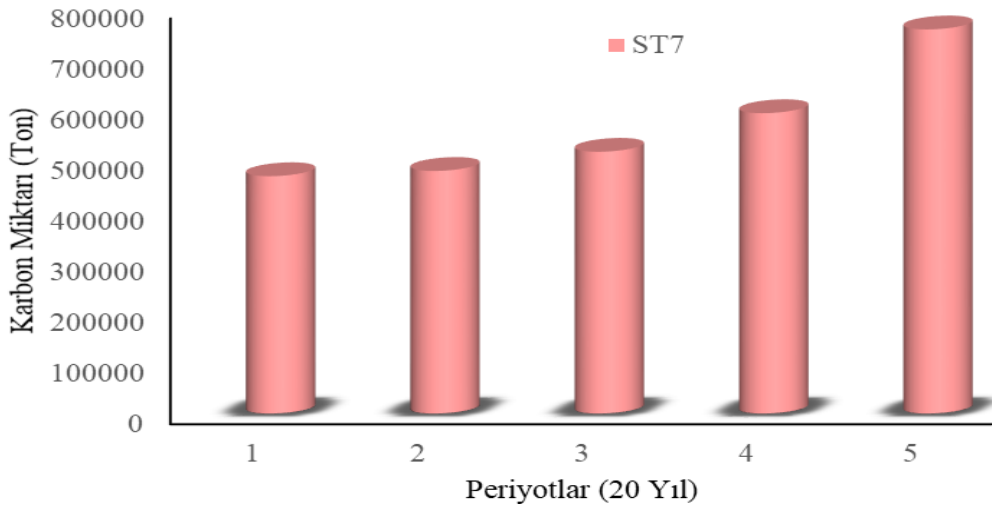
Şekil 3.26. ST7 planlama stratejisi dikili servet miktarlarındaki değişimler.

ST7 planlama stratejisinde üretilen su miktarları incelendiğinde periyotlar boyunca dikili servet miktarındaki artışa paralel olarak arttığı görülmektedir. ST7 planlama stratejisine göre planlama ufku sonunda tüm stratejilerden daha fazla su üretimi gerçekleşmiştir. ST7 stratejisi ile plan ufku boyunca planlama biriminden toplam 894 728 400 m³ su üretimi gerçekleşmiştir (Şekil 3.27)



Şekil 3.27. ST7 planlama stratejisine göre planlama ufku boyunca üretilen su miktarları.

ST7 planlama stratejisinde uygulanan kesim planı sonucunda özellikle gençleştirme alanlarının ve alınan eta miktarlarının düşük olması, ormandaki artım miktarının daha fazla olmasına sebep olmuş ve ormandaki karbon birikim miktarları tüm periyotlarda artmıştır. Geniş alanlarda yapılan gençleştirme kesimleri ormandaki özellikle toprak üstü biyokütleyi azaltmakta ve bağlanan karbon miktarını da azaltmaktadır. Bu stratejide periyodik gençleştirme kısıtının olması sebebiyle toprak üstü biyokütlerde birikme meydana gelmiştir ve tüm periyotlarda karbon birikimi artmıştır. Planlama biriminin başlangıçtaki karbon miktarı baz alındığında plan ufku sonunda %57 oranında karbon miktarında artış meydana gelmiştir (Şekil 3.28).



Şekil 3.28. ST7 planlama stratejisi periyodik olarak bağlanan karbon miktarları.

3.4.2. Planlama Stratejilerine Ait Genel Bulgular

Planlama modeli, 7 farklı strateji için, farklı kısıt ve amaç fonksiyonlarına göre oluşturulmuş ve belirlenen amacı maksimize edecek şekilde planlama biriminde kesim düzeni belirlenmiş ve sonuçlar elde edilmiştir. Farklı amaç fonksiyonlarına göre elde edilecek gelir miktarlarından maliyetlerin çıkarılmasıyla planlama stratejisinin kârı bulunmuştur. Plan ufkunun 100 yıl olması, gelecek yıllarda elde edilecek gelirlerin şimdiye çekilmiş hallerinin kullanılmasını gerektirmektedir. Bu bağlamda tüm planlama stratejilerindeki parasal değerlerin NBD'leri hesaplanmış ve bugünkü değerleri üzerinden hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Böylece hangi amaç fonksiyonunun ve hangi stratejinin en yüksek kâr elde edeceği belirlenmiştir. 7 farklı planlama stratejisinin planlama modeli ile oluşturulması sonucunda ulaşılan amaç fonksiyonu değerleri Çizelge 3.21'de verilmiştir.

Çizelge 3.21. Tüm stratejilere göre NBD'li amaç fonksiyon değerleri.

Strateji No	Amaç Fonksiyonu Değerleri		
	100 Yıllık (TL)	Periyodik (TL)	Yıllık (TL)
ST1	204.169.655	40.833.931	2.041.697
ST2	415.337.184	83.067.437	4.153.372
ST3	207.012.159	41.402.432	2.070.122
ST4	432.967.717	86.593.543	4.329.677
ST5	429.865.681	85.973.136	4.298.657
ST6	500.704.847	100.140.969	5.007.048
ST7	281.360.659	56.272.132	2.813.607

Tüm stratejilerin amaç fonksiyon değerlerine bakıldığında en yüksek kârın elde edildiği stratejinin, OPA kısıtının olmadığı, odun üretimi, su miktarı ve karbon miktarının da dikkate alındığı ST6 stratejisinde olduğu görülmektedir. Yıllık 5.007.048 TL kâr elde edilen ST6 stratejisini, yıllık 4.329.677 TL kar ile ST4 stratejisi takip etmektedir. ST4 stratejisi de odun üretimi, su miktarı ve karbon miktarını dikkate alarak kârı maksimize etmeyi hedeflemektedir. ST6 stratejisiyle aynı amaç fonksiyonuna sahip olan ST4'ün ST6'dan farkı farklı kısıtlara sahip olmasıdır. OPA kısıtı ve periyodik eta dalgalanması kısıtı bulunan ST4 planlama stratejisi, kısıtlardan dolayı ST6'dan düşük bir amaç fonksiyonu değerine sahiptir. ST2 (odun üretimi ve su üretimi) ve ST5 (odun üretimi, su üretimi ve su kalitesi) stratejilerinde de elde edilen kârın ST4 stratejisine yakın olduğu görülmektedir. En düşük kârın elde edildiği strateji yıllık 2.041.697 TL ile sadece odun

üretiminden elde edilecek kârın maksimize edilmesinin hedeflendiği ST1 stratejisi olmuştur. Odun üretimi ile karbon miktarından elde edilecek karın maksimize edilmesinin hedeflendiği ST3 planlama stratejisinde ise yıllık 2 070 122 TL kar elde edilmiştir. ST1 stratejisinden farklı olarak karbon gelirini de hesaplayan ST3 stratejisi, gelirini çok fazla arttıramamıştır. Çünkü karbon gelirleri amaç fonksiyon değerini çok fazla etkilememektedir. En yüksek amaç fonksiyonu değerine sahip olan ST6 planlama stratejisinden farklı olarak sadece periyodik gençleştirme kısıtının bulunduğu ST7 planlama stratejisinde ise yıllık 2.813.607 TL kâr elde edilmiştir. ST7 planlama stratejisinde odun üretiminden elde edilen gelir tüm stratejilerin elde ettiği gelirden düşük olmasına rağmen, artan dikili servetin ve buna bağlı olarak artan su miktarının parasal değerinden dolayı ve amaç fonksiyon değeri bakımından ST1 ve ST3 stratejilerinden fazla kâr elde edilmiştir. Bu sonuçlardan hareketle, düşük kâr değerine sahip planlama stratejilerinin amaç fonksiyonlarında özellikle su üretimi amacının yer almadığı görülmektedir. Ormanlardaki su üretiminin, amaç fonksiyonlarından sağlanacak olan faydaya yaptığı katkının karbon miktarı ve odun üretiminden elde edilen gelire göre daha fazla olduğu yukarıdaki sonuçlardan anlaşılmaktadır.

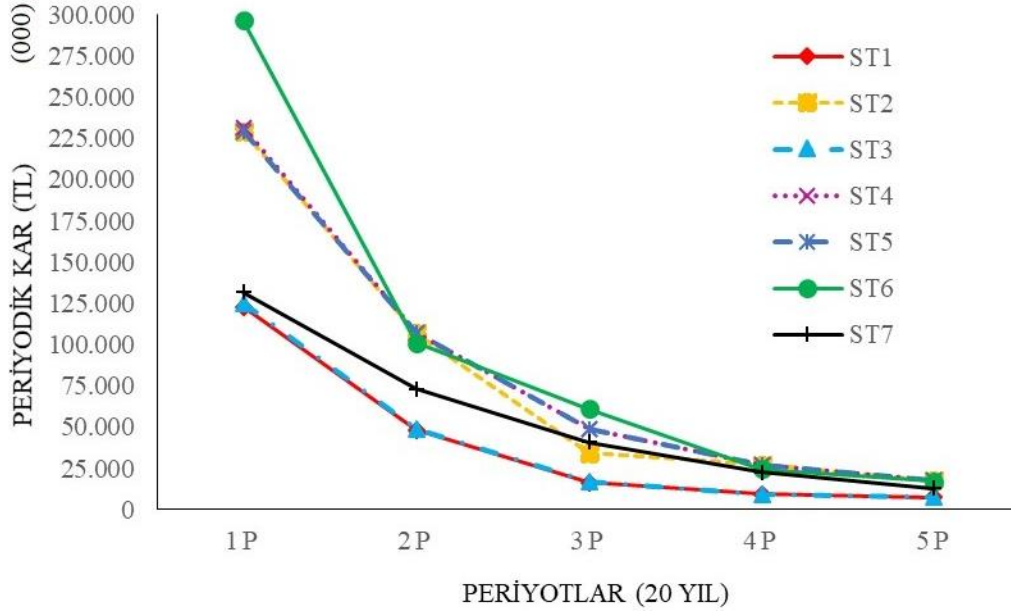
Plan ufku boyunca her bir stratejinin elde ettiği kârların odun üretimi, su miktarı ve karbon miktarlarına dağılımlarına bakıldığında, odun üretiminden en çok kâr elde eden stratejinin ST6 olduğu görülmektedir. Karbon ve su miktarından elde edilen kâr bakımından ise ST6 son sırada yer almaktadır. Fakat ST6 amaç fonksiyonu olarak en fazla kârın elde edildiği stratejidir. Bu karın elde edilmesinde özellikle ilk iki periyotta çok yüksek miktarda orman alanının gençleştirilmesi ve buradan elde edilen orman ürünlerinden çok yüksek miktarda gelir elde etmesi etkili olmuştur. Özellikle NBD hesabında ilk periyottan sonraki parasal değerler şimdiye çekildiğinden daha düşük miktarlar olmaktadır. Fakat ST6 ilk periyotta çok fazla gelir elde etmiştir ve bu gelir aynen amaç fonksiyonuna yansımıştır. Odun üretiminden elde edilecek kârın en düşük olduğu strateji ise ST7'dir. Çünkü periyodik gençleştirme kısıtı bulunduğu son hasılat eta miktarı diğer stratejilerin çok altındadır. ST7 dikili servet birikimi yaptığından su ve karbon gelirleri açısından da en fazla kârın elde edildiği stratejidir. OPA kısıtı olan ilk 5 strateji de ise birbirlerine yakın gelirler elde edilmekle beraber odun geliri bakımından en düşük ST2 planlama stratejisidir. Bu 5 stratejinin elde ettikleri karbon gelirleri ve su gelirleri de birbirlerine yakındır. Aşağıdaki çizelgede verilen gelir dağılımlarında altı çizili olarak gösterilen değerler o stratejinin amaç

fonksiyon değerine etkisi olmayan gelirlerdir. Örneğin ST1’de sadece odun üretiminden elde edilen kâr, aynı zamanda amaç fonksiyon değerine eşittir. ST3 planlama stratejisi karbon ve odun üretiminden elde edilen karları amaç fonksiyonunda kullanmıştır. Diğer gelirler amaç fonksiyonunda olmamasına rağmen planlama modelinde amaç fonksiyonu değişiklikleriyle elde edilebilecek gelirleri göstermektedir (Çizelge 3.22).

Çizelge 3.22. Planlama stratejilerinin NBD’li gelir dağılımları.

Strateji	Plan Ufku Boyunca Elde Edilen Gelirler			Amaç Fonksiyonu
	Odun (TL)	Karbon (TL)	Su (TL)	
ST1	204.169.655	<u>3.116.463</u>	<u>225.856.252</u>	204.169.655
ST2	189.478.238	<u>3.116.330</u>	225.858.946	415.337.184
ST3	203.889.108	3.123.051	<u>225.857.110</u>	207.012.159
ST4	203.980.095	3.123.558	225.864.064	432.967.717
ST5	204.004.613	<u>3.122.283</u>	225.861.068	429.865.681
ST6	272.683.605	2.644.512	225.376.730	500.704.847
ST7	49.225.245	5.316.284	226.819.130	281.360.659

Planlama stratejilerinin odun, su ve karbon miktarından elde ettikleri kârların net bugünkü değerlerinin her bir periyottaki değişimleri incelendiğinde ST6 planlama stratejisinin hemen hemen tüm periyotlarda en fazla geliri elde ettiği görülmektedir. ST2, ST4 ve ST5 planlama stratejileri de periyodik olarak birbirlerine yakın kârlar elde etmişlerdir. En düşük periyodik kâr miktarlarına sahip stratejiler ise ST1 ve ST3 olmuştur. Çünkü ST1 sadece odun üretiminden kâr elde etmektedir, ST3 ise hem odun hem de karbondan kâr sağlamaktadır. Aralarında gelir bakımından pek farkın olmaması karbon gelirinin planlama stratejilerinde düşük olması ve amaç fonksiyonuna çok fazla etki etmemesinden kaynaklanmaktadır. ST7 planlama stratejisi ise periyodik gelirler bakımından ST1 ve ST3’ün üstünde fakat diğer stratejilerin altında kârlara sahiptir. Özellikle ilk periyotlarda yüksek gelirler elde edilirken sonraki periyotlarda NBD’den dolayı gelir miktarları düşmektedir (Şekil 3.29).

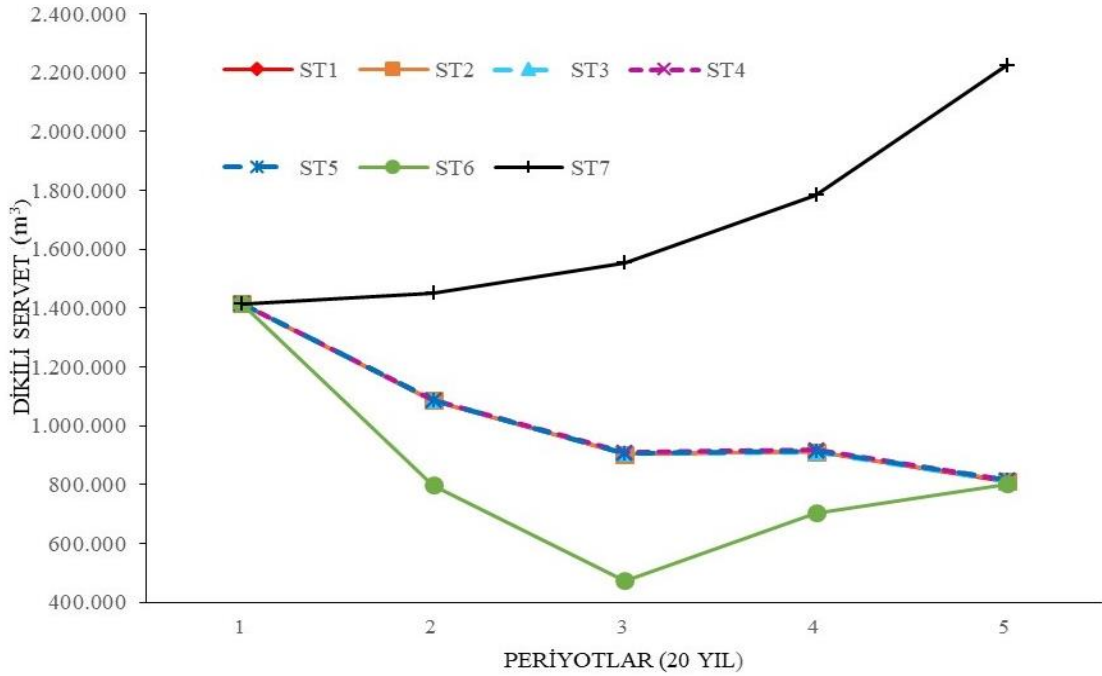


Şekil 3.29. Planlama stratejilerinin net bugünkü değerlerine göre periyodik kâr dağılımları.

Planlama birimi dikili servet miktarları ilk beş planlama stratejisinde tüm periyotlarda hemen hemen aynı miktarlarda azalış göstermiştir. OPA kısıtı bulunan bu ilk beş strateji kesim düzenini birbirlerine çok benzer şekilde yapmış ve elde edecekleri kârı optimum yapmaya çalışmışlardır. OPA kısıtı bulunmayan ST6 planlama stratejisinde ise ilk 3 periyotta ciddi azalış göstermiş, son iki periyotta ise artmış ve plan ufku sonunda ilk beş stratejiye yakın bir dikili servet miktarına sahip olmuştur. Dikili servet miktarını tüm periyotlarda arttıran tek planlama stratejisi ST7 olmuştur. Periyodik gençleştirme kısıtının olduğu ST7 gençleştirme alanlarını çok yüksek alamadığından, ormandan alınan eta miktarı ormanın artımının altında kalmış ve servet birikimi meydana gelmiştir. İlk beş strateji başlangıçtaki dikili servet miktarına göre yaklaşık %42,5 servet kaybı yaşamıştır. ST6 planlama stratejisi %43,2 dikili servet kaybı yaşarken, ST7 planlama stratejisi ise %57,3 oranında dikili servet birikimi gerçekleştirmiştir. Planlama ufku sonunda en düşük dikili servet miktarı $803\ 440\ m^3$ ile ST6 planlama stratejisinde gerçekleşirken en yüksek dikili servet değeri ise $2\ 227\ 009\ m^3$ ile ST7 planlama stratejisinde gerçekleşmiştir. ST6 planlama stratejisi odun üretimini arttırmak amacıyla OPA'nın üstünde alanlar gençleştirmiş ve bu durum tüm periyotlarda ST6 planlama stratejisinin en düşük dikili servet değerlerine sahip olmasına neden olmuştur. Dikili servet miktarlarındaki değişimler detaylı olarak Çizelge 3.23 ve Şekil 3.30'da verilmiştir.

Çizelge 3.23. Planlama birimi farklı stratejilere göre dikili servet miktarları.

