

156157

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ORMANCILIKTA ODUN HAMMADDESİ ÜRETİMİNDE
YILLIK OPERASYONEL PLANLAMA MODELİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Orm. Yük. Müh. Mehmet EKER

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“Doktor”

Ünvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 17.08.2004

Tezin Savunma Tarihi : 16.09.2004

Tez Danışmanı : Prof. Dr. H.Hulusi ACAR

Jüri Üyesi : Prof. Dr. E. Zeki BAŞKENT

Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Emrullah DEMİRCİ

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Hakkı YAVUZ

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Turgay AYKUT

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Yusuf AYVAZ

Trabzon 2004

156157

ÖNSÖZ

Ormanlıkta odun hammaddesi üretiminde yıllık düzeyde operasyonel planlama modelinin geliştirilmesi amacıyla yapılan bu doktora çalışmasında, odun üretim operasyonları; yer, zaman ve tercih edilecek üretim yöntem ve sistemleri bakımından teknik-topoğrafik, ekonomik, çevresel ve sosyo-ekonomik kriterlere göre değerlendirilmiş ve böylelikle yıllık düzeyli bir operasyonel planlama metodolojisi geliştirilmiştir.

Bu çalışmada; tez konusunun seçiminden çalışmaların yürütülmesi ve sonuçlandırılmasına kadar her aşamada, rahatça çalışabilmem için her türlü desteği sağlayan Tez Danışmanım Sayın Hocam Prof. Dr. H. Hulusi ACAR' a içtenlikle teşekkür eder minnettarlığımı sunarım.

Doktora çalışma konusunun ortaya çıkmasında ve çalışmanın yürütülmesinde fikir desteğini esirgemeyen ve tez izleme komitesi üyesi olan Sayın Prof. Dr. E. Zeki BAŞKENT' e; öneri ve uyarılarından yararlandığım ve tez izleme komitesi üyesi olan Sayın Yrd. Doç. Dr. Emrullah DEMİRCİ' ye teşekkür ederim. Aynı zamanda, tezin başlangıcında tez izleme komitesinde yer alan ve fikir desteği sağlayan Sayın Doç. Dr. Önder BARLI' ya da teşekkür ederim.

Konunun çalışılabilirliği hususunda değerlendirme ve önerilerinden yararlandığım Sayın Prof. Dr. Turgay AYKUT, Prof. Dr. Mesut HASDEMİR ve Yrd. Doç. Dr. Necmettin ŞENTÜRK' e teşekkür ederim. Bilgi, öneri ve yorumlarına başvurduğum Sayın Yrd. Doç. Dr. Osman ENGÜR' e de ayrıca teşekkür etmeyi borç bilirim.

Arazi çalışmalarımın yürütülmesine yardımcı olan Isparta/Eğirdir Orman İşletme Müdürlüğü yöneticilerine ve Aşağıgökdere Orman İşletme Şefi Sayın Haluk EROĞLU' na ve muhasebe servisi elemanlarına da teşekkür ederim.

Çalışmamın yoğunluğu karşısında manevi desteğini esirgemeyen Sevgili Eşim Didem' e teşekkür eder; bu çalışmayı eşime ve çalışmamdan dolayı doğumunda yanında bulunamadığım ve çoğunlukla kendisiyle ilgilenemediğim Sevgili Kızım İlayda' ya ithaf ederim. Eğitimimde emeği olan Değerli Ailem' e de ayrıca teşekkür ederim.

Bu çalışma, Süleyman Demirel Üniversitesi Araştırma Projeleri Yönetim Birimi tarafından 521 Kod No'lu Doktora Tezi Projesi olarak desteklenmiştir.

Mehmet EKER
Trabzon, 2004

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	VIII
SUMMARY.....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
TABLolar DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XVI
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Çalışmanın Gerekçesi, Hipotez ve Amaç	3
1.3. Literatür Özeti	6
1.4. Odun Hammaddesi Üretiminde Operasyonel Planlama	10
1.4.1. Operasyonel Kararların Modellenmesi	12
1.4.2. Operasyonel Planlamanın Özellikleri	13
1.4.3. Operasyonel Planların Değerlendirilmesi ve Denetim.....	14
1.5. Ormancılıkta Odun Hammaddesi Üretim Sistemi	15
1.5.1. Odun Üretiminde Sistem Seçimi	17
1.5.2. Odun Üretim Planlamasında ve Sistem Seçiminde Kullanılan Araçlar	20
1.5.2.1. Çok Ölçütlü Analizler ve Analitik Hiyerarşi Süreci	20
1.5.2.2. Yöneylem Araştırması Teknikleri.....	21
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	24
2.1. Araştırmanın Sınırlandırılması ve Planlanması	24
2.1.1. Araştırmanın Coğrafik, Teknik ve Zaman Açısından Sınırlandırılması	26
2.1.2. Araştırmanın Planlanması.....	27
2.1.3. Planlamada Test İçin Alan Seçimi.....	28
2.2. Materyal	28
2.2.1. Planlama Alanının Tanıtımı	29
2.2.1.1. Planlama Alanının Orman Varlığı	29
2.2.1.2. Planlama Alanının Coğrafik, Jeolojik ve İklim Özellikleri	30
2.2.1.3. Piyasa ve Tüketim Merkezleri	31

2.2.1.4.	İşgücü Potansiyeli	31
2.2.2.	Orman Amenajman Planı	33
2.2.3.	Silvikültür Planı.....	34
2.2.4.	Orman Yol Ağı Planı	35
2.3.	Yöntem	36
2.3.1.	Operasyonel Planlama Süreci ve Aşamaları.....	36
2.3.1.1.	Planlama Probleminin Kapsamı	38
2.3.1.2.	Planlamaya Konu Sistemin Analizi	39
2.3.1.3.	Veri Tabanının Oluşturulması.....	40
2.3.1.4.	Haritaların Sayısallaştırılması ve Kullanılması	40
2.3.1.5.	Üretim Sistemleri Tasarımı	44
2.3.1.6.	Arazi Sınıflandırması	46
2.3.1.7.	Sürütme Mesafelerinin Belirlenmesi	48
2.3.1.8.	Odun Üretim Alanlarına Ulaşılabilirlik Analizi.....	54
2.3.2.	Odun Üretim Maliyetlerinin Hesaplanması Yöntemi	54
2.3.2.1.	Odun Üretiminde Kesme Maliyetlerinin Hesaplanması	56
2.3.2.2.	Bölmeden Çıkarma Maliyetlerinin Hesaplanması	57
2.3.2.3.	Taşıma Maliyetlerinin Hesaplanması	61
2.3.3.	Odun Üretiminde Sistem Seçimi – Çevresel ve Kurumsal Değişkenler	63
2.3.3.1.	Sistem Seçiminde İzlenen Yöntem	63
2.3.3.2.	Çevresel ve Sosyal/Kurumsal Değişkenler	63
2.3.3.3.	Teknoloji Seçiminde Kullanılan Kriterler	65
2.3.3.4.	Analitik Hiyerarşi Sürecinin Uygulanması	69
2.3.3.5.	Çok Kriterli Analizlere Göre Sistem Seçimi	73
2.3.3.6.	Çevresel ve Sosyal (Kurumsal) Maliyet Katsayılarının Belirlenmesi...	75
2.3.3.7.	Periyot Etki Katsayısı ve Maliyetlerdeki Değişimin Belirlenmesi	76
2.4.	Operasyonel Karar Modelinin Oluşturulması	82
2.4.1.	Matematiksel Formülasyon	83
2.4.1.1.	Doğrusal Programlama Modeli.....	87
2.4.1.2.	Tamsayılı Programlama Modeli.....	91
2.4.1.3.	Operasyonel Karar Modeli.....	94
2.4.2.	Operasyonel Karar Modelinin Test Edilmesi.....	99
2.4.2.1.	Test Probleminin Kapsamı.....	99

2.4.2.2.	Çözüm Yöntemleri	101
2.4.2.3.	Strateji ve Senaryolar	102
2.4.2.4.	Çözüm Yöntemlerinin Karşılaştırılması ve Değerlendirme Yöntemi...	104
3.	BULGULAR	105
3.1.	Sistem Analizine Ait Bulgular	105
3.1.1.	Yönetsel Süreç Analizi	105
3.1.2.	Teknik – Mekanik Üretim Süreci	106
3.1.3.	Odun Hammaddesi Üretiminde Kullanılan Teknoloji Düzeyi	107
3.2.	Topoğrafik-Teknik Analize Ait Bulgular	108
3.2.1.	Arazi Sınıflandırması	108
3.2.2.	Mevcut Orman Yol Ağı Altyapısı	109
3.2.3.	Alternatif Odun Üretim Sistemlerinin Belirlenmesi	109
3.2.4.	Sürütme Mesafeleri ve Rampa Yerlerinin Belirlenmesi	110
3.3.	Maliyet Analizlerine Ait Bulgular	112
3.3.1.	Kesme Maliyetlerinin Hesaplanması	112
3.3.2.	Bölmeden Çıkarma Maliyetlerinin Hesaplanmasına Ait Bulgular	114
3.3.3.	Taşıma (Uzak Nakliyat) Maliyetlerinin Hesaplanmasına Ait Bulgular	118
3.3.4.	Çok Kriterli Analizlere Ait Bulgular	120
3.3.4.1.	Çevresel ve Kurumsal Etki Katsayısı	120
3.3.4.2.	Periyot Etki Katsayısı	121
3.3.4.3.	Çevresel/Kurumsal ve Periyot Etki Maliyetleri	122
3.3.5.	Üretim Sistemi Kombinasyonu Maliyet Matrislerine Ait Bulgular	124
3.4.	Operasyonel Karar Modellerinin Çözümüne Ait Bulgular	129
3.4.1.	Strateji - 1: Nicel Maliyet Katsayılarıyla Oluşturulan Modeller	129
3.4.1.1.	Doğrusal Programlama Modeli	129
3.4.1.1.1.	Model - LP1	129
3.4.1.1.2.	Model – LP2.....	131
3.4.1.2.	Karma Tamsayılı (Doğrusal) Programlama Modeli	132
3.4.1.2.1.	Model – MIP1	132
3.4.1.2.2.	Model – MIP2	135
3.4.2.	Strateji - 2: Nitel Maliyet Katsayıları ile Oluşturulan Modeller	136
3.4.2.1.	Doğrusal Programlama Modeli (Model-1).....	137
3.4.2.1.1.	Model - 1' in Bazı Senaryolara Göre Sınanması.....	138