Periyot No	Dikili Servet Miktarları (m ³)						
	ST1	ST2	ST3	ST4	ST5	ST6	ST7
1P	1.415.476	1.415.476	1.415.476	1.415.476	1.415.476	1.415.476	1.415.476
2P	1.085.233	1.086.332	1.086.307	1.087.012	1.086.332	799.118	1.451.191
3P	903.416	903.346	907.506	910.825	907.180	473.599	1.555.641
4P	911.336	911.176	910.534	917.659	913.882	703.216	1.784.138
5P	811.113	812.458	812.496	815.470	814.829	803.440	2.227.009

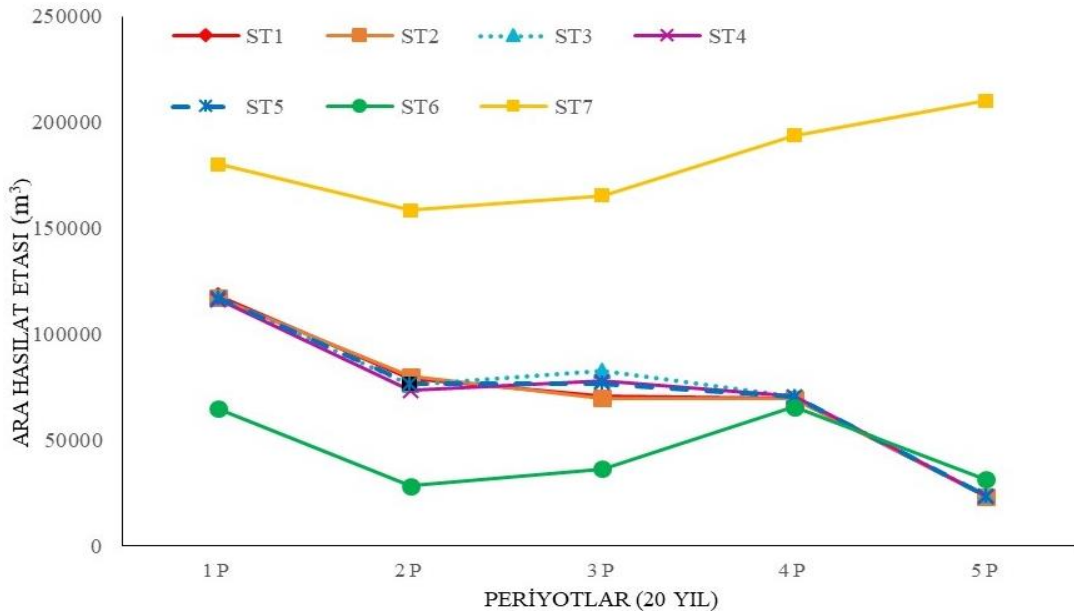


Şekil 3.30. Dikili servet miktarlarının plan ufku boyunca farklı stratejilere göre değişimi.

ST7 planlama stratejisi hariç, diğer planlama stratejilerinin farklı kesim düzeni altında dikili servet miktarlarında başlangıçtaki servet miktarına göre önemli düşüşlerin olduğu görülmektedir. Dikili servet birikiminin (V2-V1) değişimi yönünden tüm periyotlarda sadece ST7 stratejisi servet birikimi yapmıştır. ST1, ST2, ST3, ST4 ve ST5 stratejilerinin dikili servet birikimi değerleri birbirlerine çok benzer ve yaklaşık aynı oranlarda değişimler meydana gelmiştir. İlk beş stratejide sadece 3. periyottan 4. periyota geçişte az miktarda servet birikimi olmuş diğer periyotlarda servet düşürülmüştür. ST6 planlama stratejisinde 4. ve 5. periyotlarda servet birikimi olmuştur. Planlama stratejilerindeki amaç fonksiyonunun değişimi, özellikle OPA kısıtı altında kesim düzenini etkilememiştir. Bu durum da ilk beş strateji de servet değişimlerinden

anlaşılmaktadır. OPA kısıtı olmayan ST6 planlama stratejisi geliri arttırmak adına özellikle ilk 2 periyotta çok yüksek miktarda orman alanını gençleştirmeye almış ve bu durum 3 periyot boyunca dikili servet miktarında ciddi düşüslere sebep olmuştur.

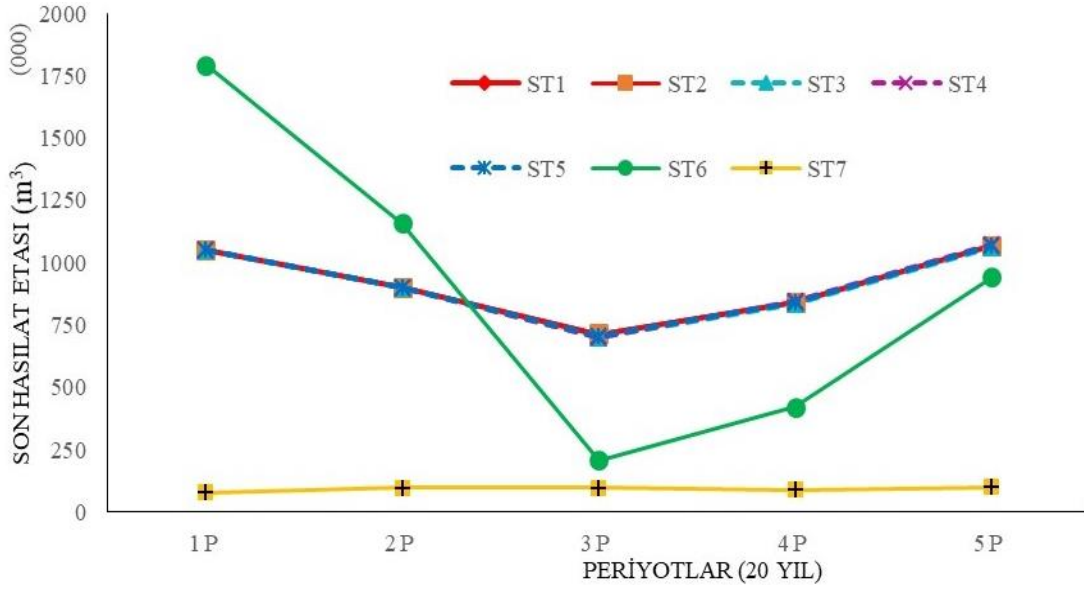
Tüm planlama stratejilerinden elde edilen eta miktarları incelendiğinde, ara hasılat etaları en yüksek olan stratejinin ST7 (908 161 m³) ve en düşük stratejinin de ST6 (226 732 m³) olduğu görülmektedir. ST6 stratejisinde OPA kısıtının olmaması sebebiyle etalar çoğunlukla gençleştirme etası şeklinde alınmış ve ara hasılat etası miktarları diğer stratejilere göre düşük kalmıştır. ST7 planlama stratejisinde ise periyodik gençleştirme kısıtının olması sebebiyle gençleştirmeye çok küçük orman alanları konu edilmiş ve etalar genellikle ara hasılat olarak alınmıştır. Bu nedenle de ST7 planlama stratejisi ara hasılat etaları çok yüksek çıkmıştır. Ara hasılat etası bakımından ST1, ST2 ST3, ST4 ve ST5 planlama stratejileri birbirlerine yakın miktarda eta almışlardır (Şekil 3.31).



Şekil 3.31. Tüm planlama stratejilerinin periyotlara göre ara hasılat etası dağılımları.

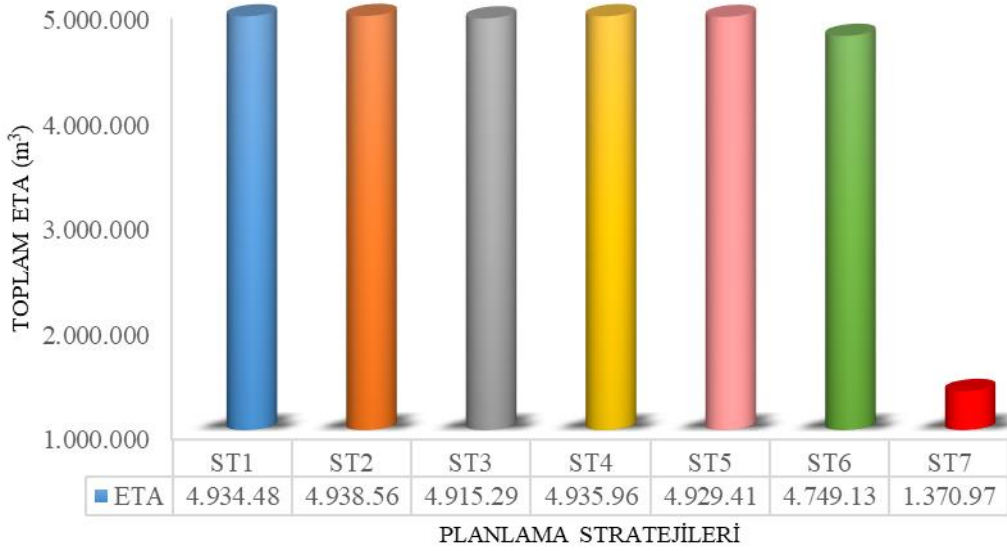
Planlama stratejilerinin son hasılat etası yönünden periyodik olarak dağılımlarına bakıldığında periyodik gençleştirme kısıtı bulunan ST7 planlama stratejisinin tüm periyotlarda küçük miktarlarda orman alanını son hasılatla konu ettiği bu nedenle de son hasılat etasının çok düşük olduğu görülmektedir. OPA, periyodik eta dalgalanması ve periyodik eta kısıtı bulunmayan ST6 stratejisi ise son hasılat etası miktarı bakımından ilk 2 periyotta tüm planlama stratejilerinden fazla eta alırken, sonraki 3 periyotta ilk beş

planlama stratejisinden daha düşük miktarda eta almıştır. Toplam son hasılat etası bakımından en fazla etayı ST2 planlama stratejisi almıştır. OPA kısıtı bulunan diğer ST1, ST3, ST4 ve ST5 planlama stratejileri de son hasılat etası bakımından ST2'ye yakın miktarlarda olmakla beraber, ST2 planlama stratejisinden en az 3 000 m³ daha az eta almışlardır (Şekil 3.32).



Şekil 3.32. Tüm planlama stratejilerinin periyotlara göre son hasılat etası dağılımları.

Ara ve son hasılatın alınan eta miktarlarıyla elde edilen toplam eta, planlama stratejilerine göre değerlendirildiğinde, planlama ufku sonunda toplamda 4 938 568 m³ eta elde edilen ST2 planlama stratejisinin en yüksek toplam eta miktarına sahip olduğu görülmektedir. En düşük toplam eta miktarı ise 1 370 970 m³ ile ST7 planlama stratejisinde gerçekleşmiştir. ST6 planlama stratejisi OPA kısıtı bulunan ilk beş stratejiye yakın miktarda toplam eta almakla beraber yaklaşık %3 daha düşük eta almıştır. Diğer OPA kısıtı bulunan planlama stratejilerinde birbirlerine yakın toplam etalar olmakla beraber, %1-%2 oranında değişimler vardır (Şekil 3.33).



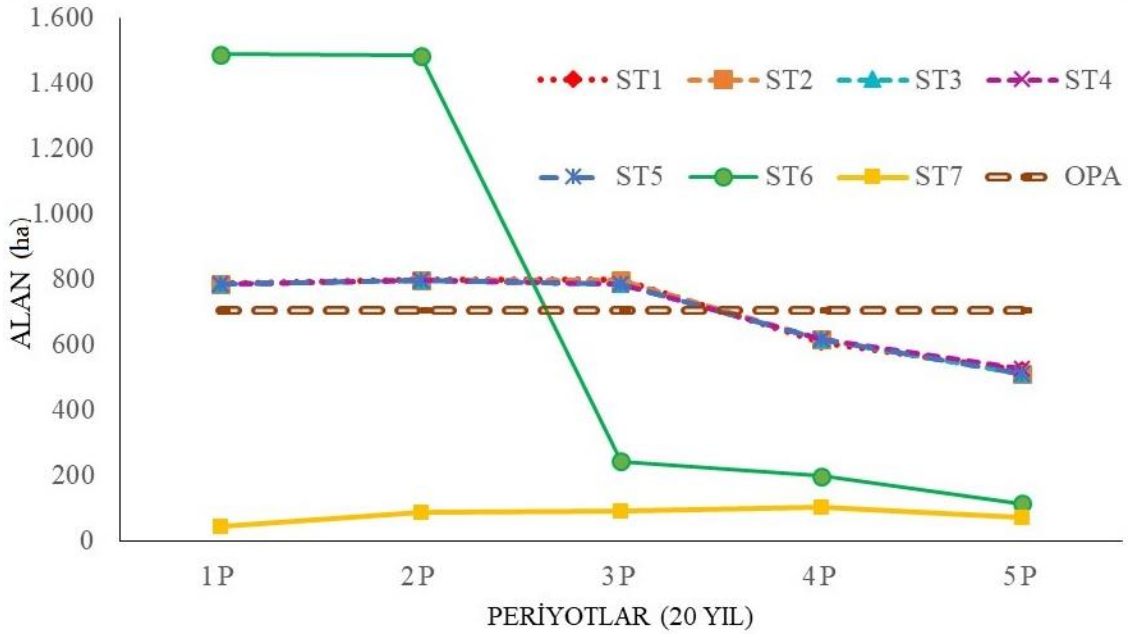
Şekil 3.33. Tüm planlama stratejileri toplam eta miktarları dağılımları.

Tüm planlama stratejilerinde toplam etanın büyük kısmını son hasılat etası oluştururken, ST7 stratejisinde tam tersi bir durum gerçekleşmiş ve toplam etanın büyük kısmı ara hasılat etalarından oluşmuştur. Yalnızca ST7 planlama stratejisinde toplam ara hasılat etası, toplam son hasılat etasından yüksek çıkmıştır. Diğer planlama stratejilerinde ise ara ve son hasılat yönünden birbirlerine benzer eta dağılımları görülmektedir (Şekil 3.34).



Şekil 3.34. Planlama stratejilerine göre tüm eta miktarlarının dağılımları.

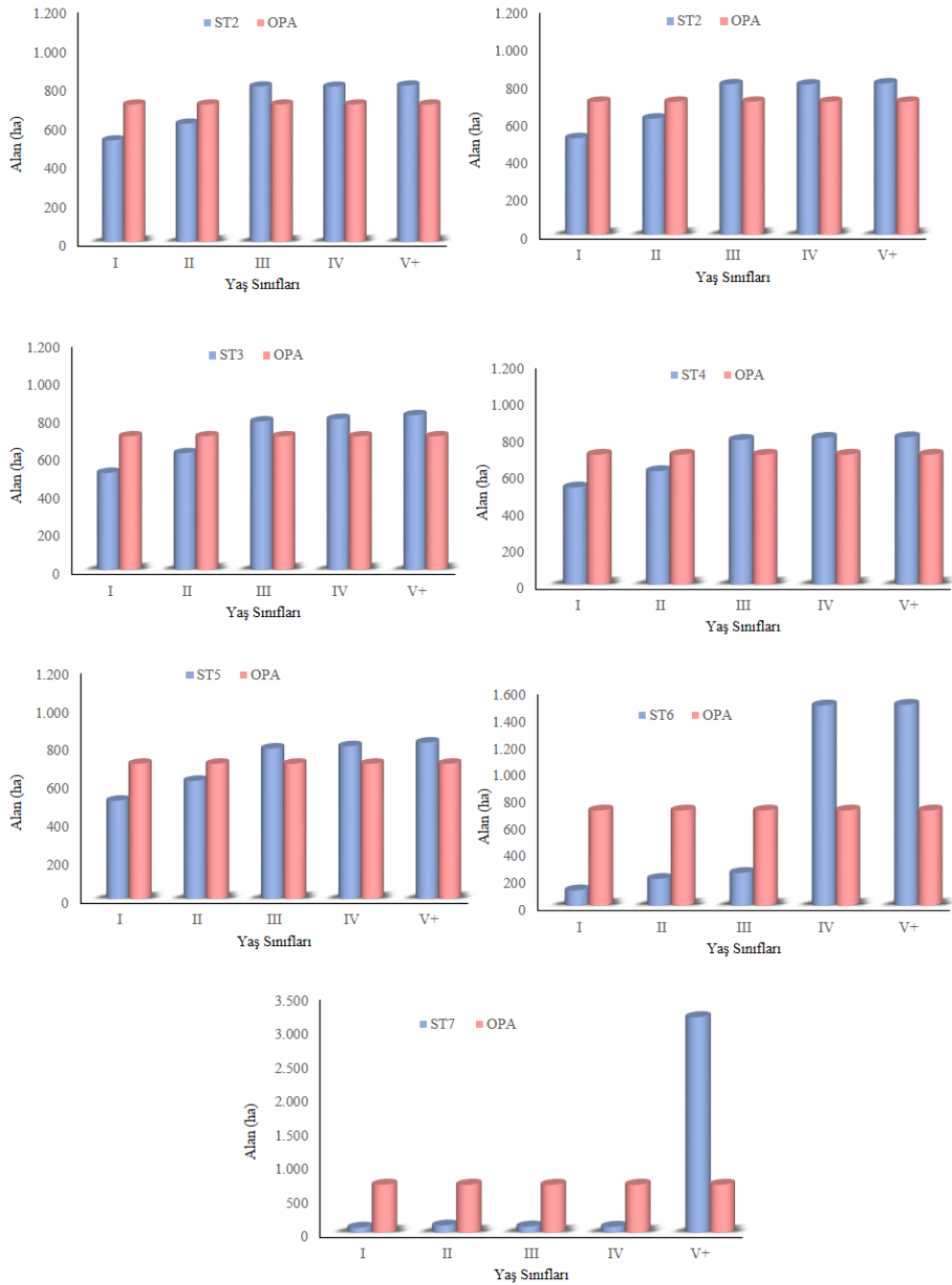
Farklı planlama stratejileri ve farklı amaç fonksiyonlarına göre alınan gençleştirme etalarından sonra planlama birimi OPA dağılımına bakıldığında, OPA kısıtının olduğu ilk beş stratejide benzer kesim düzeninin uygulandığı, ilk üç periyotta OPA değerinin üstünde, son iki periyotta ise OPA değerinin altında orman alanının gençlestirmeye alındığı görülmektedir. OPA kısıtı ve periyodik gençleştirme kısıtı bulunmayan ST6 planlama stratejisi ise ilk iki periyotta OPA miktarının iki katından daha fazla alanı gençlestirmeye alırken sonraki üç periyotta OPA'nın çok altında orman alanlarını gençlestirmeye konu etmiştir. ST6 planlama stratejisi ilk iki periyotta gençlestirilen orman alanından elde ettiği etalar ve bu etalardan elde edilen gelirlerle tüm planlama stratejileri içinde en fazla gelirin elde edildiği strateji olmuştur. OPA kısıtı olmamasına rağmen periyodik gençleştirme kısıtı bulunan ST7 planlama stratejisi ise tüm periyotlarda OPA miktarının çok altında alanları gençlestirmeye konu etmiştir (Şekil 3.35).



Şekil 3.35. Planlama stratejilerine göre gençleştirilen alan miktarları.

Planlama stratejileri tarafından amaca yönelik belirlenen kesim planı ve elde edilen etalar sonucunda, her bir planlama stratejisi farklı yaş sınıfları dağılımına sahip olmaktadır. Gençleştirilen alanlar ve müdahale edilmeyen alanların eklenmesiyle plan ufku sonunda planlama stratejilerine ilişkin yaş sınıfları dağılımları belirlenmiştir. OPA kısıtı bulunan ST1, ST2, ST3, ST4 ve ST5 planlama stratejilerinde ilk iki yaş sınıfında OPA'nın altında, sonraki üç yaş sınıfında ise OPA miktarının üstünde alan dağılımı

oluşturmuştur. ST6 planlama stratejisinde ilk üç yaş sınıfında OPA'nın çok altında alanlar varken, IV ve V. yaş sınıflarında OPA miktarının çok üstünde orman alanları bulunmaktadır. ST7 planlama stratejisi ise gençleştirmeyi çok az yapmış ve ormanı büyümeye bırakmıştır. Bunun sonucunda da ilk dört yaş sınıfında OPA miktarının çok altında orman alanı bulunurken, müdahale edilmeyen yani gençleştirilmeyen meşcerelerin son yaş sınıfına yığılmasıyla OPA miktarının dört katından fazla orman alanının son yaş sınıfında biriktiği görülmektedir (Şekil 3.36).



Şekil 3.36. Plan ufku sonunda planlama stratejileri yaş sınıfları dağılımları.

Planlama stratejileri 100 yıllık plan ufku sonunda elde ettikleri ürün çeşidi miktarları bakımından değerlendirildiğinde en fazla orman emvalinin 4 938 568 m³ ile ST2 planlama stratejisinde üretildiği görülmektedir. En düşük orman emvalinin üretildiği strateji ise 1 370 970 m³ ile ST7 planlama stratejisi olmuştur. OPA kısıtı olan diğer ST1, ST3, ST4 ve ST5 planlama stratejileri de ST2 planlama stratejisine yakın miktarlarda odun üretimi gerçekleştirmiştir. OPA kısıtı bulunmayan ST6 planlama stratejisi ise OPA kısıtı bulunan planlama stratejilerinden düşük, ST7 planlama stratejisinden yüksek miktarda odun ürünü üretimiştir (Çizelge 3.24).

Çizelge 3.24. Plan ufku boyunca 100 yıllık süreçte üretilen odun ürün çeşitleri.

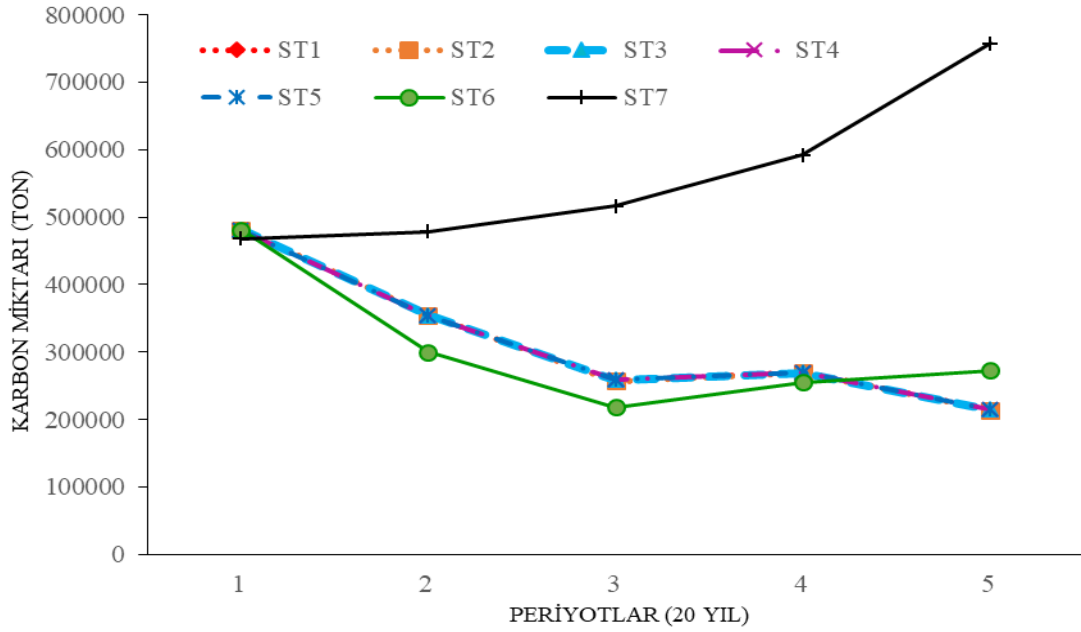
Ürün Çeşidi	Plan Ufku Boyunca						
	ST1 m ³	ST2 m ³	ST3 m ³	ST4 m ³	ST5 m ³	ST6 m ³	ST7 m ³
Tomruk	1.480.049	1.481.174	1.479.029	1.481.635	1.480.632	1.390.973	452.841
Maden Direği	1.394.503	1.395.612	1.385.846	1.393.976	1.391.538	1.356.866	382.982
Sanayi Odunu	628.499	628.840	625.144	628.264	627.268	624.506	180.185
Yakacak Odun	1.431.435	1.432.942	1.425.274	1.432.087	1.429.974	1.376.791	354.962
TOPLAM	4.934.485	4.938.568	4.915.293	4.935.961	4.929.966	4.749.136	1.370.970

Farklı planlama stratejilerine göre alınan etaların ürün çeşitlerine göre dağılımları incelendiğinde, tüm stratejilerde tomruk üretiminin ilk sırada olduğu görülmektedir. Tomruk üretiminin, elde edilen toplam ürün miktarı içinde en yüksek orana (%33,1) sahip olduğu strateji ST7 planlama stratejisidir. Oransal olarak tomruk üretiminin en düşük (%29,3) olduğu strateji de ST6 planlama stratejisidir. OPA kısıtı bulunan diğer stratejilerde ise tomruk üretimi, toplam ürün miktarının yaklaşık %30'unu oluşturmaktadır. Yakacak odun üretimi sadece ST7 planlama stratejisinde maden direğinden sonra gelirken, diğer tüm stratejilerde tomruk üretiminden sonra en fazla üretilen ürün çeşidi olmuştur. Bakım etasının fazla olduğu ST7 planlama stratejisi maden direği üretimini yakacak odun üretiminden fazla yaparken, sanayi odunu üretimi tüm stratejilerde en az üretilen odun ürün çeşidi olmuştur. Tomruk, maden direği ve yakacak odun miktarları birbirine yakın değerlerde üretilirken sanayi odunu miktar olarak tüm stratejilerde çok az üretilmiştir (Şekil 3.37).



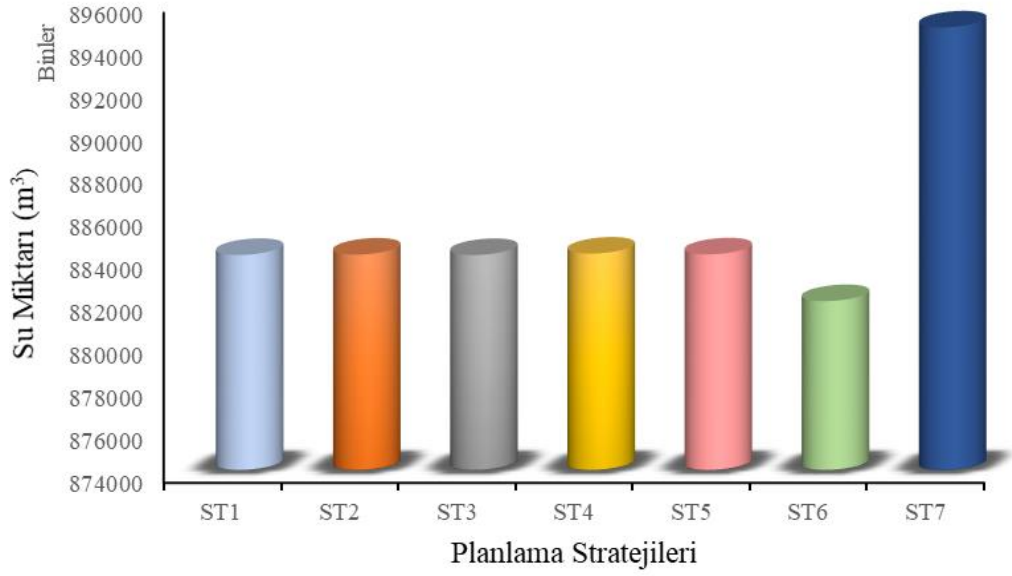
Şekil 3.37. Planlama stratejilerine göre odun ürün çeşitleri dağılımı.

Planlama stratejileri periyodik olarak bağlanan karbon miktarları bakımından değerlendirildiğinde ST7 planlama stratejisinin tüm periyotlarda karbon bağlama miktarını arttırdığı görülmektedir. Periyodik gençleştirme kısıtının olması ST7 planlama stratejisinde gençleştirilen alan miktarını kısıtlamış ve alınan eta miktarının ormandaki artımın üzerine çıkması engellenmiştir. Bu durum da ST7 planlama stratejisinin dikili servetinin yükselmesine ve tüm periyotlarda karbon bağlama miktarının artmasına sebep olmuştur. ST6 planlama stratejisinde bağlanan karbon miktarları ilk 3 periyotta azalırken son iki periyotta dikili servet miktarındaki artışa bağlı olarak küçük bir yükseliş yaşamıştır. OPA ve periyodik eta dalgalanması kısıtı olan ilk beş stratejide periyotlar itibariyle bağlanan karbon miktarları sadece 4. periyotta bir önceki periyoda göre küçük bir artış gösterirken, diğer periyotlarda azalmıştır. En düşük karbon bağlama miktarı ST1 planlama stratejisinde gerçekleşirken, ST2, ST3, ST4 ve ST5 planlama stratejilerinde de ST1'e yakın karbon bağlanmıştır. Planlama biriminin başlangıçtaki karbon miktarına göre, plan ufku sonunda ST1 planlama stratejisinde %56 azalma meydana gelirken, en yüksek karbon bağlamanın gerçekleştiği ST7 planlama stratejisinde yaklaşık %57 oranında artış gerçekleşmiştir (Şekil 3.38).



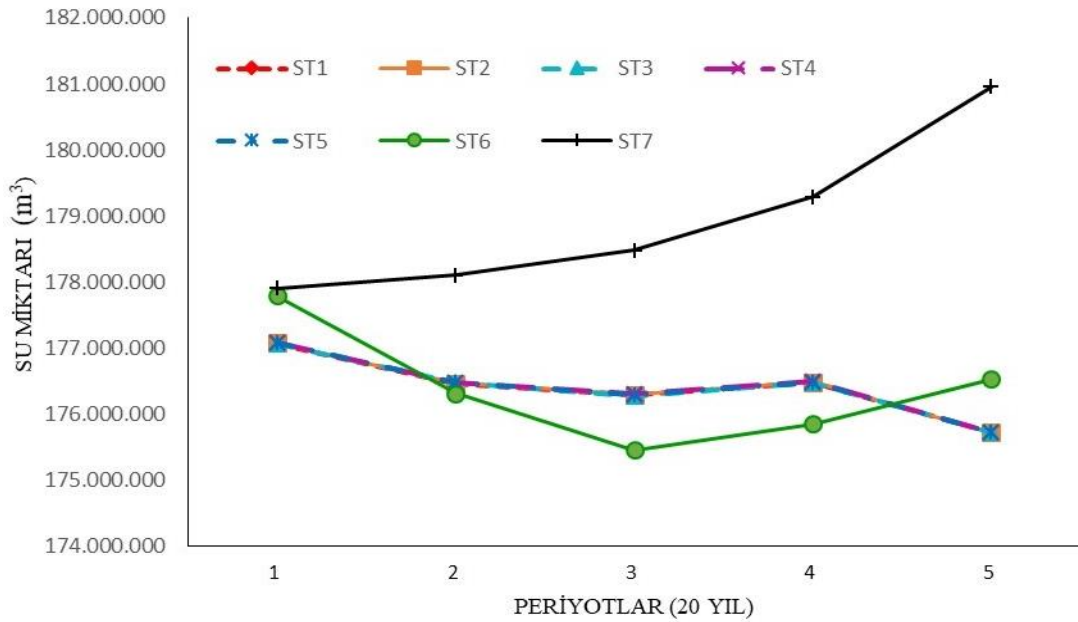
Şekil 3.38. Planlama stratejilerine göre planlama ufku boyunca bağlanan karbon miktarları.

Planlama ufku boyunca üretilen toplam su miktarı bakımından ST7 planlama stratejisi 894 728 400 m³ su ile en fazla su üretimi gerçekleştiren strateji olmuştur. ST7 planlama stratejisinde dikili servet miktarındaki artışın yüksek olması su miktarının fazla olmasına sebep olmuştur. ST7 planlama stratejisi kârını optimize etmek için periyodik gençleştirme kısıtının verdiği imkân doğrultusunda odun üretimi gerçekleştirmiş, gençleştirilmeyen meşcerelerde, dikili servet miktarını arttırarak su miktarı ve karbondan elde edilecek gelirin artmasını sağlamıştır. En düşük su üretiminin gerçekleştiği strateji ST6 planlama stratejisidir ve toplam 881 913 500 m³ su üretimi yapmıştır. OPA kısıtı olan ST1, ST2, ST3, ST4 ve ST5 stratejileri de yaklaşık 882 milyon m³ civarı su üretimi gerçekleştirmiştir (Şekil 3.39)



Şekil 3.39. Planlama stratejilerine göre plan ufku boyunca toplam üretilen su miktarları.

Planlama stratejileri periyotlar itibariyle üretilen su miktarları açısından değerlendirildiğinde ST7 planlama stratejisi diğer stratejilere göre tüm periyotlarda daha fazla su üretimi gerçekleştirmiştir. ST6 planlama stratejisinin su üretimi miktarı ilk üç periyotta azalmışken son iki periyotta artmıştır. OPA kısıtı bulunan ilk beş stratejide üretilen su miktarları birbirlerine yakın olmakla beraber, genellikle azalmıştır. Sadece 4. Periyotta bir önceki periyoda göre küçük bir artış meydana gelmiştir (Şekil 3.40).



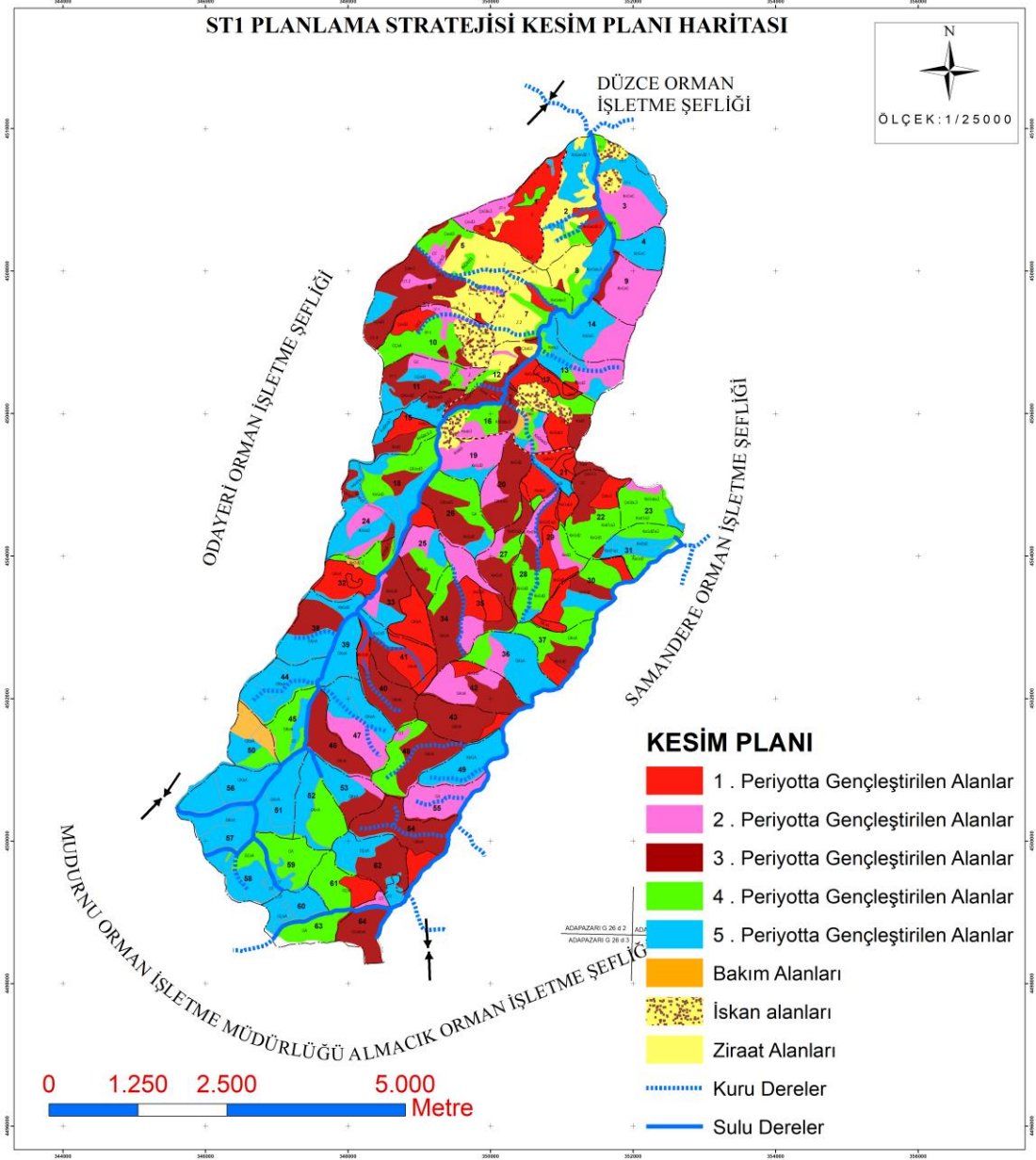
Şekil 3.40. Planlama stratejilerinin periyotlara göre su üretimi miktarları.

Tüm planlama stratejilerinin kesim planlarına bakıldığında periyotlar boyunca en düşük gençleştirme alanına sahip olan stratejinin ST7 planlama stratejisi olduğu ve gençleştirmeye konu edilen meşcere sayısının da en düşük ST7 stratejisinde olduğu görülmektedir. ST7 planlama stratejisinde planlama yörüngesi boyunca sadece dördüncü periyotta toplam 29 adet meşcere gençleştirmeye tabi olmuştur. Adet bazında en fazla meşcerenin gençleştirmeye alındığı stratejiler ST1, ST2, ST4 ve ST6 planlama stratejileri olmuştur ve plan ufku sonunda toplam 266 adet meşcereyi gençleştirmişlerdir. Diğer ST3 ve ST5 planlama stratejileri de toplam 265 adet meşcereyi plan ufku sonunda gençleştirmişlerdir. Amaç fonksiyonunun farklılaştırılması planlama stratejilerinin kesim düzenini etkilememiştir. Her bir strateji odundan elde edeceği geliri artırmak için kısıtların mümkün kıldığı miktarda gençleştirme yapma yoluna gitmişlerdir (Çizelge 3.25).

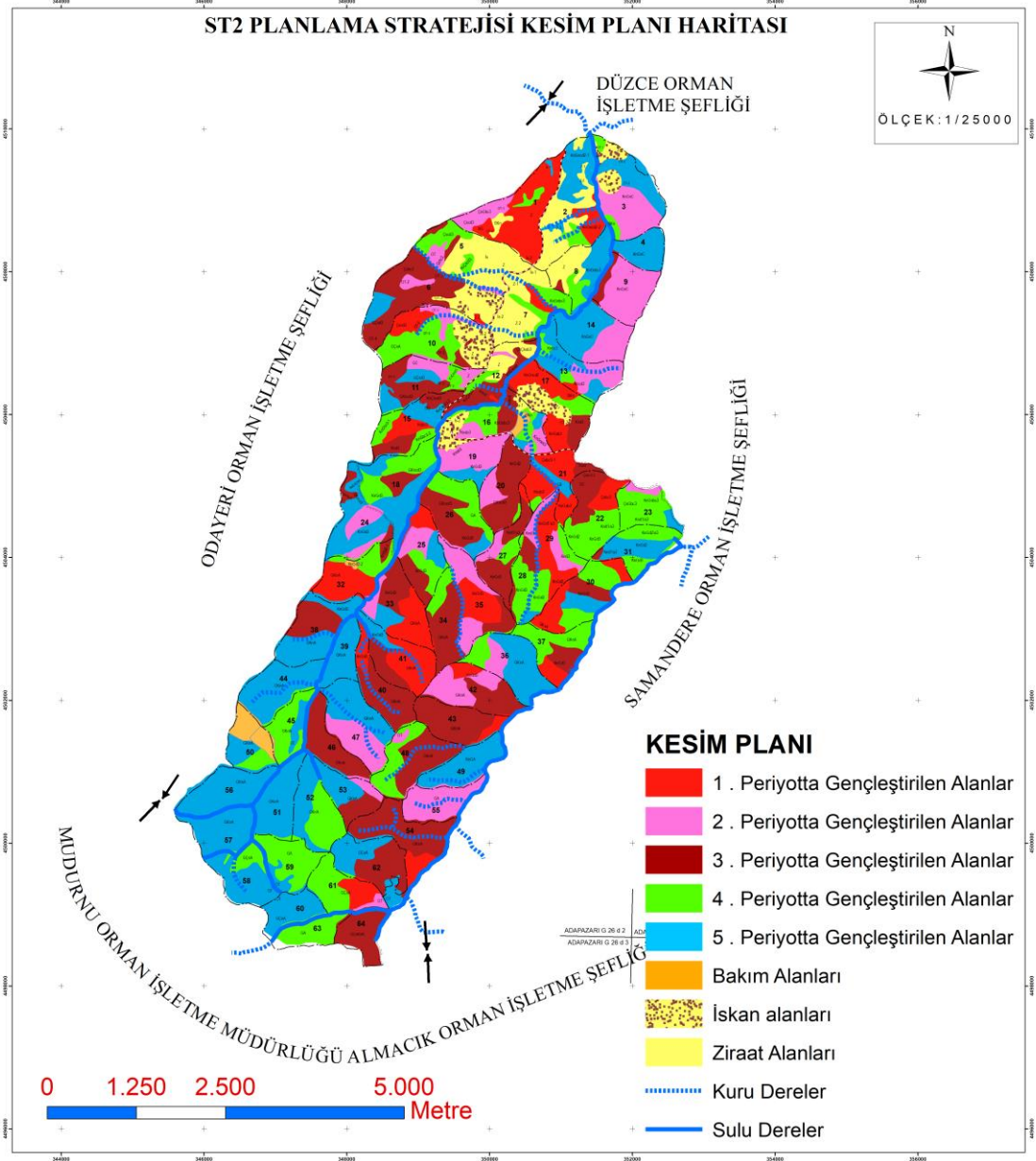
Çizelge 3.25. Tüm stratejilerin periyotlar itibariyle müdahale şekillerine göre meşcere sayıları dağılımları.