3.4.2.1.2.	Model - 1' in Uygulanabilirlik Analizi ve Operasyonel Plan Taslağı ..	142
3.4.2.2.	Karma Tamsayı Doğrusal Programlama Modeli (Model-2).....	147
3.4.2.2.1.	Model - 2' nin Bazı Senaryolara Göre Sınanması	149
3.4.2.2.2.	Model- 2' nin Uygulanabilirlik Analizi ve Operasyonel Plan Taslağı...	151
3.4.2.3.	Tamsayı Programlama Çözümünde Sezgisel (Heuristic) Yaklaşım...	154
3.4.2.4.	Operasyonel Karar Modellerinin (LP&MIP) Karşılaştırılması	158
3.4.3.	Operasyonel Planlamada Alternatif Yaklaşımların Üretim Maliyetlerine Göre Karşılaştırılmasından Elde Edilen Bulgular	160
3.4.3.1.	Plansız Üretim Operasyonlarına Ait Bulgular	161
3.4.3.2.	Transport Planlamasına Ait Bulgular.....	166
3.4.3.3.	Operasyonel Planlama Modeline (Model-2) Ait Bulgular.....	168
4.	İRDELEME	171
4.1.	Operasyonel Planlama Yönteminin İrdelenmesi	171
4.2.	Sistem Analizine Ait Bulguların İrdelenmesi	173
4.2.1.	Yönetmel Süreç Analizine Ait Bulguların İrdelenmesi	173
4.2.2.	Teknik Üretim Sürecine Ait Bulguların İrdelenmesi	174
4.2.3.	Teknoloji Düzeyine Ait Bulguların İrdelenmesi	175
4.3.	Topoğrafik ve Teknik Analize Ait Bulguların İrdelenmesi	175
4.4.	Mevcut Orman Yol Ağı Altyapısına Ait Bulguların İrdelenmesi	175
4.5.	Alternatif Odun Üretim Sistemlerine Ait Bulguların İrdelenmesi.....	176
4.6.	Sürütme Mesafeleri ve Rampa Yerlerine Ait Bulguların İrdelenmesi...	177
4.7.	Maliyet Hesaplamalarına Ait Bulguların İrdelenmesi	179
4.7.1.	Kesme Maliyetlerinin Hesaplanmasına Ait Bulguların İrdelenmesi ...	179
4.7.2.	Bölmeden Çıkarma Maliyetlerine Ait Bulguların İrdelenmesi	181
4.7.3.	Taşıma Maliyetlerinin Hesaplanmasına Ait Bulguların İrdelenmesi ...	182
4.8.	Çok Kriterli Analizlere Ait Bulguların İrdelenmesi	182
4.9.	Operasyonel Karar Modelinin İrdelenmesi	183
4.9.1.	Nicel Maliyet Katsayıları ile Oluşturulan Modellerin İrdelenmesi	183
4.9.1.1.	Doğrusal Programlama Modelinin İrdelenmesi	183
4.9.1.2.	Karma Tamsayı (Doğrusal) Programlama Modelinin İrdelenmesi ...	185
4.9.2.	Nitel Maliyetli Operasyonel Karar Modellerinin (LP ve MIP) Karşılaştırılması ve Uygun Modelin Seçilmesi.....	189
4.9.2.1.	Model – 1 ve Senaryolarının Karşılaştırılması.....	189

4.9.2.2.	Model -1' in Model -LP1 ve Model - LP2 ile Karşılaştırılması.....	190
4.9.2.3.	Model - 2 ve Senaryolarının Karşılaştırılması.....	193
4.9.3.	Nitel Maliyetli Operasyonel Karar Modellerinin (LP ve MIP) Karşılaştırılması ve Uygun OP Modelinin Seçilmesi.....	195
4.10.	Operasyonel Planlamanın Diğer Yaklaşımlarla Karşılaştırılması	200
4.11.	Odun Hammaddesi Üretiminde Yıllık Operasyonel Planlama Yaklaşımının Genel Olarak İrdelenmesi	204
5.	SONUÇLAR	209
6.	ÖNERİLER	212
7.	KAYNAKLAR	217
8.	EKLER	231
	ÖZGEÇMİŞ.....	239



ÖZET

Ormancılıkta odun üretimi; kesme, bölmeden çıkarma ve taşıma operasyonlarından oluşur. Bu operasyonlarda, ortalama birim üretim maliyetleri yüksektir. Maliyetleri azaltmanın bir çok çözüm yolları olup bunlar arasından planlama, en etkili olanlarındandır.

Bu çalışmada, hiyerarşik planlama yaklaşımına göre, operasyonel düzeyde bir planlama modeli geliştirilerek yıl içindeki toplam ortalama üretim giderlerinin minimizasyonu amaçlanmıştır. Bu amaç için teknik, topoğrafik, ekonomik, çevresel ve sosyo-ekonomik kriterlere uygun bir planlama stratejisi hedeflenmiştir. Çevresel ve kurumsal değişkenler, niteliklerine göre değerlendirilmiş ve bu değerlendirme için çok kriterli analizlerden, Analitik Hiyerarşi Süreci kullanılmış ve elde edilen sonuçlar, nicel değerlendirmelere eklenmiştir. Operasyonel kararların modellenmesi ve optimizasyonu (nicel değerlendirme) için doğrusal ve tamsayı programlama teknikleri kullanılmıştır.

Modellemeyi test etmek için bir orman işletme şefliğine (Aşağıgökdere/Eğirdir/Isparta) ait alan, meşcere, bütçe, işgücü, makine ve yöresel üretim teknolojilerine ait veriler kullanılmıştır. Planlama yılı içinde üretim bölmelerinin işletmeye açılabilirliği, hangi bölmenin hangi periyotta üretime açılacağı, hangi üretim yöntemin ve sisteminin tercih edileceği, ara depolamanın nerede yapılacağı ve ürünlerin hangi ana depoya taşınacağı, işgücü ve makine kaynaklarının en uygun nasıl kullanılacağı probleminin çözümü, en iyilenmiştir.

Bu tezde, teknik ve ekonomik olarak uygun; çevresel olarak katlanılabilir; sosyo-ekonomik ve kurumsal olarak da kabullenilebilir bir operasyonel planlama modeli geliştirilebilmiştir. Test alanında operasyonel planlama modelinin kullanılmasıyla; yıllık ortalama üretim maliyetlerinde doğrudan % 4; kalite ve kayıp miktarının azaltılmasıyla da dolaylı olarak % 30 civarında bir tasarruf sağlanabileceği sonucuna varılmıştır.

Kavramsal çerçevesinin belirlendiği operasyonel planlamanın uygulamaya aktarılması için; ormancılıkta hiyerarşik planlama yaklaşımı benimsenerek düzenli veritabanı ve modellerle karar destek sistemleri oluşturulmalı, yönetici ve yürütücüler donanım ve yazılım yönüyle bu tür planları anlayıp uygulamaya hazır hale getirilmelidir.

Anahtar Kelimeler: Operasyonel Planlama, Odun Üretimi, Doğrusal ve Tamsayı Programlama, Matematiksel Modelleme, Analitik Hiyerarşi Süreci

SUMMARY

Development of Annual Operational Planning Model for Timber Harvesting

The timber harvesting operations comprise of logging and transportation activities realized by highly operation costs per cubic meter. Harvest planning is efficiently way to minimize the operation costs and organizes proposed process and actions to achieve intended goals of operation.

The aim of this thesis was to minimize total average harvest unit costs by means of developing an operational harvest plan within a hierarchical planning concept. It was purposed a planning strategy which was appropriate for technical, economical, environmental and socio-economical manner. Environmental and institutional (ergonomics and social) variables were evaluated by Analytic Hierarchy Process as qualitatively. The results were added quantitative operation unit costs as a constant or penalty cost. The combined unit costs included qualitative factor costs as implicitly were used as a coefficient of decision variables in objective function of linear (LP) and 0/1 mixed integer programming (MIP) models generated for operational decisions.