MÜDAHALE ŞEKLİ	ST1	ST2	ST3	ST4	ST5	ST6	ST7
	Meşcere Sayısı (adet)						
1. Periyotta Gençleştirme	38	38	38	38	38	67	2
2. Periyotta Gençleştirme	38	38	38	38	38	125	6
3. Periyotta Gençleştirme	67	67	66	66	66	33	5
4. Periyotta Gençleştirme	58	59	59	59	59	29	11
5. Periyotta Gençleştirme	65	64	64	65	64	12	5
Bakıma Konu Edilen	4	4	5	4	5	4	241
TOPLAM	270	270	270	270	270	270	270

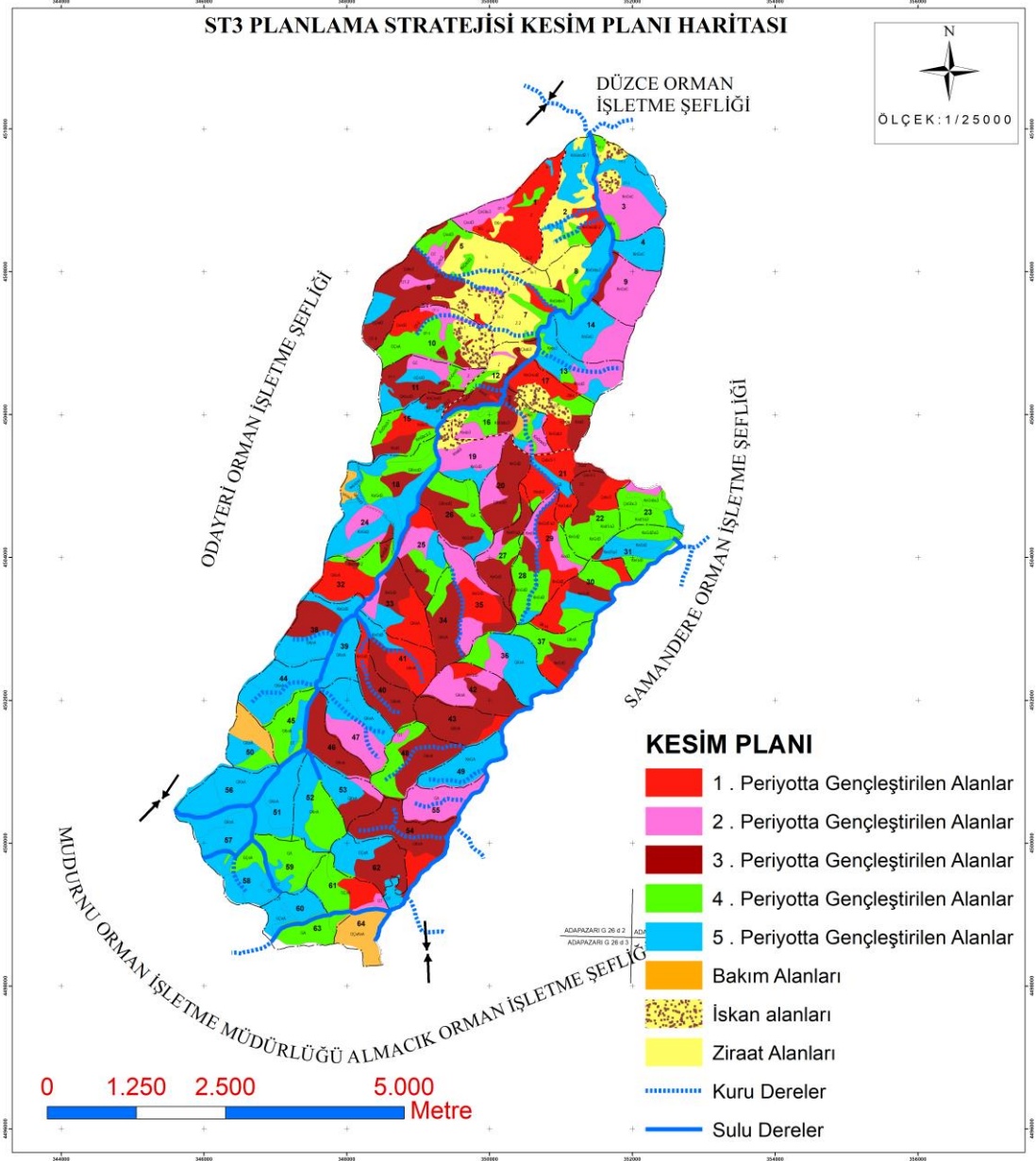
Planlama stratejilerinin periyotlar itibariyle planlama ufku boyunca uyguladıkları kesim planları aşağıdaki şekillerde detaylı olarak gösterilmiştir. ST1 stratejisi Şekil 3.41, ST2 Stratejisi Şekil 3.42, ST3 stratejisi Şekil 3.43, ST4 stratejisi Şekil 3.44, ST5 stratejisi Şekil 3.45, ST6 stratejisi Şekil 3.46 ve ST7 stratejisi Şekil 3.47’de gösterilmiştir.



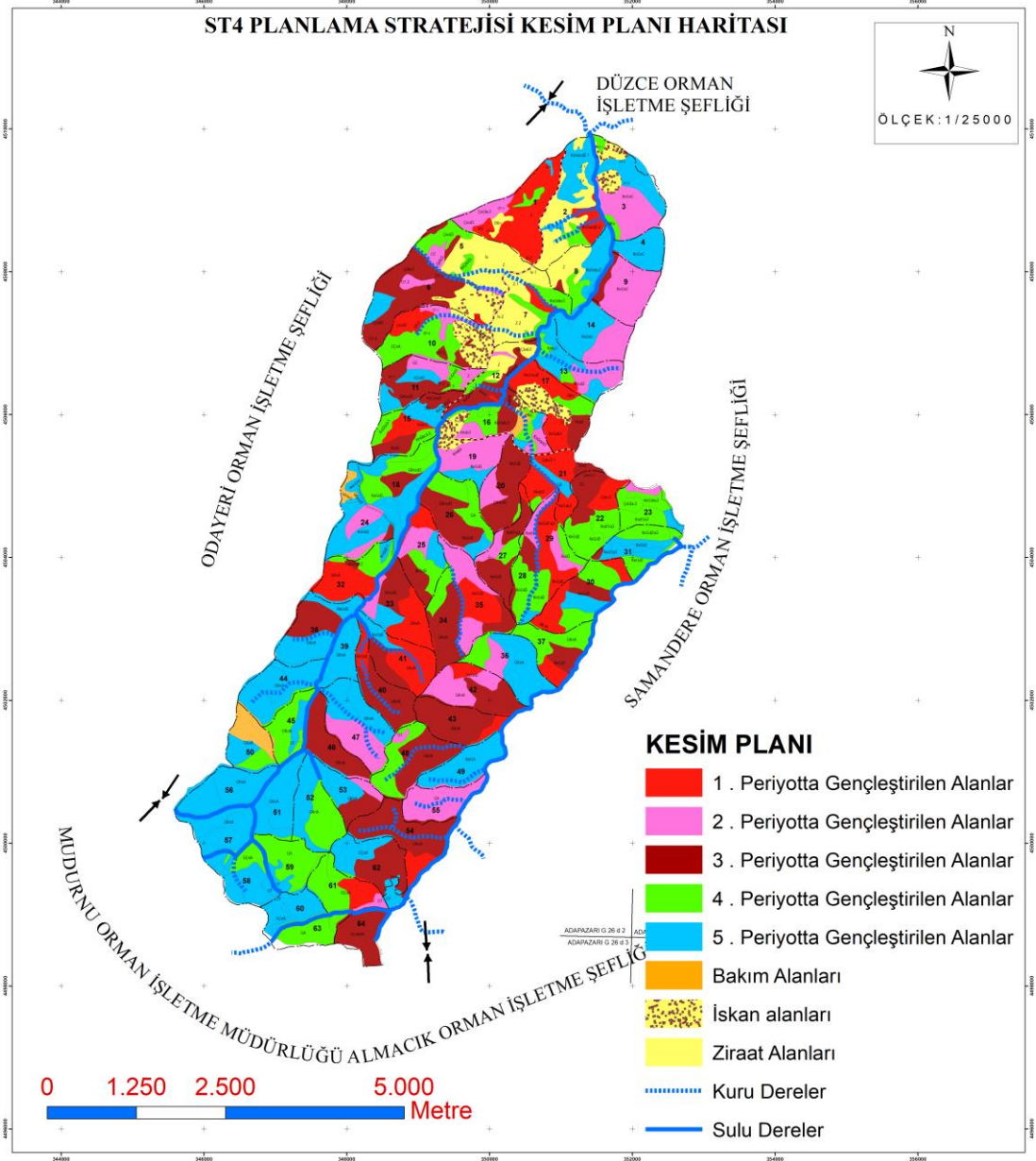
Şekil 3.41. ST1 Planlama stratejisi plan ufku boyunca kesim planı haritası.



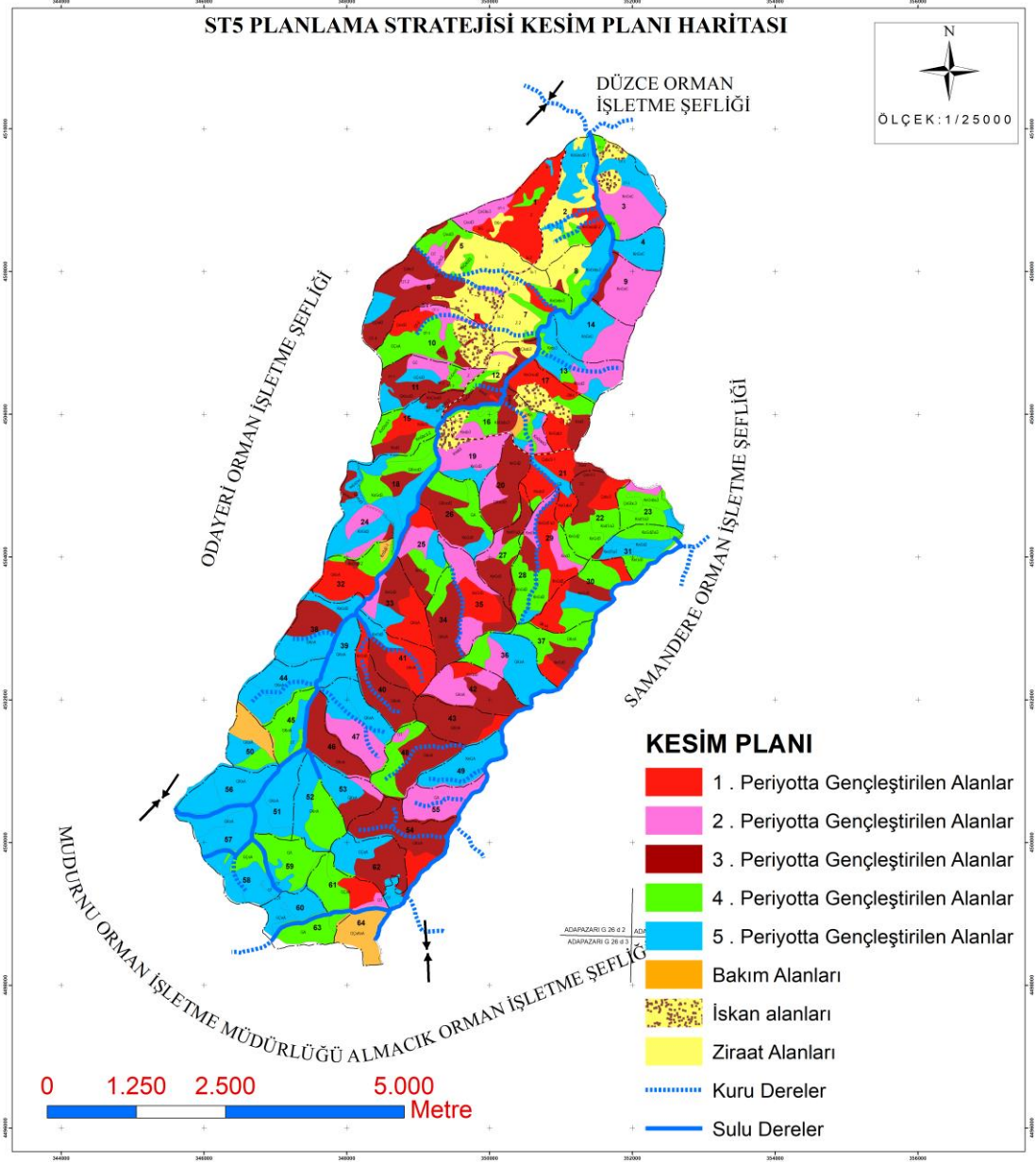
Şekil 3.42. ST2 Planlama stratejisi plan ufku boyunca kesim planı haritası.



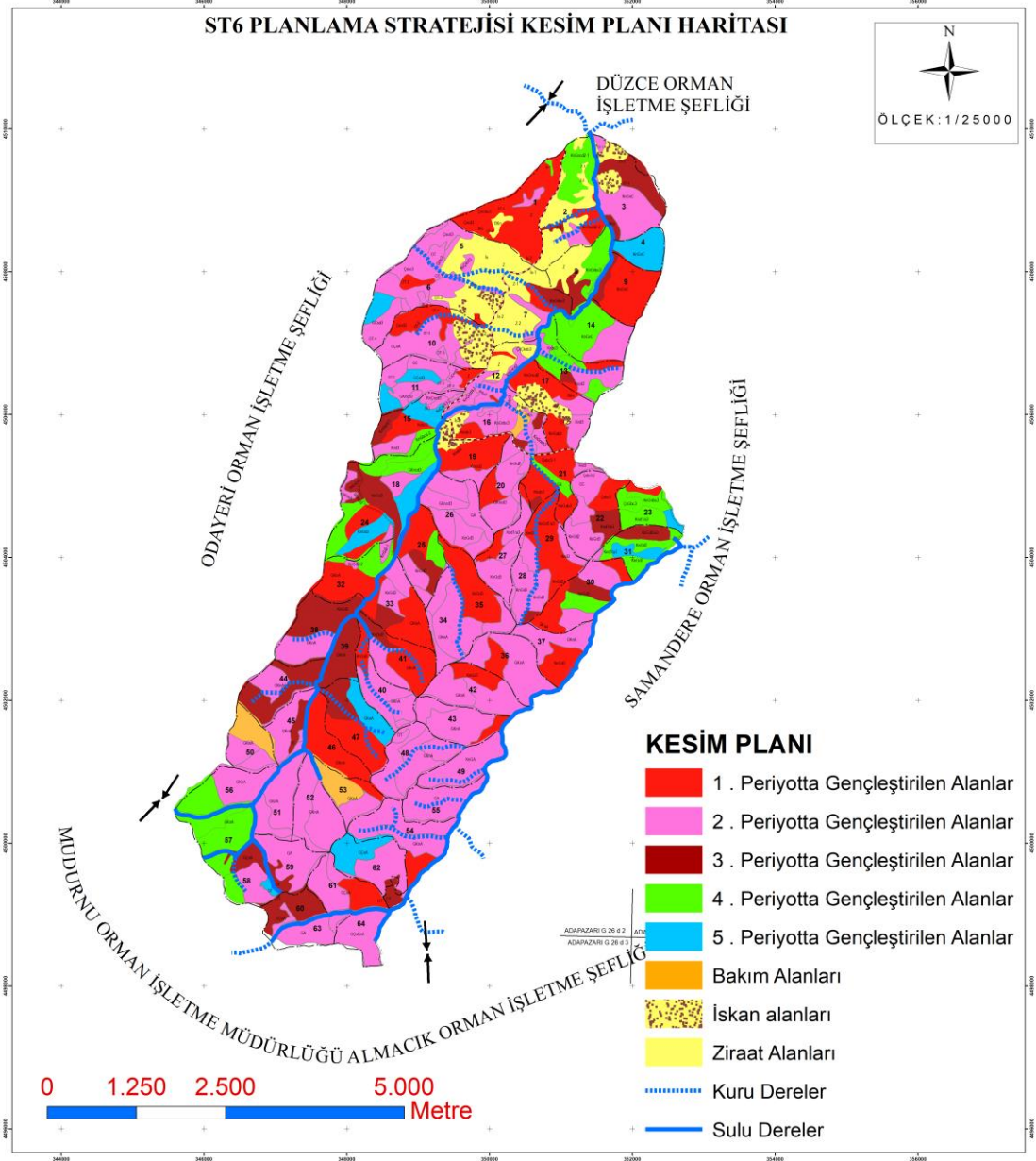
Şekil 3.43. ST3 Planlama stratejisi plan ufku boyunca kesim planı haritası.