Operational decisions have focused on which compartment is harvested, when it is harvested, which harvesting system is used, where the landing is located, where the products are stored, which forest road is used, etc. Developed annual harvest planning model was tested with real data on sloping harvest area. The operational model was formulated with 12 compartments, 4 seasons, 2 harvesting method, 10 harvesting systems, and 8-transportation route. When it was solved with the extended version of LINDO, it was observed that this model could minimize the annual average unit cost from %4 to % 30 as directly and indirectly.

As result, it could be improved an operational harvest planning methodology that was suitable for topographical and technical, acceptable for economical constraints, sensitive for forest ecosystem, and utilizable for socio-economic constraints.

Key Words: Operational Harvest Planning, Logging, Linear and Mixed Integer Programming, Mathematical Modelling, Analytic Hierarchy Process

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Karar hiyerarşisinin ileri ve geri besleme süreci	10
Şekil 2. Odun üretim zincirinin Türkiye’deki genel durumu.....	16
Şekil 3. Operasyonel planlama yönteminde iş akışı.....	37
Şekil 4a. Sayısal Arazi Modeli (Surfer Programı ile elde edilen).....	42
Şekil 4b. Sayısal Arazi Modeli (Arcview ile elde edilen).....	42
Şekil 5. Planlama alanının genel görünümü.....	43
Şekil 6. Kesme ve Bölmeden Çıkarma Tekniklerinin Muhtemel Kombinasyonları	46
Şekil 7. Poligon orta noktaları ve en kısa yol bağlantıları	49
Şekil 8. Poligon merkezleri ve yol arasında en kısa (sürütme) mesafe	50
Şekil 9. Muhtemel rampa yerlerinin belirlenmesi (67 Nolu bölme).....	51
Şekil 10. Bölmelere ait poligonlar için aday rampa yeleri (113 ve 114 Nolu bölme).....	51
Şekil 11. Muhtemel Rampa yerlerinin 3-boyutlu arazi modelinde analizi	52
Şekil 12. Üretim Kararları Ağı	101
Şekil 13. Taşıma Kararları Ağı	101
Şekil 14. Operasyonel karar modelinin belirlenmesi yönteminde izlenen adımlar	103
Şekil 15. Odun Üretiminde Yönetmel Süreç (İşletme Şefliği ve Müdürlüğü Düzeyi)	105
Şekil 16. Odun Üretiminde (Yıllık)Yönetmel Süreç	106
Şekil 17. Odun Hammaddesi Üretim Sisteminde İş Akışı (Teknik Süreç).....	107
Şekil 18. Gerçek Ortalama Sürütme Mesafesi(SMg)’nin hesaplanmasında iş akışı	111
Şekil 19. Sezgisel yaklaşımda dal sınır algoritmasına göre arama ağacı	135
Şekil 20. Sezgisel (heuristic) çözüm yönteminin iş akış şeması	156
Şekil 21. Operasyonel karar modelinde nitel maliyetlerin nicel maliyetlere dönüştürülmesinde izlenen iş akışı.....	168
Şekil 22. Operasyonel planlama modelinin kavramsal çerçevesi	172
Şekil 23. Sürütme mesafesinin belirlenmesinde farklı bir yaklaşım	177
Şekil 24. Motormanuel, motormotor ve harvester kesme tekniklerinin maliyetleri	180
Şekil 25. Motormotor, Motormanuel ve Harvester ve kesme tekniklerinin verimleri ...	180
Şekil 26. Bölmeden çıkarma yöntemlerine göre ortalama verimler	181
Şekil 27. Bölmeden çıkarma yöntemlerine göre her bölmedeki parça başına maliyetler	182

Şekil 28. Nicel maliyetli MIP modellerinin karşılaştırılması.....	187
Şekil 29. Ortalama üretim maliyetlerine göre odun üretiminde teknoloji düzeyleri.....	189
Şekil 30. Model -1 & Model – LP1 & Model – LP2 ortalama üretim maliyetleri.....	191
Şekil 31. Model – 1 ' de toplam etanın üretim sistemlerine dağılımı.....	192
Şekil 32. Model -1 & Model – LP1 & Model – LP2' ye göre işgücü kullanım oranları...	193
Şekil 33. Model – 1 ' de etanın üretim sistemlerine dağılımı.....	198
Şekil 34. Model -2' de etanın üretim sistemlerine dağılımı	199
Şekil 35. Model – 1 ve Model – 2' de işgücü kullanım oranları	200
Şekil 36. OP yaklaşımının alternatif üretim yaklaşımlarıyla karşılaştırılması.....	201
Ek Şekil 1. Üretim bölmelerinde fonksiyonel arazi sınıflandırmasına ait harita.....	237
Ek Şekil 2. Motorlu Testereye Monteli Kabuk Soyma Ekipmanı.....	238



TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Aşağıgökdere Orman İşletme Şefliği ormanlık alan varlığı.....	30
Tablo 2. Planlama alanı sınırları içinde yer alan kooperatiflere ait bilgiler	32
Tablo 3. Ormanlık alanın işletme sınıfları ve verimlilik durumuna göre dağılımı.....	33
Tablo 4. Kesme sürecinde kullanılabilir alternatif teknikler.....	45
Tablo 5. Bölmeden çıkarma sürecinde kullanılabilir alternatif teknikler.....	45
Tablo 6. Üretim sistemi kombinasyonuna göre alternatif üretim sistemleri	46
Tablo 7. Arazi sınıfları ve eğim grupları	47
Tablo 8. Üretim sistemlerine göre fonksiyonel arazi sınıflandırması	47
Tablo 9. Bölmeden çıkarma tekniğine göre düzeltme faktörleri.....	53
Tablo 10. Yol Standardına göre kamyonla taşıma hızları.....	61
Tablo 11. Tekil karşılaştırma ağırlıklı değerlerinin belirlenmesi.....	64
Tablo 12. Analitik Hiyerarşi Sürecinde Karşılaştırma Matrisi (İşlem 1).....	71
Tablo 13. Karşılaştırma matrisinin normalize edilmesi ve göreceli önemler vektörünün elde edilmesi (İşlem-II).....	72
Tablo 14. Çoklu kriterlere göre üretim sistemlerinin derecelendirilmesi	74
Tablo 15. Planlama yılında periyot uzunlukları ve kapsamı	76
Tablo 16. İklim elemanlarına göre periyot uygunluk* değerleri	78
Tablo 17. Periyodik değerlendirme kriterlerinin karşılaştırma matrisi	80
Tablo 18. Kriterlere göre periyotların göreceli önemlilikleri.....	80
Tablo 19. Üretim sistemlerinin periyotlara göre puanları.....	81
Tablo 20. Üretim sistemi kombinasyonlarının ortalama verim değeri ve maliyetleri ..	99
Tablo 21. Tek tip (3 akslı) kamyonla ortalama taşıma verim ve maliyetleri	100
Tablo 22. Problemin matris boyutu	101
Tablo 23. Fonksiyonel arazi sınıflandırmasına göre bölmelerin eğim değerleri.....	108
Tablo 24. Orman yol yoğunluğu ve yollarla işletmeye açma oranı	109
Tablo 25. Topoğrafik ve teknik kriterlere göre uygulanabilir alternatif üretim sistemleri	110
Tablo 26. Bölmeden çıkarma tekniklerine göre üretim sistemlerinin sürütme mesafeleri.....	111
Tablo 27. Motormanuel kesme tekniğinin özellikleri.....	112

Tablo 28.	Motormanuel kesme tekniğine göre ortalama verim ve maliyet bileşenleri	112
Tablo 29.	Motorlu kesme tekniğinin özellikleri.....	113
Tablo 30.	Motorlu kesme tekniğine göre ortalama verim ve maliyet bileşenleri	113
Tablo 31.	Harvester kesme tekniğine göre ortalama verim ve maliyet bileşenleri	114
Tablo 32.	İnsan gücüyle bölmeden çıkarma maliyetleri	115
Tablo 33.	Hayvan gücüyle bölmeden çıkarma maliyeti	115
Tablo 34.	Traktör yolu inşaat maliyetinin hesaplanması.....	116
Tablo 35.	Tarım Traktörleriyle bölmeden çıkarma maliyeti ve verimi	116
Tablo 36.	Orman traktörüyle bölmeden çıkarma maliyeti ve verimi	116
Tablo 37.	Orman hava hattı (URUS MIII) ile bölmeden çıkarma maliyeti ve verimi...	117
Tablo 38.	Forwarder ile bölmeden çıkarma maliyeti ve verimi	117
Tablo 39.	Oluk sistemiyle bölmeden çıkarma maliyetleri ve verim değerleri.....	118
Tablo 40.	Taşıma verim ve maliyetleri ile bileşenleri	119
Tablo 41.	Çevresel ve kurumsal etki katsayısı (ÇEK).....	120
Tablo 42.	Periyot etki katsayıları (PEK).....	121
Tablo 43.	Üretim tekniklerinin nicel operasyon maliyetleri	122
Tablo 44.	Üretim tekniklerinin ÇEK' göre maliyetleri.....	122
Tablo 45a.	Üretim tekniklerinin I. PERİYOT etki katsayısına göre maliyeti	123
Tablo 45b.	Üretim tekniklerinin II. PERİYOT etki katsayısına göre maliyeti	123
Tablo 45c.	Üretim tekniklerinin III. PERİYOT etki katsayısına göre maliyeti	123
Tablo 45d.	Üretim tekniklerinin IV. PERİYOT etki katsayısına göre maliyeti	124
Tablo 46.	Taşıma operasyonları için hesaplanan periyot etki katsayıları	124
Tablo 47a.	Üretim sistemlerinin I. Periyotta I. Üretim metoduna göre maliyeti	124
Tablo 47b.	Üretim sistemlerinin II. Periyotta I. Üretim metoduna göre maliyeti	125
Tablo 47c.	Üretim sistemlerinin III. Periyotta I. Üretim metoduna göre maliyeti	125
Tablo 47d.	Üretim sistemlerinin IV. Periyotta I. Üretim metoduna göre maliyeti	125
Tablo 48a.	Üretim sistemlerinin I. Periyotta II. Üretim metoduna göre maliyeti	126
Tablo 48b.	Üretim sistemlerinin II. Periyotta II. Üretim metoduna göre maliyeti	126
Tablo 48c.	Üretim sistemlerinin III. Periyotta II. Üretim metoduna göre maliyeti	126
Tablo 48d.	Üretim sistemlerinin IV. Periyotta II. Üretim metoduna göre maliyeti.....	127
Tablo 49.	Üretim operasyonu sonuçlarına göre bölmeden çıkarmada kayıp oranları...	127
Tablo 50.	Üretim sistemlerine göre üretim operasyonları sırasındaki kayıp oranları...	128
Tablo 51.	Operasyonel planlama yılında tahmin edilen satış geliri	128