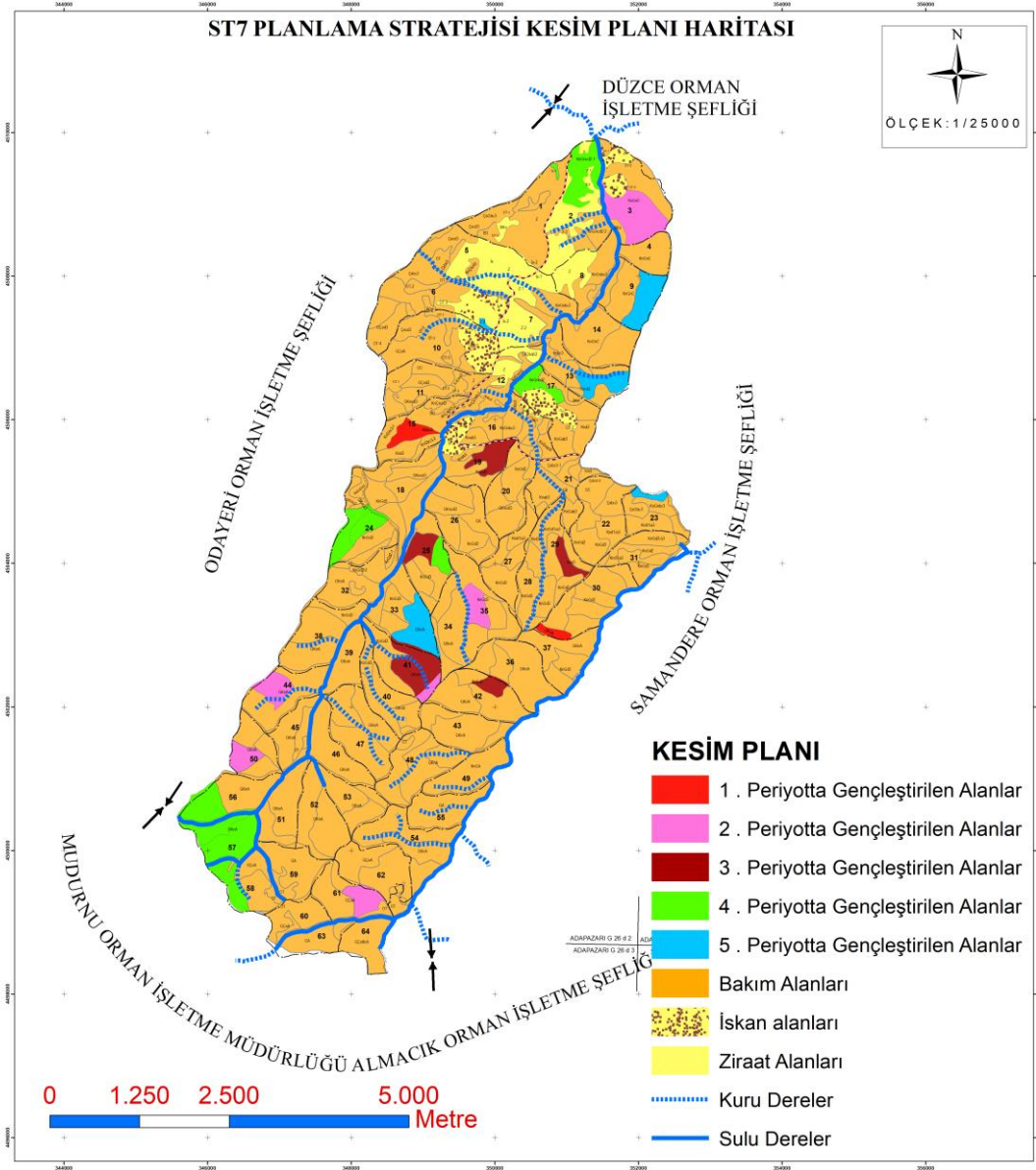
Şekil 3.44. ST4 Planlama stratejisi plan ufku boyunca kesim planı haritası.



Şekil 3.45. ST5 Planlama stratejisi plan ufku boyunca kesim planı haritası.



Şekil 3.46. ST6 Planlama stratejisi plan ufku boyunca kesim planı haritası.

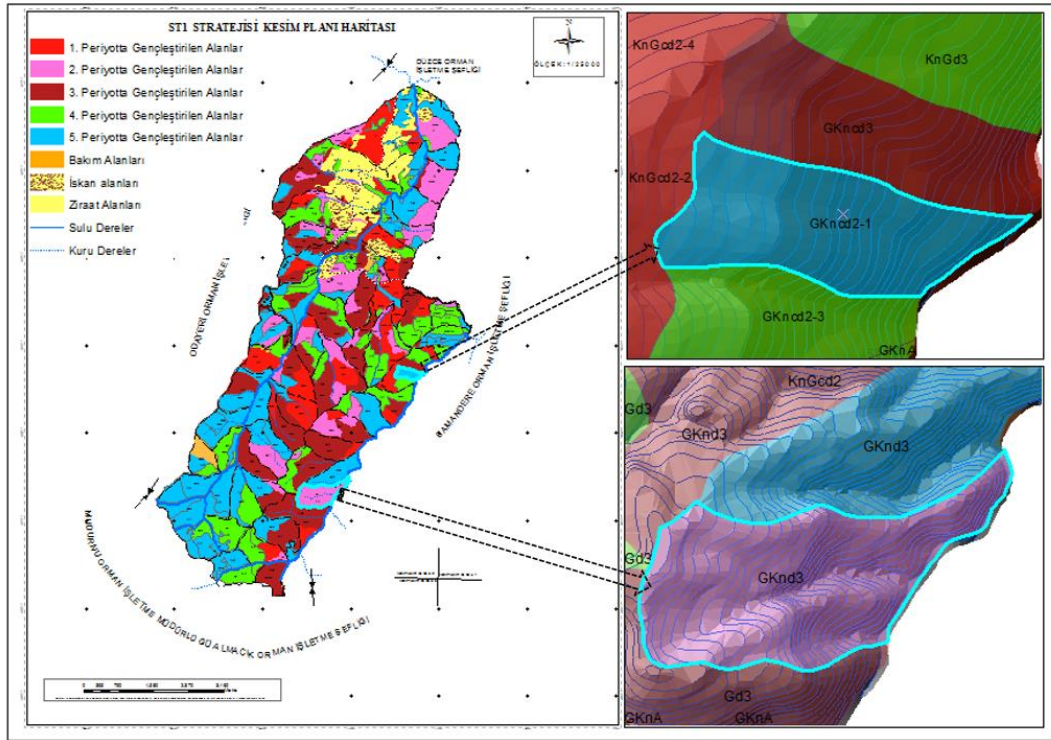


Şekil 3.47. ST7 Planlama stratejisi plan ufku boyunca kesim planı haritası.

Tüm planlama stratejilerinde her bir meşçereye hangi periyotta hangi silvikültürel müdahalenin yapıldığı, hangi periyotta ne kadar bakım etası alındığı görülebilmektedir. Örnek olarak ST1 planlama stratejisinin GKnd3 ve KnGcd2 meşçerelerine ilişkin müdahale şekilleri ve alınan bakım etaları Çizelge 3.26’da, planlama birimindeki konumları ise Şekil 3.48’de verilmiştir.

Çizelge 3.26. GKnd3 ve KnGcd2 meşcerelerinin ST1 stratejisindeki kesim düzenleri.

Periyotlar	GKnd3	GKncd2
	Bakım Miktarı (m ³)	
1P	637,6	2,309
2P	Gençleştirme	4,870
3P	153,8	10,28
4P	184,5	24,53
5P	243,6	Gençleştirme



Şekil 3.48. GKnd3 ve KnGcd2 meşcerelerinin ST1 planlama stratejisindeki durumları ve konumları.

GKnd3 ve GKncd2 meşcerelerinin tüm planlama stratejilerindeki bakım etaları ve kesim planları incelendiğinde, ilk beş stratejinin aynı kesim planını uyguladığı ve GKnd3 meşceresini 2. periyotta gençleştirmeye aldığı, GKncd2 meşceresini ise 5. periyotta gençleştirdiği görülmektedir. ST6 planlama stratejisi GKnd3 meşceresini ilk beş stratejiyle aynı periyotta gençleştirmeye alırken, GKncd2 meşceresini ise 4. periyotta gençleştirmeye almıştır. ST7 planlama stratejisi ise her iki meşcereyi de plan ufku boyunca gençleştirmeye konu etmemiştir. ST7 planlama stratejisi her iki meşcereyi de sadece bakıma konu etmiş ve diğer planlama stratejilerine göre daha yüksek miktarda bakım etası almıştır (Çizelge 3.27 ve Çizelge 3.28).

Çizelge 3.27. GKnd3 meşçeresi tüm stratejilere göre kesim düzeni.

GKnd3	PERİYOTLAR				
	1P	2P	3P	4P	5P
Stratejiler	Bakım Etası (m ³)	Bakım Etası (m ³)	Bakım Etası (m ³)	Bakım Etası (m ³)	Bakım Etası (m ³)
ST1	637,6	Gençleştirme	153,7	184,5	243,6
ST2	637,6	Gençleştirme	153,7	184,5	243,6
ST3	637,6	Gençleştirme	153,7	184,5	243,6
ST4	637,6	Gençleştirme	153,7	184,5	243,6
ST5	637,6	Gençleştirme	153,7	184,5	243,6
ST6	637,6	Gençleştirme	153,7	184,5	243,6
ST7	1275,2	637,6	669,5	702,9	738,2

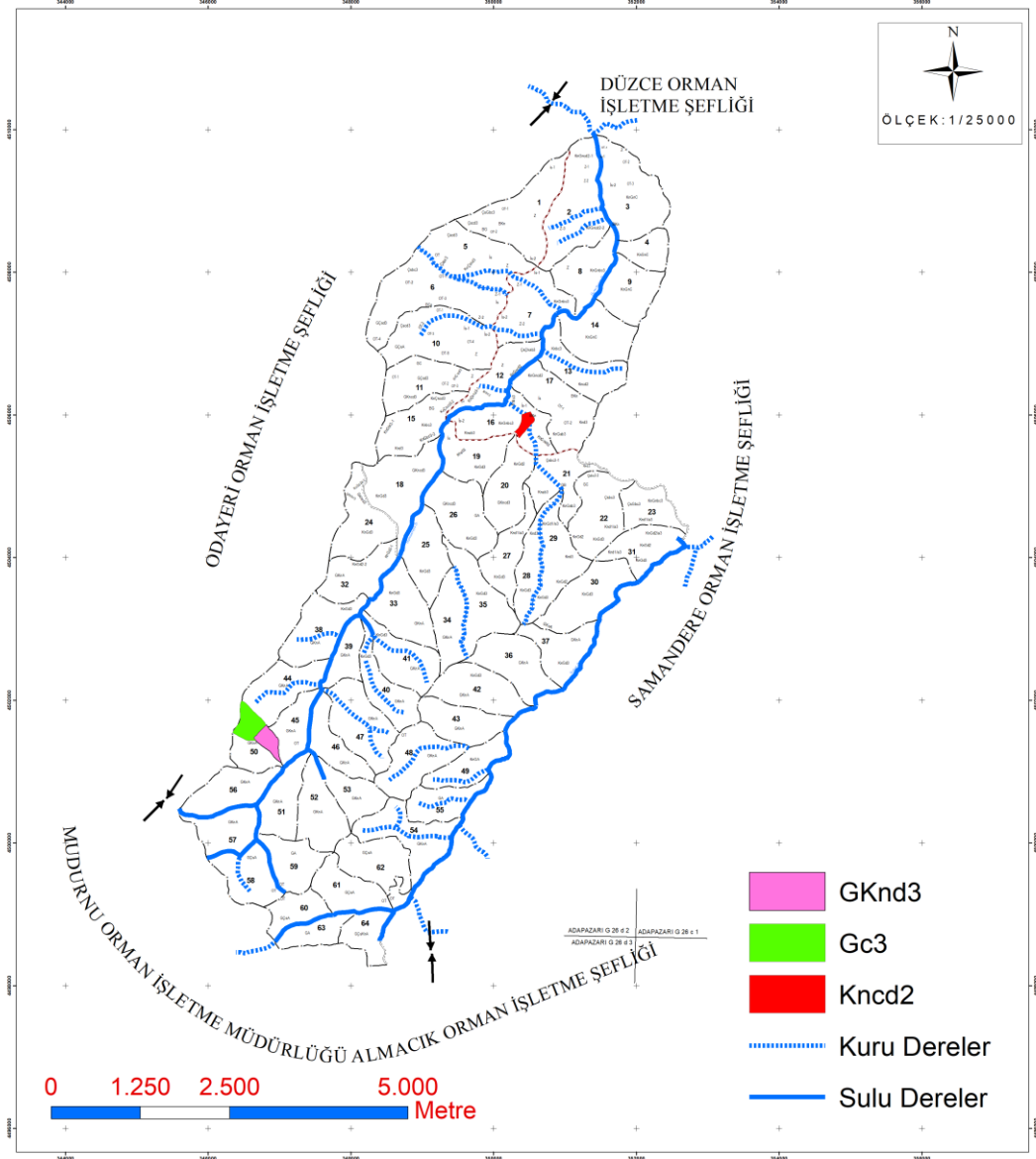
Çizelge 3.28. GKncd2 meşçeresi tüm stratejilere göre kesim düzeni.

KnGcd2	PERİYOTLAR				
	1P	2P	3P	4P	5P
Stratejiler	Bakım Etası (m ³)	Bakım Etası (m ³)	Bakım Etası (m ³)	Bakım Etası (m ³)	Bakım Etası (m ³)
ST1	2,309	4,870	10,28	24,53	Gençleştirme
ST2	2,309	4,870	10,28	24,53	Gençleştirme
ST3	2,309	4,870	10,28	24,53	Gençleştirme
ST4	2,309	4,870	10,28	24,53	Gençleştirme
ST5	2,309	4,870	10,28	24,53	Gençleştirme
ST6	2,309	4,870	5,140	Gençleştirme	22,168
ST7	2,309	7,308	9,793	11,53	11,72

Planlama modeli amaç fonksiyonuna göre en uygun şekilde ve en uygun zamanda meşçereleri gençleştirmeye almaktadır. Gençleştirmeye alınmayan meşçerelere ise tüm periyotlarda bakım uygulanmaktadır. Planlama biriminde, farklı amaçlara göre geliştirilen 7 ayrı planlama stratejinin hiç birinde gençleştirilmeyen 3 farklı meşçere olduğu tespit edilmiştir. Bu meşçerelerin hepsi işletme amacına göre daha önce belirlenen hidrolojik fonksiyonlu orman alanları içerisinde kaldığı belirlenmiştir. Tüm stratejiler tarafından sadece bakım yapılan bu 3 meşçerenin eğimleri % 25-45 arasında değişmektedir. Planlama stratejileri tarafından amaç fonksiyonunu optimize ederken gerek maliyet gerekse de su veya karbon bağlanmasına yaptıkları katkılarından dolayı bu meşçereler gençleştirmeye konu edilmeden, sadece bakım etası alınarak değerlendirilmiştir. Bu meşçerelere ilişkin bilgiler Çizelge 3.29'da ve planlama birimindeki konumsal dağılımları ise Şekil 3.49'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.29. Planlama ufku boyunca hiçbir strateji tarafından gençleştirmeye alınmayan meşcereler.

Bölme No	Meşcere Tipi	Eğim	Alan	Fonksiyon	ST1	ST2	ST3	ST4	ST5	ST6	ST7
16	Kncd2	34	4,6	Hidrolojik							
50	GKnd3	43	8,8	Hidrolojik		Bakım					
50	Gc3	25	13,9	Hidrolojik							



Şekil 3.49. Planlama stratejilerince hiç bir periyotta gençleştirmeye alınmayan meşcerelerin konumsal dağılımları.

3.4.3. Plan Stratejileri Sonuçları İle Klasik Plan Sonuçlarının Karşılaştırılması

Çiçekli orman işletme şefliği için 2009 yılına ait klasik planlama yaklaşımına göre hazırlanan ve mevcut durumda uygulanan orman amenajman planı sonuçları ile tez kapsamında 7 farklı stratejiden elde edilen etaların, gençleştirme alanlarının ve dikili servet miktarlarının durumu karşılaştırıldığında, 2009-2028 yılları arasındaki periyotta 142 270 m³ son hasılat etasının, 162 566 m³ ara hasılat etasının verildiği görülmektedir. Toplamda 20 yıllık bir periyotta 304 836 m³ eta alınması kararlaştırılmıştır.

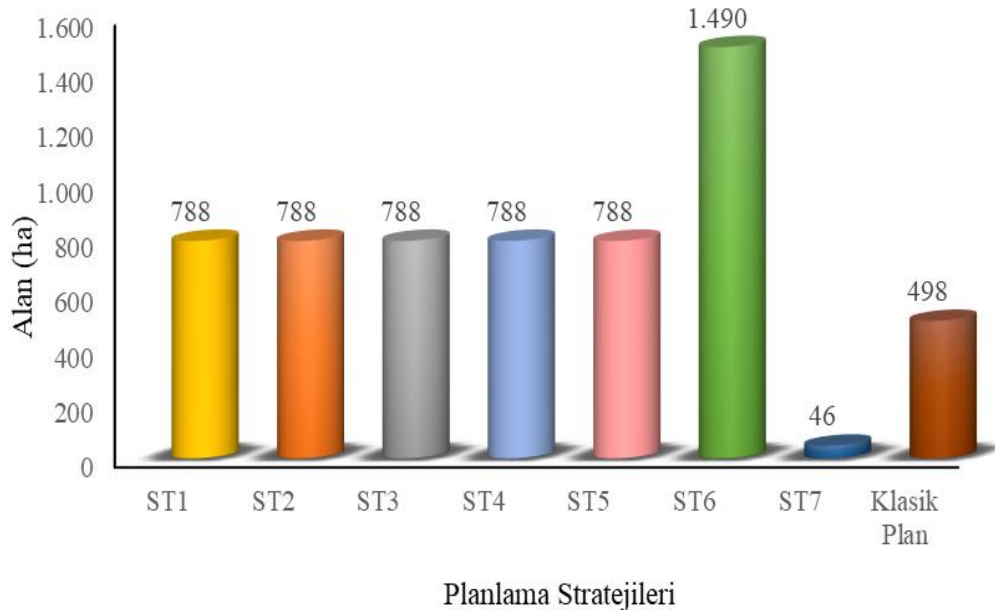
Planlama modeli sonuçlarıyla klasik plan sonuçlarını karşılaştırabilmek için her bir stratejinin ilk 20 yıllık sonuçları dikkate alınmıştır ve değerlendirmeler yaklaşık aynı yılları kapsayan ilk periyotlara göre yapılmıştır. Ara hasılat etası miktarları incelendiğinde klasik planda karar verilen ara hasılat etasının sadece periyodik gençleştirme eta ve OPA kısıtı olmayan ST6 planlama stratejisinden fazla, diğer tüm stratejilerdeki ara hasılat etalarından ise az olduğu görülmektedir. ST6 planlama stratejisi etaların çoğunluğunu son hasılat olarak aldığından klasik plan verilerinden düşük ara hasılat etası çıkmaktadır. Son hasılat etası bakımından ise ilk periyot sonuçlarına göre klasik plana ait son hasılat etaları sadece ST7 planlama stratejisinden fazladır. Periyodik gençleştirme kısıtının olması ST7 planlama stratejisinin son hasılat eta miktarını kısıtlamıştır ve klasik plandan az eta alınmıştır. Diğer planlama stratejileri son hasılat etası bakımından klasik plana göre en az 3-4 kat fazla son hasılat etası almışlardır. Toplam eta bakımından da sadece ST7 planlama stratejisi, klasik planın toplam eta miktarının altında kalmıştır. Klasik plan toplam eta bakımından diğer stratejilerin altında bir değere sahiptir (Çizelge 3.30).

Çizelge 3.30. İlk periyottaki planlama strateji sonuçları ile klasik plana ait eta ve dikili servet miktarlarının dağılımı.

20 Yıllık İlk Periyot Sonuçlarına Göre				
Stratejiler	Ara Hasılat	Son Hasılat	Toplam Eta	Dikili Servet
	Etası	Etası		
	m ³	m ³	m ³	m ³
ST1	118094	1050692	1168786	1085233
ST2	116995	1050691	1167686	1086332
ST3	117020	1050691	1167711	1086307
ST4	116314	1050691	1167005	1087012
ST5	116995	1050691	1167686	1086332
ST6	64703	1793626	1858329	799118
ST7	180071	79227	259298	1451191
Klasik Plan	162566	142270	304836	1691857

Çizelge 3.30’da görüldüğü üzere toplam dikili servet miktarı bakımından klasik plan dikili servet değeri tüm stratejilere göre daha yüksektir. Planlama stratejilerinin dikili servet miktarları ilk periyottaki uygulama ve müdahalelerden sonraki duruma göre değerlendirilmiştir. Planlama birimi başlangıçtaki dikili serveti her stratejide eşit olduğundan ilk periyot uygulama sonuçlarından sonraki dikili servet değerleri tabloda verilmiştir. Alınan toplam eta miktarları planlama stratejilerinde yüksek olduğundan dikili servet miktarını düşmesine neden olmuştur. Toplam eta bakımından ilk periyotta klasik plana ait toplam eta miktarından düşük olan ST7 planlama stratejisi dikili serveti klasik planın dikili servet miktarına yakındır. Klasik plan dikili serveti 1 691 857 m³ iken ST7 planlama stratejisi bu değere yakın ve 1 451 197 m³ dikili servete sahiptir. Klasik planın dikili servetiyle en fazla fark bulunan strateji ST1 planlama stratejisidir ve 1 085 233 m³ dikili servet miktarı vardır.