Tablo 52. Periyot, üretim metodu ve sistemi farklılığına göre kayıp maliyetleri	128
Tablo 53a. Model-LP1'e ait koşullar	130
Tablo 53b. Model-LP1'e Üretim karar değişkenleri çözüm değerleri.....	130
Tablo 53c. Model-LP1 taşıma karar değişkeni çözüm değerleri.....	130
Tablo 54a. Model-LP2' ye ait koşullar	131
Tablo 54b. Model - LP2' ye ait çözüm sonuçları.....	131
Tablo 55. MIP' ın % 2'lik optimalite toleransına göre bulunmuş üretim çizelgesi	133
Tablo 56. MIP ' ın % 2'lik optimalite toleransına göre bulunmuş maliyet değerleri ...	134
Tablo 57. Nicel maliyet katsayılarına göre sezgisel yaklaşımla elde edilen sonuçlar...	134
Tablo 58. Nicel maliyetlere göre sezgisel yaklaşımla hazırlanmış üretim çizelgesi....	135
Tablo 59a. Model – MIP' ya ait çözüm değerleri.....	136
Tablo 59b. Model – MIP' ya ait maliyet sonuçları.....	136
Tablo 60a. Model-1 temel çözüm kümesindeki üretim karar değişkenleri	138
Tablo 60b. Model-1 temel çözüm kümesindeki taşıma karar değişkenleri	138
Tablo 60c. Model-1 modelinde üretim, taşıma ve kayıp ürün miktarları.	138
Tablo 61. Senaryo-1' in koşulları ve çözüm özeti.....	139
Tablo 62. Senaryo-2' nin koşulları ve çözüm sonuçları özeti	139
Tablo 63. Senaryo-3' ün koşulları ve çözüm sonuçları özeti	140
Tablo 64. Senaryo-4' ün koşulları ve çözüm sonuçları özeti	141
Tablo 65. Senaryo-5' in koşulları ve çözüm sonuçları özeti	141
Tablo 66. Model-1 temel çözümünde yer alan üretim karar değişkenlerinin analizi....	143
Tablo 67. Model-1 temel çözümünde yer alan taşıma karar değişkenlerinin analizi....	146
Tablo 68a. Model – 2' ye ait temel çözüm sonuçları.....	147
Tablo 68b. Model – 2/ Temel çözümde yer alan üretim karar değişkenleri.....	147
Tablo 68c. Model – 2/ Temel çözümde yer alan taşıma karar değişkenleri.....	148
Tablo 68d. Model - 2' ye göre üretim, taşıma ve kayıp ürün miktarları.....	148
Tablo 68e. Model - 2' de kullanılacak işgücü kaynakları.....	148
Tablo 69a. Model-2/Senaryo-2 çözüm sonuçları.....	149
Tablo 69b. Model-2/Senaryo-2'de temel çözüme giren üretim karar değişkenleri.....	149
Tablo 70a. Model-2/Senaryo-3 çözüm sonuçları	150
Tablo 70b. Model-2/ Senaryo-3'de temel çözüme giren üretim karar değişkenleri.....	151
Tablo 71a. Model- 2 temel çözümünde yer alan üretim karar değişkenlerinin analizi...	152
Tablo 71b. Model-2 Temel çözümünde yer alan taşıma karar değişkenlerinin analizi...	154

Tablo 72a.	MIP'in gevşetilmiş (LP) denkleminin temel çözüm sonuçları	158
Tablo 72b.	Heuristic yaklaşımla elde edilen temel çözüm sonuçları	158
Tablo 73.	Model -1 ve Model - 2' nin maliyetler yönünden karşılaştırılması	159
Tablo 74.	Model- 1'de yıllık etanın üretim metodu ve üretim sistemine göre dağılımı	159
Tablo 75.	Model-2' de etanın periyoda, üretim metoduna ve sistemine dağılımı.....	160
Tablo 76.	Planlama olmaksızın gerçekleşmesi beklenen insan gücüne bağlı üretim sistemlerinin operasyon maliyetleri	161
Tablo 77.	Planlama olmaksızın gerçekleşmesi beklenen insan ve hayvan gücüne bağlı üretim sistemlerinin operasyon maliyetleri	163
Tablo 78.	Kısıtlı kaynaklarla, planlama yapılmadan gerçekleştirilen üretim operasyonları	164
Tablo 79.	Uygulamada gerçekleşen birim fiyatlara göre bölmelerin üretim maliyetleri.....	165
Tablo 80.	Transport planlamasına göre üretim maliyetlerinin beklenen sonuçları	167
Tablo 81.	Nicel maliyetlere göre MIP çözümüyle hazırlanmış üretim çizelgesi.....	169
Tablo 82.	MIP formülasyonunda saf maliyetlerin katsayı olarak kullanılması sonucu elde edilen bulgular (Model-2' nin sonuç raporuna göre).....	169
Tablo 83.	MIP modelinde kullanılacak işgücü miktarları.....	170
Tablo 84a.	Model-LP1 ve Model-LP' temel çözüm kümelerinin karşılaştırılması.....	185
Tablo 84b.	Model-LP1 ve Model-LP' çözüm sonuçlarının karşılaştırılması.....	185
Tablo 85a.	Model-MIP1*&Model-MIP1**&Model-MIP2 üretim karar değişkenleri...	186
Tablo 85b.	Model-MIP1*&Model-MIP1**&Model-MIP2 işgücü miktarları.....	188
Tablo 86.	Doğrusal programlama modellerinin karşılaştırılması.....	191
Tablo 87.	Model-1&Model-LP1&Model-LP2' de işgücü kullanım oranları.....	192
Ek Tablo 1.	Yarı sürekli sayılarla temsil edilen modelde üretim karar değişkenlerine ait 25 nolu kısıdın açıklaması (kaynak kısıdı).....	232
Ek Tablo 2.	Yarı sürekli sayılarla temsil edilen modelde üretim karar değişkenlerine ilişkin 27 nolu (zorunlayıcı) kısıdın açıklaması.....	233
Ek Tablo 3.	Taşıma karar değişkenlerine ilişkin 29 ve 30 nolu kısıdın açıklaması.....	234
Ek Tablo 4.	Taşıma maliyeti katsayıları.....	235

SEMBOLLER DİZİNİ

- AHP : Analytical Hierarchy Process = Analitik Hiyerarşi Süreci
CBS : Coğrafi Bilgi Sistemi
DB : Daire Başkanı
DOİ : Devlet Orman İşletmesi
ILP : Integer Linear Programming = Tamsayılı Doğrusal Programlama
LP : Linear Programming = Doğrusal Programlama
MIP : Mixed Integer Programming = Karma Tamsayı Programlama
MP : Matematiksel Programlama
OBM : Orman Bölge Müdürlüğü
OGM : Orman Genel Müdürlüğü
OİM : Orman İşletme Müdürlüğü
OİŞ : Orman İşletme Şefliği
OP : Operasyonel Planlama
SAM : Sayısal Arazi Modeli
ŞM : Şube Müdürü
YA : Yöneylem Araştırması

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Orman kaynaklarının yönetiminde karşı karşıya kalınan en önemli problemlerden birisi odun hammaddesi üretim operasyonlarının planlanmasıdır. Bu planlama problemi; üretim kaynaklarının kullanımını, teknik - tesis ve araçlardan oluşan üretim sistemlerinin seçimini, üretim etkinliklerinin zaman ve yer açısından dağılımını, aynı zamanda bu operasyonlar süresince ve sonrasında toprak ve su kaynaklarının, meşcerede kalan ağaçların, gençliğin ve ürünlerin korunmasını vb. ormanın tüm fonksiyonlarını da dikkate almak zorundadır. Bu yönüyle odun hammaddesi üretiminin planlanması; teknik, ekonomik, çevresel ve sosyo-ekonomik boyutlu karmaşık bir problemdir.