Klasik planda ilk periyotta gençleştirmeye konu edilen alan miktarı 498 hektardır. Bu alan miktarı periyodik gençleştirme kısıtı olan ST7 planlama stratejisinin ilk periyodunda gençleştirmeye konu edilen alandan fazladır. OPA kısıtı olan ilk beş stratejide OPA miktarının üstünde ve hepsinde 788 ha orman alanı gençleştirmeye alınmıştır. ST6 planlama stratejisi ise OPA’nın yaklaşık 2 katı alanı gençleştirmeye konu etmiştir. Klasik planda gençleştirmeye konu edilen alan OPA ve İlk 6 stratejinin çok altında kalmaktadır (Şekil 3.50).



Şekil 3.50. Planlama stratejileri ile klasik planın ilk periyotta gençleştirmeye alınan alanları.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Toplumun orman kaynaklarına yönelik gittikçe artan ve çeşitlenen talepleri nedeniyle, ormancılıkla ilgili alınacak kararların odun üretimi dışındaki biyolojik çeşitlilik, karbon depolama, hidrolojik, estetik gibi diğer değerler ile ilişkilerinin ortaya koyulması ve çok boyutlu orman ekosistemi üzerindeki potansiyel etkilerinin kestirilmesi gerekmektedir. Orman ekosistemi içerisindeki karmaşık ilişkiler konumsal ve zamansal olarak tam anlamıyla ortaya koyulamadığından en doğru kararı almak da zorlaşmaktadır. Karar vericilerin halkın taleplerinin karşılanmasına yönelik doğru karar alabilmeleri ve taleplere cevap verebilmeleri için ormanların çok amaçlı olarak planlanması ve uzun vadeli kestirimlerin yapılması zorunludur. Ayrıca her bir planlama biriminin sahip olduğu ekosistem değerlerinin belirlenmesi ve bu değerlerin sayısal olarak ifade edilmesi gerekmektedir. Sayısal olarak belirlenen planlama birimi ekosistem değerlerinin bilimsel karar verme teknikleri ile bir planda bir araya getirilmesi ile, uzun vadeli planlama mümkün olmaktadır. Ormanlardan modelleme teknikleri kullanılarak çok amaçlı faydalanmanın gerçekleştirilebilmesi için disiplinler arası bir envanter çalışması yapılmalı ve meşçere parametreleri ile talep edilen çeşitli ekosistem hizmetleri arasındaki ilişkilerin sayısal olarak ifade edilmesi gerekmektedir.

Karışık tamsayı amaç programlama tekniği kullanılarak gerçekleştirilen bu tez çalışmasında, en önemli avantaj olarak bir meşçerenin tamamının herhangi bir periyotta bir işlem ünitesi olarak ele alınabilmesi gösterilebilir. Daha önceki yıllarda doğrusal programlama tekniğini kullanarak yapılan modelleme çalışmalarında periyotlar boyunca meşçerelerin tamamı değil, küçük parçalara ayrılarak işletilmeleri söz konusudur. Bu durum uygulayıcılar açısından istenmeyecek bir durumdur ve uygulayıcı hangi periyotta meşçerenin neresine müdahale edileceği konusunda sorunlar yaşayabilmektedir. Karışık tamsayı programlama tekniği ile bir meşçereyi sadece bir periyotta gençleştirme mümkün olmakta ve bu durum planın uygulanabilirliğini önemli ölçüde artırmaktadır. Bu şekilde yapılacak bir planlama da karşımıza dezavantaj olarak çıkabilecek durum ise, alanı çok büyük olan bir meşçerenin tamamının bir periyotta kesilmesi ile meydana gelebilecek olumsuzluklardır. Bu olumsuzlukların giderilebilmesi

için işletme amacına göre değerlendirmeler yapıp gerekli tedbirler alınmalı veya plana başlamadan önce meşcereler daha küçük parçalara ayrılmalıdır.

Bu çalışma kapsamında odun üretiminin yanı sıra, su verimi, su kalitesi ve topraküstü biyokütlede bağlanan karbon miktarına yönelik 100 yıllık bir planlama ufkundaki değişimleri izlemek, bu değişimlerle birlikte farklı stratejiler altında ormandan elde edilecek kârı maksimize etmek amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda öncelikle ormandan çıkan su miktarı ve alan envanterine yönelik çalışmalar yapılmış, çeşitli havza özellikleri ve meşcere dinamikleri ile su verimi arasındaki ilişkiler ortaya koyulmuştur. Aynı şekilde su kalitesi ile meşcere dinamikleri arasındaki ilişkilerin de ortaya koyulması için çalışmalar ve ölçümler yapılmıştır. Bir yandan su miktarı ve kalitesine yönelik ölçümler yapıp ilişkiler aranırken diğer yandan planlama modeline yönelik olarak plan ünitesindeki her bir bölmecik/meşcere için büyüme matrisleri oluşturulmuştur. Planlama biriminden elde edilecek kârın değişik stratejiler altında maksimize edilmesi hedeflendiğinden, su, karbon ve odun ürün çeşitlerine ilişkin birim fiyatlar belirlenmiş ve modele eklenmiştir.

Planlama birimi olarak alan envanteri ve su üretimine yönelik çalışmaların yapıldığı 29 havzanın 13'ünü içinde barındıran Çiçekli orman işletme şefliği seçilmiştir. Plan ünitesi ormanları, genel olarak ibrelili ağaç türlerinden oluşmakla birlikte, yapraklı ağaç türleri de yayılış göstermektedir. Çiçekli orman işletme şefliği alanının yaklaşık %88'i orman alanlarıyla kaplıdır. 410 m ile 1631 m arasında yükseltilere sahip planlama biriminde ortalama eğim %35-%45 civarındadır.

İşletme amacı olarak 7 farklı strateji geliştirilmiş ve her bir stratejide amaç fonksiyonuna göre elde edilecek kârın maksimize edilmesi sağlanmıştır. ST1 planlama stratejisinde sadece odun, ST2 planlama stratejisinde odun ve su üretimi, ST3 planlama stratejisinde odun ve karbon, ST4 planlama stratejisinde odun, su ve karbon, ST5 planlama stratejisinde odun ve su ile birlikte su kalitesi, ST6 planlama stratejisinde OPA kısıtı olmadan odun, su ve karbon ve son olarak ST7 planlama stratejisinde OPA kısıtı olmadan, periyodik gençleştirme kısıtı altında odun, su ve karbondan elde edilecek kârın maksimize edilmesi amaçlanmıştır. Farklı amaç fonksiyonlarına göre elde edilecek kârı maksimize edecek farklı kesim düzenlerinin oluşması ve bu kesim düzenine göre planlama biriminden elde edilecek odun ürün miktarları, su üretim miktarı ve bağlanan karbon miktarlarının nasıl değiştiği belirlenmiştir. Amaç fonksiyonlarındaki amacın değişimi ile birlikte kesim düzenindeki farklılıklar ve ürün

çeşitlerinin değişimleri incelenmiştir. Ayrıca eta miktarlarının ve planlama birimi dikili servet miktarlarının her bir strateji için nasıl bir değişim gösterdiği belirlenmiştir. Her bir planlama stratejisinin farklı amaç ve kısıtlar altında kârını maksimize etmek adına uyguladığı kesim planı ve elde edilen gelirlerin odun, su ve karbona göre dağılımları da belirlenmiştir.

Su verimi ve su kalitesine yönelik planlama modelinin temelini oluşturmaya yönelik havzalarda yapılan çalışmalarla elde edilen verilerin, gerek laboratuvar analizi gerekse istatistiki analizleri sonucunda planlama modelinde kullanılabilecek şekilde orman parametreleriyle ilişkileri ortaya koyulmuştur. Havzaların birim alandan gelen akış miktarları ile bağımsız değişkenler (havza, meşcere ve toprak özellikleri) arasındaki ilişkiler çoklu doğrusal regresyon analizi ile belirlenmiş ve yapılan çoklu doğrusal regresyon analizinde adjusted R² değeri 0,66 olarak bulunan, havzanın alanı, hacmi ve özellikle toprak özellikleriyle ilişkili olduğu denklemin kullanılması uygun görülmüştür. Tez çalışması kapsamında su kalite parametrelerinden, kaliteli su için önemli oldukları kabul edilen nitrat, pH ve askıda katı madde parametreleri kullanılmıştır. Bu belirlenen kalite parametrelerinin havza karakteristikleri ve orman dinamikleri arasındaki ilişkilerin belirlenmesine yönelik çoklu doğrusal regresyon analizleri yapılmıştır. Kalite parametrelerine yönelik adjusted R² değeri en yüksek ve uygulanabilir olan denklemler bulunmuş ve modele dâhil edilmiştir.

Farklı amaç fonksiyonlarına göre geliştirilen 7 farklı stratejinin, kârı maksimize etmek için farklı kesim planları yaptığı ve farklı amaç fonksiyonu değerlerine ulaştığı görülmektedir. Tüm planlama stratejilerinden amaç fonksiyon değeri en yüksek olan yani işletmenin elde edeceği kârı maksimum yapan ST6 planlama stratejisi olmuştur. ST6 stratejisinin en yüksek kârı elde etmesinde OPA kısıtının ve periyodik eta dalgalanması kısıtının olmamasının etkili olduğu görülmektedir. Yıllık yaklaşık 5,0 milyon TL kar elde edilen ST6 stratejisini, yıllık yaklaşık 4,3 milyon TL kar ile ST4 stratejisi takip etmiştir. ST2 ve ST5 stratejilerinde de elde edilen kar ST4 stratejisine çok yakın olmakla beraber daha düşüktür. En düşük kârın elde edildiği strateji yıllık 2,04 milyon TL kâr ile ST1 planlama stratejisi olmuştur. ST1 planlama stratejisinde sadece odun üretiminden elde edilecek kârı maksimize etmeye yönelik amaç fonksiyonunun olması diğer stratejilere göre daha düşük kâr elde edilmesine sebep olmuştur. Su üretimi ve karbon miktarı diğer stratejilerin amaç fonksiyonu değerini arttırmıştır. ST3 stratejisi odun üretimi ile bağlanan karbon miktarından elde edilecek

kârı maksimize etmeye çalışmış ve yıllık yaklaşık 2,07 milyon TL kâr elde etmiştir. ST1 planlama stratejisinden farklı olarak bağlanan karbon miktarı değerinin eklenmesi ile ST3 planlama stratejisi amaç fonksiyonu değeri yıllık yaklaşık 0,3 milyon TL artmıştır. Periyodik gençleştirme yani bir periyottaki gençleştirmeden elde edilecek etayı sınırlayan kısıtın eklendiği ST7 stratejisinde ise yıllık yaklaşık 2,8 milyon TL kâr elde edilmiştir. Düşük kar değerine sahip stratejilerde amaç fonksiyonlarında özellikle su üretimi gelirinin bulunmadığı dikkat çekmiştir.

Plan ufku boyunca (100 yıl) her bir stratejinin elde ettiği kârların odun üretimi, su miktarı ve karbon miktarlarına göre dağılımları incelendiğinde, odun üretiminden en çok kâr elde eden strateji 272,6 milyon TL ile ST6 planlama stratejisi olmuştur. Karbon ve su miktarından elde edilen kâr bakımından ise ST6 planlama stratejisi en son sırada yer almıştır. Karbon miktarından 2,6 milyon TL, su üretiminden ise 225,3 milyon TL kâr elde etmiştir. NBD hesabında özellikle ilk periyottan sonraki periyotların parasal değerleri şimdiye çekildiğinden daha düşük miktarlar olmaktadır. ST6 planlama stratejisi ilk periyotta çok fazla gelir elde etmiştir ve bu gelir amaç fonksiyon değerini diğer stratejilere göre daha yüksek yapmıştır. Odun üretiminden elde edilecek kârın en düşük olduğu strateji ise 49,2 milyon TL ile ST7 planlama stratejisidir. Çünkü periyodik gençleştirme miktarı 100 000 m³'lük bir üst değer ile kısıtlandığından son hasılat eta miktarı diğer stratejilerin çok altındadır. Bu durum dikili servetin birikimine yol açması nedeniyle ST7, su ve karbon gelirleri açısından da en fazla kârın elde edildiği strateji olmuştur. ST7 planlama stratejisine göre 5,3 milyon TL karbondan, 281,3 milyon TL de su üretiminden gelir elde edilmektedir. OPA kısıtı olan ilk 5 strateji de ise birbirlerine yakın gelirler elde edilmekle beraber ST2 189,4 milyon TL gelir ile odun geliri bakımından en düşük strateji olmuştur. İlk beş stratejinin karbon gelirleri ve su gelirleri birbirlerine yakındır ve karbondan yaklaşık 3,1 milyon TL, su üretiminden ise yaklaşık 225,8 milyon TL gelir elde edilmiştir. Karbon gelirlerinin amaç fonksiyon değerlerini çok fazla etkilemediği fakat su gelirlerinin amaç fonksiyonuna çok büyük katkısının olduğu bu sonuçlardan anlaşılmaktadır. Ormanlardan üretilecek su miktarının parasal değerinin dikkate alınması elde edilecek gelir miktarını yaklaşık iki kat arttırmıştır.

Planlama birimi dikili servet miktarları ilk beş planlama stratejisinde tüm periyotlarda aynı miktarlarda azalış göstermiştir. OPA kısıtı bulunan bu ilk beş stratejide kesim düzenleri birbirlerine çok benzer şekilde oluşmuştur. OPA kısıtı bulunmayan ST6 planlama stratejisinin dikili serveti ise ilk 3 periyotta ciddi azalış göstermiş, son iki

periyotta ise artmıştır. Dikili servet miktarını tüm periyotlarda arttıran tek planlama stratejisi ST7 planlama stratejisidir. Periyodik gençleştirme kısıtının olduğu ST7 planlama stratejisinde gençleştirme alanları çok yüksek olmadığından, ormandan alınan eta miktarı ormanın artımının altında kalmış ve servet birikimi meydana gelmiştir. İlk beş stratejide başlangıçtaki dikili servet miktarına göre plan ufku sonunda yaklaşık %42,5 servet kaybı oluşmaktadır. ST6 planlama stratejisi %43,2 dikili servet kaybı yaşarken, ST7 planlama stratejisinde ise %57,3 oranında dikili servet birikimi gerçekleşmektedir. Planlama ufku sonunda en düşük dikili servet miktarı 803 440 m³ ile ST6 planlama stratejisinde gerçekleşirken en yüksek dikili servet değeri ise 2 227 009 m³ ile ST7 planlama stratejisinde gerçekleşmiştir. ST6 planlama stratejisi odun üretimini arttırmak amacıyla OPA'nın üstünde alanlar gençleştirmiş ve bu durum tüm periyotlarda ST6 planlama stratejisinin en düşük dikili servet değerlerine sahip olmasına neden olmuştur.

Planlama birimi dikili servet miktarı bakımından planlama stratejilerinin ilk periyodu ile, 2009 yılı Çiçekli orman işletme şefliği amenajman planında belirlenen dikili servet miktarları karşılaştırıldığında, klasik planda bulunan dikili servet değerinin tüm stratejilerin ilk periyodundaki dikili servet miktarından yüksek olduğu belirlenmiştir. Planlama stratejilerinde alınan toplam eta miktarlarının yüksek olması dikili servet miktarlarını düşürmüştür. Toplam eta bakımından ilk periyotta klasik plandan düşük olan ST7 planlama stratejinin dikili serveti klasik planinkine yakındır. Klasik plan dikili servetine en yakın planlama stratejisi ST7 stratejisi iken, en uzak dikili servet değeri de ST6 planlama stratejisinde belirlenmiştir. Klasik planda gençleştirilen alan miktarı OPA kısıtının olduğu ilk 5 strateji ile OPA kısıtı bulunmayan ST6 planlama stratejinin gençleştirdiği alan miktarından çok daha azdır. ST7 planlama stratejilerinde ise gençleştirilen alan miktarı klasik planinkinden çok düşüktür. Dolayısıyla toplam eta bakımından klasik plan ilk periyotlara göre ST7 planlama stratejisinden fazla iken ST1, ST2, ST3, ST4, ST5 ve ST6 planlama stratejilerinin eta miktarından azdır.

Planlama stratejileri arasında ara hasılat etasının en yüksek olduğu planlama stratejisi periyodik gençleştirme kısıtının bulunduğu ST7 planlama stratejisidir. ST7 planlama stratejisinde 100 yıllık plan ufku boyunca 908 161 m³ ara hasılat etası alınmaktadır. En düşük ara hasılat etasının ise OPA ve periyodik eta dalgalanması kısıtının bulunmadığı ST6 planlama stratejisinde olduğu belirlenmiştir. ST6 planlama stratejisinde OPA kısıtının olmaması gençleştirme etasının yüksek, ara hasılat etasının düşük olmasına

sebepe olmuştur ve toplam 226 732 m³ ara hasılat etası alınmıştır. Ara hasılat etası bakımından ST1, ST2 ST3, ST4 ve ST5 planlama stratejileri birbirlerine yakın ve 359 000 m³ ile 360 000 m³ arasında ara hasılat etası almışlardır. Son hasılat etası yönünden periyodik gençleştirme kısıtı bulunan ST7 planlama stratejisi, tüm periyotlarda küçük miktarlarda orman alanını gençleştirmeye almış ve son hasılat etası bakımından en düşük strateji olmuştur. Toplam son hasılat etası bakımından 4 578 586 m³ eta ile en yüksek son hasılat etasına sahip strateji ST2 planlama stratejisi almıştır. OPA kısıtı bulunan diğer ST1, ST3, ST4 ve ST5 planlama stratejileri de son hasılat etası bakımından ST2'ye yakın miktarlarda olmakla beraber, ST2 planlama stratejisinden yaklaşık 3 000 m³ daha az eta almışlardır.

Farklı planlama stratejilerine göre ormandan alınan orman emvalinin ürün çeşitlerine göre dağılımında tomruk üretimi tüm stratejilerde ilk sırada yer almıştır. Planlama stratejilerinde tomruk üretiminden sonra en fazla üretilen ürün çeşidi yakacak odun üretimi olmuştur. Fakat ST7 planlama stratejisinde maden direği üretimi yakacak odun miktarından fazla üretilmiştir. Maden direği diğer stratejilerin hepsinde yakacak odundan az üretilmiştir. Sanayi odunu üretimi ise tüm periyotlarda en az üretilen ürün çeşidi olmuştur. Tüm planlama stratejilerinde odun üretimi amacı olduğu için ve odun geliri en çok olan ürün çeşidi tomruk olduğundan model tüm stratejilerde tomruk miktarı ve gelirlerini en yüksek seviyeye getirecek şekilde kesim planını belirlemiştir. Gençleştirme etalarının yüksek olduğu stratejilerde tomruk üretimi çok olmaktadır. Bakım etalarının yüksek olduğu stratejilerde ise maden direği üretiminin oranı diğer stratejilere göre artmıştır. Gençleştirmeye konu olan meşcereler belirli bir idare süresi ve çapa ulaşmış olduğundan ürün çeşidi bakımından en fazla tomruk elde edilmektedir. Fakat bakımla alınan etalarda özellikle b (8,0 - 19,9 cm) ve c (20,0 – 35,6 cm) çağlarında yapılan bakımlarda, maden direği ürün çeşidi tomruktan fazla olacağından bakım kesimleriyle üretilecek ürün miktarı çeşitlerinde maden direği oranı yükselmektedir.

Planlama stratejileri periyodik olarak bağlanan karbon miktarları bakımından değerlendirildiğinde ST7 planlama stratejisinin tüm periyotlarda karbon birikimi yapmaya devam ettiği görülmektedir. Periyodik gençleştirme kısıtının olması ST7 planlama stratejisinde gençleştirilen alan miktarını kısıtlamış ve alınan eta miktarının ormandaki artımın üzerine çıkmasını engellemiştir. Bu durum da, ST7 planlama stratejisinin dikili servetinin artmasına ve tüm periyotlarda bağlanan karbon miktarının

artmasına sebep olmuştur. ST6 planlama stratejisinde bağlanan karbon miktarları ilk üç periyotta azalmış, son iki periyotta ise artmıştır. OPA ve periyodik eta dalgalanması kısıtı olan ilk beş stratejide periyotlar itibariyle bağlanan karbon miktarları sadece 4. periyotta bir önceki periyoda göre küçük bir artış gösterirken diğer periyotlarda azalmıştır. En düşük karbon bağlama miktarı ST1 planlama stratejisinde gerçekleşirken, ST2, ST3, ST4 ve ST5 planlama stratejilerinde de ST1'e yakın miktarda karbon bağlanmıştır. Planlama biriminin başlangıçtaki karbon miktarına göre, plan ufku sonunda ST1 planlama stratejisinde %56 azalma meydana gelirken, en yüksek karbon bağlamanın gerçekleştiği ST7 planlama stratejisinde yaklaşık %57 oranında artış gerçekleşmiştir.

Planlama stratejilerinin planlama ufku boyunca ormandan ürettikleri toplam su miktarı bakımından ST7 planlama stratejisi en fazla suyun üretildiği strateji olmuştur. ST7 planlama stratejisinde 100 yılda toplam 894,7 milyon m³ su üretimi gerçekleşmiştir. Özellikle periyodik gençleştirme kısıtının gençleştirilen orman alanı miktarını sınırlandırması ve dikili servet miktarına pozitif etki yapması, su üretiminin de artmasına sebep olmuştur. Su miktarı bakımından en düşük su üretimi gerçekleştiren planlama stratejisi 881,9 milyon m³ su ile ST6 planlama stratejisidir. ST6 planlama stratejisinde de OPA kısıtı ve periyodik eta dalgalanması kısıtının olmaması ve modelin ilk iki periyotta çok yüksek miktarda orman alanlarını gençleştirmeye alarak dikili servet miktarını azaltması, su üretimini de negatif yönde etkilemiş ve planlama stratejileri içinde en düşük su üretimi miktarı gerçekleşmiştir. Bu strateji de odun üretimini arttırıp karı yükseltmek istemiş ve özellikle ilk iki periyotta yüksek miktarda orman alanını gençleştirmeye almış ve dikili servetin düşmesine dolayısıyla da üretilen su miktarının az olmasına sebep olmuştur. OPA kısıtı olan ST1, ST2, ST3, ST4 ve ST5 stratejileri de yaklaşık 882 milyon m³ su üretimi gerçekleştirmiştir.

ST5 planlama stratejisinde su üretiminin yanında kalite parametrelerinin de dikkate alınması ve bu bağlamda kesim planı ve gelirlerin hesaplanması amaçlanmıştır. Orman formu, ağaç türü, göğüs yüzeyi ve toprak özellikleri gibi faktörlerin etkili olduğu su kalite parametrelerinden üç tanesi için hesaplamalar yapılmıştır. Bu bağlamda su ve odun gelirinin maksimize edildiği ST5 planlama stratejisinde kalite parametrelerinden pH'nın tüm periyotlarda asidik olduğu gözlenmiştir. Su içerisinde çökebilir veya çökemeyen katı maddelerin oluşturduğu askıda katı madde, akarsularda ani sel ve taşkın durumlarında çok fazla miktarlarda taşınmaktadır. Planlama ufku boyunca 20 yıllık

periyotlarda AKM değerinin olması gereken değerler arasında olduğu görülmektedir. Nitrat bitkiler için büyümede etkili olan bir faktördür ve ST5 planlama stratejisinde planlama ufku boyunca arzu edilen aralıklarda olduğu belirlenmiştir.

Tüm planlama stratejilerinin kesim planlarına bakıldığında periyotlar boyunca en düşük gençleştirme alanına sahip strateji ST7 stratejisidir ve gençleştirmeye konu edilen meşcere sayısı da en düşük bu stratejidedir. ST7 planlama stratejisinde planlama ufku boyunca toplam 29 adet meşcere gençleştirmeye konu edilmiştir. Adet olarak en fazla meşcerenin gençleştirilmesi ST1, ST2, ST4 ve ST6 planlama stratejilerinde olmuş ve toplam 266 adet meşcere gençleştirilmiştir. OPA kısıtı olan diğer stratejilerden ST3 ve ST5'te ise 265 meşcere plan ufku boyunca gençleştirilmiştir. Plan ufku boyunca gençleştirilmeyen meşcere sayısı ST1, ST2, ST4 ve ST6 stratejisinde 4 adet, ST3 ve ST5 planlama stratejilerinde ise 5 adettir. Periyodik gençleştirme kısıtının olduğu ST7 planlama stratejisinde ise 241 adet meşcere hiç bir periyotta gençleştirmeye alınmamış ve sadece bakıma konu edilmişlerdir. Tüm planlama stratejilerince hiçbir periyotta gençleştirmeye alınmayan meşcere sayısı ise 3 olarak görülmektedir.

Bu çalışmayla farklı disiplinler (orman amenajmanı, orman hasılatı, havza yönetimi, toprak ilmi ve ormancılık ekonomisi) tarafından üretilen verilerin bir çatı altında toplanıp, farklı amaç fonksiyonlarına yönelik uzun süreçli planlama modelinin oluşturulması hedeflenmiştir. Özellikle hidrolojik fonksiyonun planlamaya ve uygulamaya aktarılmasında yeterince yol alınmamasında ormanlarla kaplı olan havza özellikleriyle orman yapısı arasındaki bilgilerin yeterince ortaya konamaması en önemli etkenlerdendir. Bu bağlamda bu çalışmayla hem bu bilgi eksikliği azaltılmaya hem de meşcerelerin yapısındaki değişimler ile hidrolojik fonksiyonun ne şekilde değişeceğine yönelik bilgiler elde edilmeye çalışılmıştır. Bu ve benzer çalışmalarla hidrolojik fonksiyona yönelik işletilmesi düşünülen veya odun üretimine yönelik planlamalar yapılırken hidrolojik fonksiyonların da plana entegre edilmesi gereken durumlarda kullanılabilecek bilgilerin üretilmesi amaçlanmıştır. Geliştirilen planlama modeli çok amalılığı ve diğer fonksiyonel planlama kriterlerini göz önüne alarak düzenlenmiştir. Planlama biriminde kesim planının düzenlenmesiyle her bir meşcerenin zaman ve mekan bakımından nerede, ne zaman genleştirileceği, ne zaman bakım yapılacağı, ara ve son hasılat etası olarak ne kadar etanın alınacağı belirlenebilmektedir. Planlama modeline eklenebilecek ekolojik ve sosyokültürel fonksiyonları ifade eden denklemler

ile farklı amaç fonksiyonu hedefleri oluşturulabilecek ve farklı işletme amaçlarına yönelik planlamalar yapılabilecektir.

Planlama modelinin oluşturulması ve modelin koşturulması için modele eklenecek veri setinin çok fazla olması planlama modelleri açısından dezavantaj oluşturmakta ve uygulanabilirliğinin sorgulanmasına yol açmaktadır. Bu tarz model planların ülkemizde uygulanabilmesi için verilerin hazırlanmasında ve meşcerelere ilişkin matrislerin oluşturulmasında bilgisayar destekli yazılımların geliştirilmesi gerekmektedir. Geliştirilen modeller gerçeğe uygun ve uygulanabilir olmalı ve modele girilecek olan verilerin ve ilişkilerin gerçeğe uygun, varsayımlardan uzak olmasına özen gösterilmelidir. Ülkemizde fonksiyonel planların uygulanmasında bir çok altlık verilerin eksik olduğu bilinmektedir ve bu konuda bilimsel verilerin üretilmesine ihtiyaç vardır. Oluşturulan planlama modelinde özellikle meşcere parametreleriyle su verimi ve su kalitesine yönelik verilerin elde edilmesi uzun ve zor bir süreci gerektirmektedir. Bu bağlamda diğer planlama birimleri için bu tür verilerin üretilmesinde bu tarz çalışmaların arttırılması gerekmektedir.

Tüm bu sonuçlar ve açıklamalar ışığında özellikle orman amenajman planlarının düzenlenmesinde odun üretimi dışındaki hizmet fonksiyonlu alanlardan elde edilecek parasal gelirlerin çok fazla olduğu görülmektedir. Bu bağlamda Türkiye’de amenajman planlarının düzenlenmesinde bir dizi gereksinimler söz konusudur.

- ♣ Hidrolojik fonksiyonun planlamaya ve uygulamaya aktarılmasında önemli etkenlerden olan, yapısal ve konumsal meşcere parametreleri aralarındaki ilişkilerin ortaya koyulması ve hidrolojik fonksiyon açısından temel verilerin elde edilmesi için, Türkiye’nin farklı iklim ve toprak özelliklerine sahip diğer bölgelerinde de çalışmalar yapılmalıdır
- ♣ Orman alanlarında odun üretimi dışındaki hizmet fonksiyonlarının sağlayacağı faydalar da planlara eklendiğinde, işletme amacına yönelik gelirlerin ve dolayısıyla işletme kârının artacağı görülmektedir. Özellikle ormanlardan üretilen suyun daha etkin bir şekilde kullanımına yönelik planlamalar yapılmalıdır.
- ♣ Planlama modelinde kullanılan hasılat tabloları normal hasılat tablosu niteliğinde olup, normal sıklıktaki saf ve müdahale görmemiş doğal ormanlar için geliştirilmiştir. Planlama modelinde özellikle farklı orman kuruluşlarına

sahip olan müdahale görmüş meşcerelerin gelişimini tam olarak yansıtmamaktadır. Normal kuruluştaki olmayan ve müdahalelerle sıklığı değiştirilmiş bir meşcere hasılat tabloları tarafından tam olarak temsil edilememektedir. Ayrıca günümüzde müdahale edilmemiş meşcere yoktur veya çok az sayıdadır. Bu bağlamda ormana yapılacak müdahaleler sonucunda ormanın nasıl gelişim göstereceğine yönelik, farklı ağaç türü, karışımı ve farklı yetiştirme ortamlarına göre büyüme matrisleri geliştirilmelidir. Karışık meşcerelere ilişkin hasılat tablolarının da oluşturulması gerekmektedir.

- ♣ Planlama modeline ilişkin ormancılıktaki diğer ekolojik ve sosyokültürel fonksiyonların orman dinamikleriyle ilişkilerinin tam olarak ortaya koyulması gerekmektedir. Bunun için disiplinler arası ortak çalışmaların artırılması ve bu amaca yönelik envanter çalışmalarının yapılarak özellikle meşcerelerle sayısal ilişkilerinin ortaya konulması gerekmektedir. Havza bazlı ortaya koyulan ilişkilerin, meşcere bazına indirilmesi, ilişkilerin çok daha iyi ifade edilmesini sağlayacaktır.
- ♣ Ormancılık uygulamalarında öncelikle hedefin ortaya koyulması ve problemin tam manasıyla belirlenmesi gerekmektedir. Problemin tam olarak belirlenmesinden sonra kullanılacak olan optimizasyon tekniğine karar verilmelidir. Yani problem modele uydurulmamalı, problemin çözümüne yönelik model seçilmelidir veya geliştirilmelidir.
- ♣ Tez çalışmasında karışık tamsayı programlama tekniği kullanılmıştır. Bu teknikte optimal çözümün bulunması bazen çok uzun süreleri gerektirmektedir. Bu gibi durumlarda, özellikle ülkemizdeki planlama çalışmalarında çok sınırlı sayıda araştırma yapılan sezgisel tekniklere (genetik algoritma, tabu arama, simülasyon benzetimi, monte carlo simülasyonu vb.) yönelik planlama modelleri geliştirilmeli ve kullanılabilirlikleri artırılmalıdır. En uygun çözüm setlerini sunan sezgisel (heuristics) teknikler, model çözümünün çok uzun süreler aldığı durumlarda bu teknikler faydalı olacaktır.
- ♣ Ormanların planlanmasında konumsal ilişkiler de önem arz etmektedir ve ekosistem çıktıları üzerinde etkilidir. Bu çalışmada konumsal ilişkiler gözönünde bulundurulmamıştır. Bunları gözeten ve konumsal yapının dikkate alınmasını sağlayacak optimizasyon tekniklerinin kullanımı artırılmalı veya

konumsal özelliklere ilişkin kısıtların modellere eklenmesi sağlanmalıdır. Çünkü planlama biriminde yapılacak olan üretim faaliyetleri komşu meşcereleri de etkilemektedir. Bir meşcerede yapılacak bakım veya tıraşlama kesimleri, komşu meşcerelerde de bazı olumsuzluklara sebep olabilmektedir. Bu nedenle komşu meşcerelere ilişkin konumsal kısıtlar dikkate alınmalıdır ve planlama modellerine entegre edilmesinin önündeki bilgi eksikliklerinin giderilmesine yönelik çalışmalar yapılmalıdır.

- ♣ Planlama modelinin farklı amaç fonksiyonlarına göre gelirlerinin arttırılmasında etkili karbon ve su üretimi gibi odun dışı hizmet fonksiyonu gelirlerinin, parasal değerlerini belirlemeye yönelik çalışmalar yapılmalıdır.
- ♣ Planlama birimi ağaç türlerine göre farklı idare sürelerinin belirlenmesinin odun üretimi dışındaki gelirlere etkisini belirlemeye yönelik çalışmalar yapılmalıdır ve işletme amacına yönelik en uygun idare süreleri belirlenmelidir.
- ♣ Geliştirilen planlama modeline doğal olaylara yönelik herhangi bir bilgi girişi yapılmamıştır. Fakat özellikle yangın, böcek, hortum gibi zararların etkisini tahmin edebilecek modeller geliştirilmelidir. Bu gibi doğal olayların sayısal olarak ifade edilip modele entegre edilmesi, modellerin ekosistemi temsil etme yeteneğini arttıracaktır.

5. KAYNAKLAR

- [1] E. Z. Başkent, “Ekosistem amenajmanı ve biyolojik çeşitlilik,” *Turkish Journal. Agriculture Forestry*, c. 23, s. 2, ss. 355–363, 1999.
- [2] İ. Eraslan, *Orman Amenajmanı Kitabı*, İstanbul, Türkiye: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayını, 1982.
- [3] S. Köse, “Orman işletmelerinin planlanmasında yöneylem araştırması yöntemlerinden yararlanma olanakları,” Doktora tezi, Orman Mühendisliği Bölümü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye, 1986.
- [4] A. S. Degermenci, “Kızılcasu planlama biriminin etçap planlama yaklaşımıyla planlanması,” Yüksek lisans tezi, Orman Mühendisliği Bölümü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye, 2010.
- [5] S. Köse ve E. Z. Başkent, “Orman amenajmanı planlama sürecinin teknik, mevzuat ve organizasyon açısından değerlendirilmesi ve yeniden yapılandırılması,” *Orman Mühendisliği Dergisi*, c. 40, s. 9–10, ss. 9–20, 2003.
- [6] H. A. Yolaşğmaz, F. Sivrikaya, S. Keleş ve A. Günlü, “Ekosistem tabanlı çok amaçlı planlama,” *1. Çevre ve Ormancılık Şurası*, Türkiye, 2005.
- [7] S. Keleş, “Orman amenajman planlarının hazırlanmasına yönelik karar destek sisteminin tasarımı ve prototip modelin geliştirilmesi,” Doktora tezi, Orman Mühendisliği Bölümü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye, 2008.
- [8] B. Soykan, “Aynı yaşlı ormanların aktüel kuruluşlarının optimal kuruluşa yaklaştırılmasında yöneylem araştırması yöntemlerinden yararlanma olanaklarının araştırılması,” *Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi Yayını*, c. 106, s. 5, 1979.
- [9] İ. Eraslan, *Aynıyaşlı Ormanların Optimal Kuruluşlara Götürülmesinde Kullanılabilecek Artım Yüzdeleri Simülasyon Yöntemi*, İstanbul, Türkiye: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayını, 1981.
- [10] Ü. Asan, “Kritik yörünge metodu (CPM) ile programları değerlendirme ve gözden geçirme tekniği (PERT) nin tanıtılması ve amenajman planı yapımında kullanılması,” *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, c. 31, s. 2, ss. 221–241, 1981.
- [11] A. U. Gül, “Orman amenajmanında uzun süreli eta kestiriminin doğrusal programlama ile gerçekleştirilmesi,” Doktora tezi, Orman Mühendisliği Bölümü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye, 1995.
- [12] M. Mısır, “Çok amaçlı orman amenajman planlarının coğrafi bilgi sistemlerine

- dayalı olarak amaç programlama yöntemiyle düzenlenmesi (Ormanüstü Planlama Birimi Örneği),” Doktora tezi, Orman Mühendisliği Bölümü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye, 2001.
- [13] S. Keleş, “Ormanların su ve odun üretimi fonksiyonlarının doğrusal programlama tekniği ile optimizasyonu (Karanlıkdere Planlama Birimi Örneği),” Yüksek lisans tezi, Orman Mühendisliği Bölümü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye, 2003.
- [14] U. Karahalil, “Toprak koruma ve odun üretimi fonksiyonlarının doğrusal programlama ile modellenmesi,” Yüksek lisans tezi, Orman Mühendisliği Bölümü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye, 2003.
- [15] E. Yılmaz, “Orman kaynaklarının işlevsel bölümlenmesine ilişkin çözümler,” Doktora tezi, Orman Mühendisliği Bölümü, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2004.
- [16] H. Zengin, “Orman kaynaklarından fonksiyonel yaklaşım ile çok amaçlı faydalanmanın optimizasyonu,” Doktora tezi, Orman Mühendisliği Bölümü, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2009.
- [17] D. M. Küçüker, “Odun dışı orman ürünlerinin ekosistem tabanlı çok amaçlı planlara yansıtılması: Kanlıca mantarı (*Lactarius* sp.) örneği,” Doktora tezi, Orman Mühendisliği Bölümü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye, 2014.
- [18] M. Demirci, “Orman amenajman planlamasında karışık tamsayı amaç programlamanın kullanılması: Akören plan ünitesi örneği,” Doktora tezi, Orman Mühendisliği Bölümü, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2018.
- [19] OGM. (2016, 10 Mayıs). *Orman idaresi ve planlama daire başkanlığı ekosistem tabanlı çok amaçlı orman amenajman planlarının düzenlenmesine ait usul ve esaslar* [Online]. Erişim: <http://www.ogm.gov.tr>.
- [20] A. Koç ve A. Yeşil, “Orman alanlarının envanterinde coğrafi bilgi sistemlerinden yararlanma olanakları,” *İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi*, c. 46, s. 1, ss. 83–97, 1996.
- [21] A. T. Murray, “Spatial restrictions in harvest scheduling,” *Forest Science*, vol. 45, no. 1, pp. 45–52, 1999.
- [22] M. A. Nurullah, G. A. Jordan and E. Z. Baskent, “Spatial stratification in forest modelling,” *Forest Chronicle*, vol. 76, no. 2, pp. 311–317, 2000.
- [23] E. Z. Başkent, H. A. Yolasığmaz, M. Mısır, ve G. Çakır, “Kombine optimizasyon teknikleri ve ekosistem amenajmanı, orman amenajmanında kavramsal açılımlar ve yeni hedefler sempozyumu,” *İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayınları, İstanbul, Bildiriler Kitabı*, 2002, ss. 77–88.
- [24] G. Weiss, M. Weber, and W. Schönenberger, “New silvicultural and planning paradigms for integrated mountain forest management. in: the formulation of integrated management plans for mountain forests,” *Bardonecchia*, 2002.