Ormancılıkta odun hammaddesi üretimi; çap ve boy bakımından biyolojik yetkinliğe erişmiş olan dikili durumdaki ağaçların, piyasadaki odun hammaddesi taleplerinin karşılanması ve/veya orman işletmelerince kazanç elde edilmesi amacıyla kesilerek depolara kadar taşınması sürecinde uygulanan bir dizi etkinlikler bütünüdür. Odun hammaddesi üretimi; kesme, budama/tomruklama, kabuk soyma, bölmeden çıkarma, yükleme ve taşıma operasyonlarından oluşmaktadır.

Ormancılıkta odun hammaddesi üretimi, yüksek operasyon maliyetleri ile gerçekleştirilir. Yüksek maliyetler; işçi ücretleri, yüksek yatırım giderleri, kontrol edilemeyen operasyonel koşullar ve uzun transport mesafelerinden dolayı ortaya çıkan maliyetlerin fonksiyonudur. Yüksek yatırım giderlerinin ve operasyon maliyetlerinin konu edildiği odun üretiminde planlama, bir çok yönüyle oldukça önemlidir.

Odun hammaddesi üretim planlaması; bütçe, işgücü ve makine kaynaklarının rasyonel şekilde kullanılarak istenilen miktar ve kalitede odun üretiminin; nerede, ne zaman, nasıl ve ne şekilde yapılacağına ilişkin operasyon planlanması, olarak tanımlanabilir. Bu planlama, odun üretim operasyonlarının istenilen hedeflerini başarmak için gereken süreç ve eylemleri organize eder.

Ormancılıkta planlama problemleri, hiyerarşik planlama yaklaşımı kapsamında uzun (stratejik), orta (taktiksel) ve kısa (operasyonel) vadeli problemler olarak ele alınmaktadır. Odun hammaddesi üretiminin planlanması; operasyonel planlama aşamasının konusudur. Operasyonel planlar yıllık, sezonluk, aylık veya haftalık düzeyde hazırlanabilir.

Odun hammaddesi üretiminde yıllık operasyonel planlama; “bir yıllık odun üretim etkinlikleri kapsamında; hangi miktarda ve nitelikteki odun hammaddesinin, hangi kaynaklardan (bölme, insan-hayvan-makine işgücü, para, zaman) ne kadar kullanılarak, ne zaman ve nasıl üretileceği; nereden, nasıl ve hangi depoya taşınacağı; topoğrafik/teknik, ekonomik, çevresel, ergonomik ve sosyo-ekonomik kriterlere göre planlanması” anlamına gelir. Planlama bir karar verme sürecidir ve operasyonel planlamada konu edilen önemli kararlar; hasat edilecek üretim ünitelerinin periyotlara göre seçimi, kullanılacak üretim metodu ya da sistemlerinin seçimi ve bunların performansları, depolara taşınacak ürün bileşenlerinin tespiti, yükleme araçları, izlenecek yol güzergahı ve taşıma araçlarının belirlenmesi üzerinde odaklanır.

Operasyonel planlama problemleri, çok sayıda değişkeni içerir ve farklı matematiksel modelleme ve karar destek sistemleri ile bunların kullanımını kolaylaştıracak bilgisayar yazılımı ve donanımını gerektirir. Üstelik, çevresel ve sosyal değişkenlerin de probleme eklenmesiyle doğrusal olmayan amaçların çakışması söz konusu olur ve bu durumda problemin çözümü güçleşir.

Türkiye’de odun üretim operasyonlarının yürütülmesi, geleneksel olarak insan, hayvan ve kısmen de makine gücüne bağlı basit ve ara teknolojilerin kullanılmasıyla gerçekleştirilmektedir. Odun üretim operasyonları sırasında üretilen üründe, orman toprağında, dikili ağaçlarda ve fidanlarda, yaban hayatında ve su kaynakları üzerinde çeşitli şekil ve şiddette zararlar ortaya çıkmaktadır.

Öte yandan uygulamada, alternatiflerin sunulduğu ve ekonomik analizlerin yapıldığı bir planlama yaklaşımına rastlanılmamaktadır. Çoğu zaman odun hammaddesi üretimi, yıllık üretim programları üzerinden yürütülmekte ve başkaca nasıl bir hareket tarzının izlenebileceği düşüncesi ve tartışması da yapılmamaktadır.

Bu nedenlerle, odun hammaddesinin, ağacın kütüğü dibinden son depoya kadar; en az maliyetle ve en az çevresel zararlar gerçekleştirilmesi için aktüel yapının irdelenerek alternatiflerin türetilmesi; bunların uygulanabilirliğinin test edilmesi; kabul edilebilirliğinin ekonomik, çevresel ve sosyo-ekonomik perspektifte değerlendirilmesi amacıyla operasyonel düzeyde bir odun hammaddesi üretim planlamasına gereksinim duyulmaktadır.

Bu çalışmada, Türkiye ormancılığında odun hammaddesi üretim operasyonlarının planlanabilmesi için, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), çok kriterli analizler (Analitik

Hiyerarşi Süreci = AHP) ve yöneylem araştırması (YA) tekniklerinden yararlanılarak; yıllık düzeyde bir operasyonel planlama modeli gerçekleştirilmeye çalışılmıştır.

Bu kapsamda, tez çalışması;

- Ormancılıkta odun hammaddesi üretim sisteminin tanıtımını,
- Üretim operasyonlarının planlama esaslarını,
- Planlama problemini çözmeye yönelik, planlama yaklaşımının tanıtımını,
- Operasyonel kararların alınmasına yönelik stratejilerin geliştirilmesini,
- Problemi temsil etmeye yönelik bir modelin kurulmasını ve çözümünü
- Operasyonel planının uygulanabilirliğinin analizini ve
- Operasyonel planlama metodolojisinin kavramsal çerçevesini, içermektedir.

1.2. Çalışmanın Gerekçesi, Hipotez ve Amaç

Odun hammaddesi üretiminde, operasyon maliyetleri yüksektir. Türkiye’ de 1 m³ odun hammaddesinin üretiminde yıllık ortalama operasyon giderleri genel işletme giderlerin % 25’inden fazlasını kapsamaktadır. Örneğin, 2003 yılı itibarıyla genel üretim giderleri 252 Trilyon TL olarak gerçekleşmiş ve genel işletme harcamalarının % 39’ unu oluşturmuştur. Türkiye’de odun üretim maliyetleri dünya ortalama maliyetlerinin üstünde gerçekleşmektedir. Örneğin; 2000, 2001, 2002 ve 2003 yıllarındaki gerçekleştirmelere göre odun hammaddesi üretim giderleri (kesme, sürütme, yükleme, taşıma ve istif) genel işletme giderlerinin sırasıyla; % 28,5, %29,9, %33 ve % 25’ ini oluşturmaktadır. Üretim giderlerinin toplam gelirlere oranına bakıldığında 1999, 2001, 2003 yılları için sırasıyla; %39, % 37 ve % 39 olarak gerçekleşmiştir (ÖİKR, 2001; OGM, 2004).

Ormanlardan yararlanma ile ormanları koruma yaklaşımı; ormancılık operasyonları ile ilgili kararların alınmasını karmaşıklştırmaktadır. Odun üretimi; toprakta, meşcerede ve üretilen üründe farklı oranlarda zararlar oluşturmaktadır (Bayoğlu, 1972, Gürtan, 1975, Aykut, 1984, Acar, 1994). Buna rağmen işletmelerin ekonomik ihtiyaçları ve piyasanın odun hammaddesine olan gereksinimlerinin karşılanması amacıyla, üretim operasyonları yürütülmek zorundadır.

Orman kaynaklarından yararlanmanın düzeni, geleneksel olarak idarecilerin tecrübelerine göre tasarlanmaktadır. Birçok operasyonel faktöre rağmen planlama sürecinde, yalnızca ekonomiklik dikkate alınmaktadır. Halen, odun üretim

operasyonlarının yürütülmesi bakımından en ucuz yöntemin, en iyi olduğu felsefesi güdülmektedir.

Türkiye’de ormancılık; tarım sektörü içinde bir alt sektör olarak yer alır ve GSMH’ya katkısı % 0,8’ dir. Sektörün ileri bağlantısı 0,786’dır ve istihdam çarpanı 0,29 olup, 64 sektör içerisinde 17. sırada yer almaktadır. Yani birim çıktı başına en çok istihdam sağlayan sektörler arasındadır (Yılda ortalama 15 milyon adam/gün) (ÖİKR, 2001). Ormanlardan ekonomik ve çevresel beklentiler yanında, orman köylülerinin üretim operasyonlarında istihdam edilebilme beklentileri bulunmaktadır. Çünkü, gelir kaynaklarının bir kısmı bu operasyonların yürütülmesiyle ilişkilidir.

Öte yandan, Ülkemiz ormanlık alanlarındaki Dikili Kabuklu Gövde Hacmi (DKGH) 120 079 637 m³ tür. Devlete ait ormanlık alanlarda yapılan amenajman planları ile dikili gövde olarak, normal koru ormanlarında yıllık 11 997 088 m³, normal baltalık ormanlarında ise 784 349 ster eta kararlaştırılmıştır. Son 6 yılın (1995-2001) ortalaması olarak; koru ormanlarından elde edilen üretim miktarı 9 046 238 m³ tür. Bu miktarın % 79,8’i endüstriyel odun olarak, %20,2’ si ise yakacak odun olarak elde edilmiştir. Türkiye’ de yıllık toplam eta 17 175 444 m³’ dür. Bununla birlikte, VIII. OÖİKR’ye (2001) göre 2000 – 2015 yılları arasında, yurtiçi üretim tüketim dengesine bağlı olarak endüstriyel ve yakacak odun arzında yıllık ortalama 1 milyon m³’ lük bir açığın olacağı tahmin edilmektedir. Yani, odun hammaddesine olan ihtiyaç, Ülke bazında karşılanamamaktadır (Konukçu, 2001). Bu nedenle odun hammaddesi üretiminde kalite ve miktar kayıpları azaltılmalıdır.