- [25] M. Hytönen, “History, evolution and significance of multiple-use concept. multiple-use forestry in the nordic countries,” *METLA, Finnish Forest. Research Institute*, 1995.
- [26] İ. Eraslan ve C. Sad, *Orman Amenajmanı*. İstanbul, Türkiye: İstanbul Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi Basımevi, Orman Fakültesi Yayını, 1993.
- [27] Ü. Asan, “Orman kaynaklarının çok amaçlı kullanımı ve fonksiyonel planlama,” *İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi*, c. 40, s. 3, ss. 67–84, 1990.
- [28] E. Z. Başkent, S. Keleş, F. Sivrikaya ve U. Karahalil, “Sürdürülebilir orman işletmeciliği ve planlaması için karar destek sistemlerinin geliştirilmesi,” *1. Çevre ve Ormanlık Şurası, Türkiye*, 2005.
- [29] Ü. Asan, “The new planning approach and criteria used for sustainable forest management in Turkey,” *IUFRO Research Services 11. Forest Environment Changes Socioeconomic Political Dimensions*, 2005.
- [30] E. Z. Başkent, “Orman amenajman planlarının ekosistem tabanlı ve çok amaçlı planlanması (etçap) ve uygulanmasına yönelik eylemler,” *Türk Orman. Uluslararası Süreçte Acil Eyleme Dönüştürülmesi gereken Konular, Mevzuat ve Yapılanmaya Yansımaları Sempozyumu, Orman Mühendisleri Odası, Bildiriler Kitabı*, 2005.
- [31] Ü. Asan, “Orman fonksiyonlarının haritalanması ve işletme sınıfı ayrımı,” *İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi*, c. 49, s. 1, ss. 19–29, 1999.
- [32] Ü. Asan, “Orman fonksiyonlarının sınıflandırılması ve haritalanması,” *OGM Toplantı Notu*, 2001, s. 8.
- [33] OGM. (2016, 10 Mayıs). *Orman genel müdürlüğü işletme ve pazarlama dairesi başkanlığı oduna dayalı orman ürünlerinin üretim ve pazarlama faaliyetleri raporu* [Online]. Erişim: <http://www.ogm.gov.tr>.
- [34] M. F. Türker, M. Pak, A. Öztürk ve İ. Durusoy, “Türkiye’de odun dışı orman ürünlerinin sürdürülebilir işletmeciliği: mevcut durum, sorunlar ve çözüm önerileri,” *1.Uluslararası Odun Dışı Orman Ürünleri Sempozyumu, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi*, 2006, ss. 83–92.
- [35] M. Başaran, “Türkiyenin organik karbon stoğu,” *Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi*, c. 8, s. 3/4, ss. 31–36, 2004.
- [36] R. A. Birdsey, “Carbon storage and accumulation in United States forest ecosystems,” *Forest Science*, pp. 1–55, 1992.
- [37] W. A. Kurz and M. J. Apps, “Contribution of northern forests to the global C cycle: Canada as a case study,” *Water, Air, Soil Pollution*, vol. 70, no. 1–4, pp. 163–176, 1993.
- [38] J. K. Krankina, O.N, Harmon and M.E, Winjum, “Carbon storage and sequestration in the Russian Forest sector,” *Ambio*, vol. 25, pp. 284–288, 1996.

- [39] S. Brown, “Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer,” *FAO Forest Paper*, vol. 134, p. 55, 1997.
- [40] H. A. Yolasıǧmaz, “Orman ekosistem amenajmanı kavramı ve Türkiye’de uygulaması,” Doktora tezi, Orman Mühendisliği Bölümü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye, 2004.
- [41] S. Keleş ve E. Z. Başkent, “Orman ekosistemlerindeki karbon değişiminin orman amenajman planlarına yansıtılması: Kavramsal çerçeve ve bir örnek uygulama,” *Orman ve Av Dergisi*, c. 83, s. 2, ss. 36–41, 2006.
- [42] F. Sivrikaya, S. Keles and G. Cakir, “Spatial distribution and temporal change of carbon storage in timber biomass of two different forest management units,” *Environment Monitoring Assessment*, vol. 132, no. 1–3, pp. 429–38, 2007.
- [43] F. Sivrikaya ve N. Bozali, “Karbon depolama kapasitesinin belirlenmesi: türkoğlu planlama birimi örneği,” *Bartın Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, c. 14, s. özel sayı, ss. 69–76, 2012.
- [44] N. Çepel, “Barajların yukarı yağış havzaları için arazi kullanım planlamasının ekolojik esasları,” *İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi*, c. 36, s. 2, 1986.
- [45] S. Gülcü, S. Çelik ve N. Serin, “Su kaynakları çevresinde uygulanan ormancılık faaliyetlerinin su üretimi ve kalitesine etkileri,” *TMMOB 2. Su Politikaları Kongresi*, 2008, ss. 61–69.
- [46] E. Görcelioğlu, “Havzalarda orman ve otlak alanları amenajmanının su verimine ve kalitesine etkileri,” *İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi*, c. 42, s. 1–2, s. 1730, 1992.
- [47] A. Mızraklı, E. Güzenge ve Ş.A. Yalçın, “Ormanların su kaynakları potansiyeli üzerine etkileri, bu alanların belirlenmesi, korunması ve Dim planlama örneği,” *TMMOB 2. Su Politikaları. Kongresi*, 2008, ss. 49–59.
- [48] Ü. Asan ve K. Şengönül, “Orman formlarının fonksiyonel açıdan karşılaştırılması,” *İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi*, c. 37, s. 4, ss. 52–67, 1987.
- [49] N. Özyuvaci, “Arnavutköy deresi yağış havzasında hidrolojik durumu etkileyen bazı bitki-toprak-su ilişkileri,” *İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayını*, c. 221, 1976.
- [50] M. D. Kantarcı, “Türkiye’nin yetiştirme ortamı bölgesel sınıflandırması ve bu birimlerdeki orman varlığı ile devamlılığının önemi,” *İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayını*, ss. 45-58, 2005.
- [51] A. Kalıpsız, *Orman Hasılat Bilgisi*, İstanbul, Türkiye: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayını, 1982.
- [52] J. Webster, S. Golladay, E. Benfield, J. Meyer, W. Swank and J. Wallace, “Catchment disturbance and stream response: an overview of stream research at

- Coweeta Hydrologic Laboratory,” in *River conservation and Management*, pp. 231–253, 1992.
- [53] M. A. Bari, N. Smith, J. K. Ruprecht, and B. W. Boyd, “Changes in streamflow components following logging and regeneration in the southern forest of Western Australia,” *Hydrological Processes*, vol. 10, no. 3, pp. 447–461, 1996.
- [54] W. J. Hubbart, J. A. Link, T. E. Gravelle and J. A. Elliot, “Timber harvest impacts on water yield in the continental/maritime hydroclimatic region of the United States,” *Forest Science*, vol. 53, no. 2, pp. 169–180, 2007.
- [55] G. E. Likens, F. H. Borman, R. S. Pierce, J. S. Eaton and N. M. Johnson, *Bio-Geo-Chemistry of Forested Ecosystem*, Newyork, ABD: Springer-Verlag, 1977.
- [56] C. C. Hsia and Y. J., Koh, “Water yield resulting from clearcutting a small hardwood basin in central Taiwan,” *Hamburg Sympsiom*, 1983, pp. 215–220.
- [57] T. A. Burton, “Effects of basin-scale timber harvest on water yield and peak streamflow,” *Journal Water Resources Association*, vol. 33, no. 6, pp. 1187–1196, 1997.
- [58] A. N. Balci, N. Özyuvaci and S. Özhan, “Sediment and nutrient discharge through streamflow from two experimental watersheds in mature oak-beech forest ecosystems near Istanbul, Turkey,” *Journal of Hydrology*, vol. 85, no. 1–2, pp. 31–47, 1986.
- [59] F. Gökbülak, Y. Serengil, S. Özhan, N. Özyuvaci and A. N. Balci, “Relationship between streamflow and nutrient and sediment losses from an oak-beech forest watershed during an 18-year long monitoring study in Turkey,” *Europen Journal Forestry Research*, vol. 127, no. 3, pp. 203–212, 2008.
- [60] Y. Serengil, F. Gökbülak, S. Özhan, A. Hizal, K. Şengönül, A.N. Balci and N. Özyuvacı, “Hydrological impacts of a slight thinning treatment in a deciduous forest ecosystem in Turkey,” *Journal of Hydrology*, vol. 333, no. 2–4, pp. 569–577, 2007.
- [61] N. Çepel, “Orman topraklarının rutubet ekonomisi üzerine araştırmalar ve Belgrad ormanının bazı karaçam, kayın, meşe meşcerelerinde intersepsiyon, gövdeden akış ve toprak rutubeti miktarlarının sistematik ölçmelerle tespiti,” *T.C. Tarım Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğü Yayınları*, c. 4, s. 418, 1965.
- [62] A. N. Balci, “Elmalı barajının siltasyondan korunması imkanları ve vejetasyon-su düzeni üzerine araştırmalar,” Doktora tezi, Orman Mühendisliği Bölümü, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 1958.
- [63] H. Aydemir, “Bolu masifinde araziden faydalanma biçimlerinde yüzeysel akışla su kaybı ve toprak taşınması üzerine araştırmalar,” *Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları*, c. 54, 1973.
- [64] E. Z. Başkent, *Yöneylem Araştırması, Modelleme ve Doğal Kaynak Uygulamaları*, Trabzon, Türkiye: Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi Yayını, 2004. ss. 1-481.

- [65] F. S. Hillier and G. J. Lieberman, *Introduction to Mathematical Programming*, Newyork, ABD: McGraw-Hill Publication, 1995.
- [66] D. Bayraktar ve F. Çebi, Yöneylem araştırması-1, *Ders Notları*, İstanbul, 2003.
- [67] O. Çevik, “Tam sayılı doğrusal programlama ile iş gücü planlaması ve bir uygulama,” *Afyon Kocatepe Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, c. 8, s. 1, ss. 1–15, 2006.
- [68] Z. Yılmaz, *Sayısal Yöntemler*, 2. baskı, Bursa, Türkiye: Uludağ Üniversitesi Basımevi, 1995.
- [69] H. Koivusalo, T. Kokkonen, A. Lauren, M. Ahtiainen, T. Karvonen, H. Mannerkoski, S. Penttinen, P. Seuna, M. Starr and L. Finer, “Parameterisation and application of a hillslope hydrological model to assess impacts of a forest clear-cutting on runoff generation,” *Environment Modelling Software*, vol. 21, no. 9, pp. 1324–1339, 2006.
- [70] F. R. Watson, R. A. Vertessy and R. B. Grayson, “Large-scale modelling of forest hydrological processes and their long-term effect on water yield,” *Hydrological Processes*, vol. 13, no. 5, pp. 689–700, 1999.
- [71] H. Xu, D. G. Brown, M. R. Moore and W. S. Currie, “Optimizing spatial land management to balance water quality and economic returns in a lake erie watershed,” *Ecological Economics*, vol. 145, no. 6, pp. 104–114, 2018.
- [72] Y. Shi, G. Xu, Y. Wang, B. Engel, H. Peng, W. Zhang, M. Cheng and M. Dai, “Modelling hydrology and water quality processes in the pengxi river basin of the three gorges reservoir using the soil and water assessment tool,” *Agriculture Water Management*, vol. 182, pp. 24–38, 2017.
- [73] G. Sotomayor, H. Hampel and R. F. Vázquez, “Water quality assessment with emphasis in parameter optimisation using pattern recognition methods and genetic algorithm,” *Water Research*, vol. 130, pp. 353–362, 2018.
- [74] S. H. Ensign, and M. A. Mallin, “Stream water quality changes following timber harvest in a coastal plain swamp forest,” *Water Research.*, vol. 35, no. 14, pp. 3381–3390, 2001.
- [75] J. W. Hornbeck and R. B. Smith, “A water resources decision model for forest managers,” *Agricultural and. Forest Meteorology*, vol. 84, no. 1–2, pp. 83–88, 1997.
- [76] C. E. Lloyd, J. E. Freer, A. L. Collins, P. J. Johnes and J. I. Jones, “Methods for detecting change in hydrochemical time series in response to targeted pollutant mitigation in river catchments,” *Journal Hydrology*, vol. 514, pp. 297–312, 2014.
- [77] S. Keleş, E. Z. Başkent ve A. İ. Kadioğulları, “Tamsayili programlama tekniği ile ormanların çok amaçlı planlanması,” *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 21, s. 1–2, ss. 223–234, 2005.

- [78] U. Karahalil, S. Keles, E. Z. Baskent and S. Kose, "Integrating soil conservation, water production and timber production values in forest management planning using linear programming," *African Journal Agriculture Research*, vol. 4, no. 11, pp. 1241–1250, 2009.
- [79] H. Zengin, Ü. Asan, S. Destan, M. E. Ünal, A. Yeşil, P. Bettinger and A. S. Değermenci, "Modeling harvest scheduling in multifunctional planning of forests for longterm water yield optimization," *National Resources Modelling*, vol. 28, no. 1, pp. 59–85, 2015.
- [80] H. Zengin, M. Özcan, A. S. Degermenci and T. Citgez, "Effects of some watershed characteristics on water yield in the West Black Sea Region of northern Turkey" *Bosque*, vol. 38, no. 3, pp. 479–486, 2017.
- [81] R. Yavuz, "Mera ıslahında herbisit ve gübre uygulamaları (Düzce Köprübaşı Ömerfendi Örneği)," Doktora tezi, Orman Mühendisliği, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2013.
- [82] B. Özmen, "Düzce-Bolu bölgesi'nin jeolojisi, diri fayları ve hasar yapan depremleri," *12 Kasım Düzce Depremi Raporu, Deprem Araştırma Dairesi*, ss. 1–14, 2000.
- [83] Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, *Türkiye jeoloji haritaları*, Ankara, Harita 1/500.000. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayınları, 2002.
- [84] OGM, "Çiçekli orman işletme şefliği ekosistem tabanlı fonksiyonel orman amenajman planı," Düzce, Türkiye, 2008.
- [85] İ. Eraslan ve B. S. Evcimen, "Trakya' daki meşe ormanlarının hacim ve hasılatı hakkında tamamlayıcı araştırmalar," *İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi*, c. 17, s. 1, 1967.
- [86] T. Carus, "Aynı yaşlı doğu kayını (*Fagus orientalis* lipsky.) ormanlarında artım ve büyüme," Doktora tezi, Orman Mühendisliği Bölümü, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 1998.
- [87] İ. Ş. Alemdağ, "Türkiye'deki sarıçam ormanlarının kuruluşu, verim gücü ve bu ormanların işletilmesinde takip edilecek esaslar," *Ormancılık Araştırma Enstitüsü Teknik Bülten*, c. 20, 1967.
- [88] Ü. Asan, "Kazdağı göknarı (*abies equi-trojani aschers*, et sinten.) ormanlarının hasılat ve amenajman esasları üzerine araştırmalar," *İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayını*, c. 365, 1984.
- [89] H. Zengin, M. Özcan, M. E. Ünal, A. S. Değermenci ve T. Çitgez, "Havza karakteristikleri ile orman yapısının su verimi ve kalitesi üzerine etkilerinin belirlenmesi," Düzce Üniversitesi, Türkiye, Rap. TÜBİTAK/TOAG-2130199 Nolu Araştırma Projesi, 2017.
- [90] N. Çepel, *Toprak İlimi*, İstanbul, Türkiye: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayını, 1988.

- [91] T. Yüksek, "Rize Pazar deresi yağış havzasında farklı arazi kullanım şekilleri altındaki toprakların bazı özellikleri ile aşınım eğilimi değerlerinin araştırılması," Doktora tezi, Orman Mühendisliği Bölümü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye, 2001.
- [92] S. Y. Korkanç, "Bartın yöresinde arazi kullanım sorunları ve çözüm önerileri (Iskalan deresi yağış havzası örneği)," Doktora tezi, Orman Mühendisliği Bölümü, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2003.
- [93] S. Özhan, *Havza Amenajmanı*, İstanbul, Türkiye: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayını, 2004.
- [94] Ü. Asan, S. Destan ve U. Y. Özkan, "İstanbul korularının karbon depolama, oksijen üretime ve toz tutma kapasitelerinin kestirilmesi," *Orman Amenajmanında Kavramsal Açılımlar ve Yeni Hedefler Sempozyumu*, 2002, ss. 194–202.
- [95] R. A. Ney, J. L. Schnoor and M. A. Mancuso, "A methodology to estimate carbon storage and flux in forestland using existing forest and soils databases," *Environmental Monitoring Assessment*, vol. 78, no. 3, pp. 291–307, 2002.
- [96] A. Pussinen, T. Karjalainen, S. Kellomaki and K. Makipaa, "Potential contribution of the forest sector to carbon sequestration in Finland," *Biomass and Bioenergy*, vol. 13, no. 6, pp. 377–387, 1997.
- [97] L. Díaz-Balteiro and C. Romero, "Forest management optimisation models when carbon captured is considered: A goal programming approach," *Forest Ecological Management*, vol. 174, no. 1–3, pp. 447–457, 2003.
- [98] Ü. Asan, "Global iklim değişimi ve türkiye ormanlarında karbon birikimi," *İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi*, c. 45, s. 2, ss. 23-38, 1995.
- [99] D. Tolunay, "Total carbon stocks and carbon accumulation in living tree biomass in forest ecosystems of Turkey," *Turkish Journal Agriculture Forestry*, vol. 35, pp. 265–279, 2011.
- [100] A. S. Değermenci ve H. Zengin, "Ormanlardaki karbon birikiminin konumsal ve zamansal değişiminin incelenmesi: Daday planlama birimi örneği," *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, c. 17, s. 2, ss. 177–187, 2016.
- [101] M. F. Türker, Orman işletmeciliği, *Ders Notları*. Trabzon, 2000.
- [102] S. Bekiroğlu, "Ormancılık yatırım kararlarında faizin etkisinin araştırılması," *İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi*, c. 51, s. 1, ss. 63–81, 2001.
- [103] F. Fırat, *Ormancılık İşletme İktisadı*, İstanbul, Türkiye: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi, 1971.
- [104] J. Wagner, *Forestry Economics*, Newyork, ABD: Routledge, 2011.
- [105] Q. Huiyan, D. Lingbo, and H. Yingli, "Evaluating the effects of carbon prices on trade-offs between carbon and timber management objectives in forest spatial

harvest scheduling problems: A case study from Northeast China,” *Forests*, vol. 8, no. 2, 2017.

- [106] World Bank, “An advance brief from the state and trends of carbon pricing,” Rep. Carbon pricing watch 2017.
- [107] İ. Yıldız, “Gelevera deresi su kalitesi ve kirlilik düzeyinin belirlenmesi,” Yüksek lisans tezi, Biyoloji Bölümü, Giresun Üniversitesi, Giresun, Türkiye 2013.
- [108] B. Taş, “Derbent baraj gölü (Samsun) su kalitesinin incelenmesi,” *Ekoloji Sempozyumu*, 2006, ss. 6–15.
- [109] M. Kaya, “Küçük su kütlelerinde su kalitesinin havza bileşenleri ile etkileşimi,” Yüksek lisans tezi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, 2013.
- [110] H. Zengin and M. E. Ünal, “Analyzing the effect of carbon prices on wood production and harvest scheduling in a managed forest in Turkey,” *Forest Policy and Economics*, In press.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ahmet Salih DEĞERMENCİ
Doğum Tarihi ve Yeri :10/10/1984-Akçaabat/TRABZON
Yabancı Dili :İngilizce
E-posta :ahmetdegermenci@duzce.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Doktora	Orman Müh.	Düzce Üniversitesi	2018
Y. Lisans	Orman Müh.	Karadeniz Teknik Üniversitesi	2010
Lisans	Orman Müh.	Karadeniz Teknik Üniversitesi	2007
Lise		Akçaabat Lisesi	2000