Bunlara bağlı olarak, odun hammaddesi üretimi karmaşık ve yüksek maliyetli operasyonlar zinciridir. Bu, planlı hareket tarzlarını zorunlu kılar. Türkiye’de yıllık bazda iş planları ya da üretim programları adıyla bazı tasarımlar yürütülmesine rağmen, bunlar uygulanabilir yıllık plan niteliği taşımamaktadır. Bu yüzden, zamansal ve konumsal açıdan olduğu kadar kaynakların etkin kullanımı açısından da bir çok yönüyle analiz edilmiş; teknik olarak uygulanabilir, ekonomik olarak kazançlı ve çevresel olarak kabul edilebilir yapıda operasyon planlarına ihtiyaç vardır.

Odun üretim faaliyetlerinin planlanması; hiyerarşik planlama yaklaşımı kapsamında, operasyonel planlama aşaması olarak değerlendirilebilir. Operasyonel planların içeriği; odun üretim faaliyetlerinin yönetsel, teknik ve ekonomik açıdan analiz edilmesi ile belirlenebilir. Hangi operasyon tarzlarının ya da hangi kaynaktan ne kadarının

kullanılması gerektiği hususunda, niceliksel (kantitatif) bir karar mekanizması geliştirerek iyi bir planlama yapabilmek için YA tekniklerinden yararlanılabilir.

Yapısal olarak bu tez çalışması aşağıdaki kabul ve sınırlar çerçevesinde gerçekleştirilmiştir:

1. Planlamanın zamansal ölçeği yönüyle 1 yıllık odun üretim operasyonları; konumsal ölçeği yönüyle ise bir orman işletme şefliği alanlarındaki yıllık ara ve son hasılat etasının alınacağı bölmeler konu edilmiş; odun dışı ürünlerin üretimi ve rekreasyon gibi ormanların diğer mal ve hizmet üretimi fonksiyonları konu edilmemiştir.
2. Amenajman, silvikültür ve yol ağı planları çalışma alanında taktiksel düzeyli plan olarak kabul edilmiş ve bunların optimal bir plan oldukları varsayılmıştır.
3. En uygun planlamanın yapılabilmesi için öncelikle, plan etkinliği alanında aktif olarak kullanılabilen odun üretim teknolojileri tercih edilmiş, karşılaştırma yapılabilmesi için alternatif teknolojiler de çözüm kümesi içinde ele alınmıştır.
4. Maliyet hesaplamalarında enflasyonun etkisinin azaltılması için yıllık planlamada Türk Lirası, dolara endekslenmiştir. Bununla birlikte, planlama yılı içinde bazı modeller için paranın zaman değeri dikkate alınmamıştır.
5. Meşçeredeki yıllık artım, üretilecek miktar bakımından dikkate alınmamıştır.
6. Operasyon giderlerinin hesaplanmasında OGM' nin 2002 yılının başlangıcındaki birim fiyat kararlarından yararlanılmıştır. Standart zamanların bulunmasında 288 Sayılı Tebliğ (OGM, 1996) kullanılmıştır. Yörede kullanılmayan üretim teknolojileri için standart zamanlar literatürden temin edilmiştir.
7. Üretim operasyonlarının çevresel zararlarına ilişkin yapılan değerlendirmede; literatür bilgileri kullanılmıştır. Bu varsayımlar doğrultusundaki hipotez;

“Ho = Türkiye ormancılığında, operasyonel düzeyde bir üretim planlama modeli oluşturularak etkin ve istenilir tarzda odun hammaddesi üretim faaliyetleri gerçekleştirilemez” şeklinde ifade edilmiştir.

Bu kapsamda çalışmanın amacı, ormancılıkta yıllık üretim planlarının oluşturulabilmesi için teknik, ekonomik, ekolojik, ergonomik ve sosyo-ekonomik yapıları bir üretim planlama modelinin geliştirilebilmesidir.

Bir operasyonel planın nasıl hazırlanacağını yöntem biliminin sunulduğu bu çalışmada makro düzeyde hedeflenenler; (1) Operasyonel planlama metodolojisini tanıtmak, (2) Türkiye ormancılığı için yıllık bazda uygulanabilir ve sürdürülebilir bir operasyonel planlama modeli oluşturabilmektir.

Mikro düzeyde hedeflenenler ise; (1) Odun hammaddesi üretiminde ortalama operasyon maliyetlerini azaltmak, (2) Üretim operasyonlarından kaynaklanan çevresel zararları, uygun üretim sistemlerinin seçilmesi yoluyla azaltmak, (3) Üretim etkinliklerine girdi olan kaynakların tahsislendirilmesini optimize etmek, (4) Operasyon etkinliğini arttırmak, (5) Ergonomik üretim sistemlerinin seçilmesi yoluyla, üretim operasyonlarını insan lehine çalışılabilir duruma getirmek, (6) Operasyonlar sırasında meydana gelen ürüne yönelik kalite ve miktar kayıplarının azaltılması için planlama yoluyla önlemler almak, (7) Kurumsal ve sosyal beklentileri operasyonel planlama bazında tatmin etmekten ibarettir.

Planlama modelinden beklenen yarar; orman idarelerinin toplam giderleri içinde en büyük paya sahip üretim giderlerinde düşüşler sağlayabilecek ve ayrıca planlayıcılara, yöneticilere ve uygulayıcılara (kooperatif başkanı, müteahhit, posta başı, operatör, işçi vb.) odun üretim planlaması problemiyle ilgili analitik ve rasyonel kararların alınabilmesi doğrultusunda yol gösterici bir araç oluşturabilmektir.

1.3. Literatür Özeti

Ormancılıkta odun hammaddesi üretimi; kesme/devirme, dalların budanması, kabukların soyulması, boylara bölünmesi, boyların sınıflandırılması, bölmeden çıkarma, yükleme–taşıma–boşaltma ve istifleme çalışmalarını kapsamaktadır. Bu çalışmaların sırası, yeri ve şekli organizasyona bağlı olarak değişebilmektedir (Özçamur, 1981; Conway, 1982; FAO, 1982a; Erdaş, 1986; Dykstra and Heinrich, 1996; Rummer, 2002).

Odun hammaddesi üretim planlaması ise; fiziksel sınırlandırmalar, ekonomik beklentiler ve çevresel etkilere rağmen önceden belirlenmiş amaçları başarmak için üretim operasyonlarının organizasyonel sürecidir (Shemwetta, 1997). Odun hammaddesi üretim planlaması; odun üretiminin nasıl yapılacağını tanımlamanın fonksiyonu ve tüm ormancılık planlama sürecinin bir parçası olup (LIRA, 1987); kesme, bölmeden çıkarma ve orman ağacının bulunduğu yerden depolara kadar taşınması çerçevesinde gelecekteki ardışık olayları tanımlayan ve odun üretiminden beklenen amaçları başarmak için düşünülen süreç ve eylemleri organize eden bir planlama etkinliğidir (Dykstra ve Heinrich, 1996).

Acar (1994), bir orman bölgesinde kesim işi sonrasında taşımaya hazır hale gelen orman ürünlerinin orman yoluna taşınabilmesi için mevcut olanakların en iyi şekilde değerlendirilerek zaman ve mekan boyutunda planlamasını, “Orman Transport Planı”

olarak tanımlamış ve üretim sürecinin kesme (devirme, budama ve tomruklama, kabukların soyulması) aşamasını bu planlama yaklaşımı içinde ele almamıştır.

Bayoğlu (1996) da benzer şekilde, üretimin söz konusu olduğu bir ormanda tali nakliyatın (bölmeden çıkarma) yerine getirilmesine yardımcı olan transport tesislerinin yapımı ile taşıtlarından yararlanmanın en rasyonel şekilde düzenlenmesini sağlamak amacıyla yapılan çalışmaların tümüne “Transport Planlaması” adını vermiş ve kesme sürecini bu planlama içinde değerlendirmemiştir. Bu yönüyle, üretim planlaması, kütük dibinden depoya kadar olan operasyonları içermesi yönüyle, transport planlamasını da içine almaktadır.

Temelde odun üretim planlama problemini; fiziksel/mekansal düzenleme ve sistem seçimi olarak ikiye ayırmak mümkün iken; genellikle kütük dibi-depo arası üretim operasyonlarının planlanması; yukarıda değinildiği gibi hasat planlaması ve transport planlaması olarak ikiye ayrılmış biçimde ele alınmaktadır (Bayoğlu, 1962; Tavşanoğlu, 1964; Aykut, 1978; Seçkin, 1978; Conway, 1982; Erdaş, 1988; Acar, 1994; Dykstra ve Heinrich, 1996; Berg ve Schiess, 1996, Karaman, 1997; Heinemann ve Stampfer, 2003).

Mathews (1942), düz arazi ve eğimli arazide odun üretim araçlarının kullanılabilmesi için yol aralıkları, rampa aralıkları ve optimum sürütme mesafesi konusunda bazı yöntemler geliştirmiştir. Lussier (1961), Mathews’ in çalışmalarını geliştirerek, düz arazi ve düzgün formlu eğik araziye dikkate almış optimum sürütme mesafesi ve yol aralıklarının belirlenmesinin üretim oranı ve maliyetler üzerindeki etkisini göstermiştir. Üretim planlaması sırasında yol aralıklarının ve rampa yerlerinin belirlenmesi için üretilecek hacim, yol ve sürütme maliyeti bilinirse, minimum operasyon maliyetlerinin bulunabileceği ortaya konulmuştur (Suddart ve Herrick, 1964; Samset, 1979a ve 1979b; Bayoğlu, 1972; Peters, 1978; Greulich 1980 ve 1991; Olsen, 1983; Sessions ve Guangda, 1987; Sunberg ve Silversides, 1988; Clark, 1998).

Bayoğlu (1962), Seçkin (1978), Aykut (1986) ve Acar (1994) tarafından ormancılıkta odun hammaddesinin istihsalı için fonksiyonel arazi sınıflandırmasının gerekliliği ve kullanılacak araçlar ile uygulanacak üretim metotları açısından önemi belirtilmiştir.

Odun hammaddesi üretim planlamasında, fiziksel düzenlemeye ilişkin yaklaşım; topoğrafik haritalara ilaveten bilgisayarların, hava fotoğrafı ve uydu görüntülerinin, CBS ve GPS (Küresel Konumlandırma Sistemi) gibi konumsal karar destek sistemlerinin yaygın olarak kullanılmasıyla gelişimini sürdürmüştür (Young, 1979; Pulkki, 1984; Heinemann,

1994; Tucek, 1995; Başkent, 1996; Harstela, 1997; Mendoza, 1997; Tucek ve Pacola, 1999; Rönnqvist vd., 1999; Jun, 2000; Chung and Sessions, 2000; Sessions vd., 2001; Mikkonen, 2002; Lebel vd., 2003; Chung, 2003). CBS, özellikle transport ve orman yollarının planlanmasında etkili biçimde kullanılarak, odun üretim planlaması için mekansal düzenlemeye yardımcı olmaktadır (Eker ve Acar, 2002a; Gümüş, 2003).

Odun üretim planlamasının fiziksel boyutu yanında ekonomik boyutu da önem arz etmektedir. Odun üretim operasyonları, yüksek maliyetlerle gerçekleştirilmektedir ve planlamanın hedefleri arasından maliyetlerin azaltılması, önceliklidir. Planlama probleminin bu yönü için, matematik-istatistik yöntemlerle birlikte verimlilik ve maliyet fonksiyonları kullanılmıştır (Acar, 1994; Harstela, 1997). Ancak, ekonomikliğe bağlı bir değerlendirme ile bu konuda statik bir karar desteği oluşturabilmenin güçlüğü karşısında klasik değerlendirme teknikleri planlamada yetersiz kalmıştır (Reimer, 1979). Bu yüzden, kantitatif karar destek sistemlerine başvurulmuş ve optimizasyon ve simülasyon tabanlı YA teknikleri kullanılmaya başlanmıştır (Martin ve Sendak 1973; Dykstra, 1976; Davis, 1987; Robak, 1990; Oborn, 1996).

Türkiye ormancılığındaki transport problemlerinin çözümü için Soykan (1978), doğrusal programlama tabanlı "transport modeli"ni, ilk kez kullanmıştır. Geray (1978), tarife bedelinin belirlenmesi için yaptığı çalışmada, aktivite alanları başına üretim ve transport maliyetlerinin hesaplanması ve uzun dönemli planlama için LP' yi kullanmıştır. Gül vd. (2000), üretim çalışmalarında mekanizasyon ihtiyacının belirlenebilmesi için LP' yi kullanmıştır. Acar vd. (2000) ise, bölmeden çıkarma çalışmalarında toplam maliyetin minimizasyonu için LP' yi kullanmışlardır.

Odun üretiminin planlanması amacıyla kullanılan YA teknikleri içinde simülasyon modelleri de oldukça önemli yer tutar. Bazıları; HAT (Üretim Analiz Tekniği), GENMAC (üretim sistemi simülatörü), FHSM (orman üretim simülasyon modeli), FCTS (tüm ağaç yongalama ve transport simülatörü), SAPLOS, THAT (odun üretimi ve transport simülatörü), şeklindedir (Goulet vd., 1979; Ledox vd., 1983; Ortiz vd., 1997; Gallis, 2000).

Odun üretim operasyonlarının topoğrafik ve teknik faktörler ile ekonomikliğe göre planlanması yanında, üretim operasyonlarının çevresel zararları ve bunların azaltılması da planlama içinde dikkate alınmaya başlanmıştır. Bu, doğrusal olmayan ve sayısal olmayan değişkenlerin planlamada yer almasına neden olmuş ve kantitatif karar destek mekanizmaları, tek başına yetersiz kalmıştır. Bu tür planlama problemi daha çok teknoloji

veya sistem seçimi olarak irdelenmiş ve çok kriterli analizlerle çözülmeye çalışılmıştır (Linehan, 1993; Lihai, 1994; Varma vd., 2000; Lan, 2001).

Bu konuda, Engür (1996) Türkiye ormancılığında ilk defa odun hammaddesi hasadında makro düzeyde (ülke genelinde) teknoloji seçimi ve mekanizasyon seviyesinin belirlenebilmesi için ekonomi, ekoloji, topoğrafya, ergonomi ve sosyo-ekonomik kriterlerle bunlara ait alt kriterleri dikkate alarak AHP' yi kullanmıştır.

Öte yandan odun üretim planlaması; planlama ölçeği, içeriği, alansal boyutu, planlama adımları vd. özellikler açısından farklı biçimlerde ele alınmaktadır. Planlamada etkili olan faktörler açısından odun hammaddesi üretim planlaması, karmaşık bir iş olup; arazinin fiziksel özellikleri, meşcere yapısı, iklim, amenajman ve silvikültür planı, ürün, işgücü, üretim araçları ve yöntemlerinden etkilenmektedir (FAO, 1977; Staaf, 1984; LIRA, 1987; Sundberg ve Silversides, 1988; Dykstra and Heinrich, 1996; Shaffer, 1998).

Planlamada, karar verme düzeyinin her bir aşaması dinamik bir süreçtir. Her bir düzeyde alınan karar, daha alt düzeydeki kararı kısıtlar. Alt düzeydeki gerçekleştirmelerden elde edilen bilgiler de üst düzeydeki karar sürecine geri besleme yapar (Şekil 1).

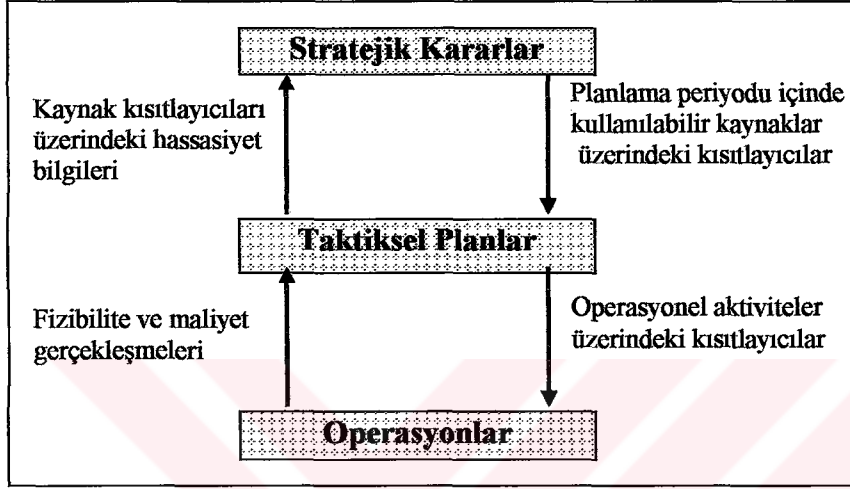
Hiyerarşik planlama yaklaşımına göre karar alma süreci; stratejik, taktiksel ve operasyonel olmak üzere 3 düzeyde kategorize edilmiştir (Weintraub ve Cholaky, 1991; Davis ve Liu, 1991; Laroze ve Greber, 1991; Jones, vd. 1991; Weintraub ve Davis, 1996; Weintraub vd., 2000a; Lockwood, 1998; Başkent, 1999; Sessions vd., 2001).

Stratejik Planlama: Uzun vadeli planlardır (20 yıldan daha fazla). Orman kaynaklarının ve bunlardan yararlanmanın sürdürülebilirliği için ulusal düzeyde bütün orman alanlarının planlanmasını içerir. Detayları az, konu ve alan kapsamı geniş, risk düzeyi ve belirsizlik yüksektir.

Taktiksel Planlama: 2 ile 20 yıl arasındaki zaman ölçeğini kapsayan orta vadeli planlardır. Üretime konu olacak meşcereler ve üretim amaçlı orman yollarının planlanması da bu düzeyde belirlenir. Detaylar, alan, kapsam, risk ve belirsizlik orta düzeydedir.

Operasyonel Planlama: Bu aşamada büyüme ve artım bir sorun değildir. Buradaki problem, üretimin hangi alanlardan gerçekleşeceği ve ürün tiplerinin maksimum karlılığı sağlayabilmek için hangi depolara sevk edileceğidir. Kullanılabilir işgücü ve makine kapasitesi, depo talep çizelgeleri, satış ve yönetimde sezonsal davranışlar buradaki diğer sorunlardır. Bu, kısa dönem planlama aşamasıdır. Günlük, haftalık, aylık, 3 aylık, yıllık ya da 18 aylık planlardır. Burada talep edilen odun hammaddesinin çapına ve boyuna göre üretim tekniği detaylandırılır ve kamyonlu taşıma programları bu düzeyde belirlenebilir.

Operasyonel planlamada amaç, uygulamanın yararlılığıdır. Planın faaliyet alanı dardır ve planlama çok detaylıdır. Belirsizlik ve risk seviyesi ise düşüktür (Powell, 1979; LIRA, 1987; Weintraub ve Cholaky, 1991; Köse ve Başkent, 1993; Dykstra ve Heinrich, 1996; Martel vd.,1998; McNaughton vd., 2000; Weintraub vd., 2002a; Palmgren ve Rönnqvist, 2003).



Şekil 1. Karar hiyerarşisinin ileri ve geri besleme süreci (Gunn, 1991).

1.4. Odun Hammaddesi Üretiminde Operasyonel Planlama

Operasyonel planlama (OP); belirli alanlardaki ormancılık operasyonlarını sürdürmek için gerekli olan kaynaklara erişimi, üretimi, yenilenmesini ve korunmasını olanaklı kılan metotlar, programlar ve sorumluluklar bütünüdür. Operasyonel planlar, gelecek yıl ve izleyen yılda gerçekleştirilecek olan orman amenajman aktivitelerinin tanımlanması, açıklanması ve sermaye kaynaklarının belirlenmesi ve aktivitelerin maliyetlerinin hesaplanması için gerekli olan planlardır (Branney and Dutson, 2003).

Robak, OP-PLAN adıyla operasyonel planların hazırlanması, düzenlenmesi, analizi ve geliştirilmesi için gerekli karar destek sistemini sağlayabilen bir operasyonel planlama aracı geliştirmiştir (Robak, 1984; 1990). Burger ve Jamnick (1991) tarafından kompleks odun dağıtım problemlerini analiz etmek için doğrusal programlama modeline bağlı odun üretimi ve dağıtım modeli, toplam odun maliyetlerin minimizasyonu ile kar maksimizasyonu arasındaki anlaşmazlığı tespit etmek için kullanılmıştır.

Laroze ve Greber (1991) tarafından odun üretim planlama problemini aşmak, üretim meşcerelerinden elde edilen net bugünkü değeri maksimize etmek ve odun üretimini etkileyen diğer faktörleri kontrol etmek için çok amaçlı bir odun üretim planlama modeli geliştirilmiştir. Bu model, hiyerarşik bir yaklaşıma dayanmaktadır.

Oborn (1996), TOPM (Tactical Operations Planning Model) adında çok yıllık (5 yıl) operasyonel planlama modelini geliştirmiştir. TOPM operasyonel (üretim, transport, yol yapımı, silvikültür ve odun satışları) ve zamansal (yıl ve sezon) değişkenlerin entegrasyonunu, matematiksel programlamanın matris boyutunda herhangi bir sınırlandırma yapmadan vurgulayan bir modeldir. Modelin amaç fonksiyonu, operasyon maliyetlerinin minimizasyonu veya kârlılığın maksimizasyonunu hedefler. Yarı sürekli değişkenlerle temsil edilen matrisin optimizasyonu için dal sınır algoritmasını kullanmıştır.

Clark (1998), potansiyel üretim bölmelerinin değerlendirilmesinde kullanılan üretim operasyon maliyetleri için bir model geliştirmiştir. Bu model; kesme, bölmeden çıkarma ve taşıma maliyetlerine dayanmaktadır. Model, üretim alanının geometrik yapısı ile orman yolu arasındaki ilişkiyi göstermesi açısından bir yenilik sağlamaktadır.

Chung (2003) kütük dibinden rampa yerine odun hammaddesinin hava hatları ile bölmeden çıkarılması ve buradan depoya taşınmasını içeren transport problemini çözmede Sessions tarafından geliştirilen network programlama tekniği olan “network heuristic algoritmasını” kullanan çözüm metodolojisini geliştirmiştir. Bu çözüm stratejisi optimale yakın çözüm vermektedir.

Karlsson vd. (2002), İsveç ormancılığında kısa dönemli odun üretim planlamalarının yıllık, 3 aylık ve aylık düzeyde yapılabildiğini belirtmişlerdir. Uzun dönemli ya da kısa dönemli üretim planlamalarının her bir işletme için ayrı ayrı düzenlendiği; bir yıllık planların taktiksel plan olarak görüldüğü; merkezi bir planlama sürecinde yıllık endüstriyel odun taleplerinin her bir işletme bölgesine aylık düzeyde dağıtıldığı belirtilmektedir.

Yıllık ve kısa dönemli planlamalar, belirli bir bölme veya yol ile ilgili kesin kararları içerir ve bunun sonucu olarak tamsayı ya da karma tamsayı programlama problemleri oluşur. Bu problemlerin pratik çözümlere eriştirilmesi için de sezgisel (heuristic) metotlar geliştirilmiştir (Weintraub vd., 1994a).

Epstein vd. (1999), yıllık yaklaşık 1 milyar \$ satış hacmine sahip Şili ormancılığında uzun ve orta vadeli planlamada, kısa vadeli üretim planlamasında, yol planlamasında, makinelerin konuşlandırılmasında ve günlük kamyon seferlerinin

programlanmasında YA tekniklerinin kullanıldığını, bu sayede yıllık 20 milyon \$ kazancın elde edildiğini belirtmiştir. Operasyon maliyetlerin dağılımında % 30' luk dilimi hasat ve % 42' lik dilimi ise transport maliyetlerinin teşkil ettiğini ve kısa vadeli planlama araçları olan YA tekniklerinden LP, MIP ve simülasyonun kullanılarak, bu aşamadaki maliyetlerin azaltıldığı belirtilmiştir.

1.4.1. Operasyonel Kararların Modellenmesi

Operasyonel planlar (OP), üretim kararlarının verilmesinden ürünlerin talep merkezlerine varış saatine kadar olan bilgileri içerir. Talep miktarları zamana göre dizildiğinde hangi periyotta yada ayda ne kadar ürüne ihtiyaç olacağına karar verilir ve operasyonel bir üretim programı hazırlanır. Bu aşamada, envanter analizi de gereklidir. Hacimle ilgili bilgiler hem piyasa için hem de nakliye özellikleri için değişkendir.

OP, odun tahsislendirme süreci ve aktüel odun üretimini gerçekleştirmek için gereken aktivitelerin planlanması için bir referans teşkil eder. OP' nin amacı, planlamanın belirli bir periyodu boyunca takip edilecek üretim programını tanımlamaktır. Taktiksel plandan elde edilen kesim bütçelerine dayandırılarak yıllık ve sezonluk talepleri karşılayabilecek şekilde operasyon sonuçlarını veren daha hassas ve tahsislendirici bir planlama evresidir. Operasyonel planların tanımlanabilmesi için (a) piyasa başına gerçek talep miktarı, (b) hasat için hazır olan ve kullanışlı meşcereler, (c) yol ve makine parkı gibi verimli ya da kullanılabilir altyapı gereklidir. OP, talep piyasası için gereken üretimin yapılabileceği meşcerenin alanını veya sırasını belirten programları içerir. Operasyonel planlar her sezonun sonunda yeniden revize edilebilir (Laroze ve Greber, 1991).

Burger ve Jamnick (1991), karmaşık (fiziksel) odun dağıtım sistemini analiz etmek için doğrusal programlamayı kullanarak odun elde edim ve dağıtım modeli geliştirmiştir. Bu modelde, toplam karlılığın artırılması ve maliyetlerin minimizasyonu amaçlarının sağlanabilmesi için bir LP formülü geliştirilmiştir. Bu model, depo ihtiyaçları, ürün gelirleri, üretim, transport ve odun satış maliyetleri ile ilgilidir. LP modeli, HYPER LINDO programında çözülmüştür.

Walker ve Preiss tarafından 1988' de hasat ve transport aktivitelerini planlamak için kullanılan karma tamsayı programlama (MIP) ile, odun dağıtım maliyetlerinin, manuel yöntemlere kıyasla metreküp başına 1 ile 4 \$ arasında azaltıldığı belirtilmektedir (Burger and Jamnick, 1991).

Hiyerarşik planlama kapsamında, her bir planlama basamağı arasındaki birleşimin ve koordinasyonun nasıl yapılabileceği sorunu ile karşılaşmıştır. Genellikle, stratejik ve taktiksel planlama aşamalarının birleştirilmesine yönelik olarak Martel vd. (1998), Weintraub and Cholaky (1991), Nelson vd. (1991) ve McNaughton vd. (2003) gibi bir çok araştırmacılar tarafından entegre planlama modelleri geliştirilmiştir.

1.4.2. Operasyonel Planlamanın Özellikleri

Genel planlamanın tüm yararları operasyonel planlama için de geçerlidir. (1) Operasyonel planlama ile yıl içinde odun üretim operasyonlarına yönelik alternatifler, sistemli bir şekilde azaltılabilir, kaynakların harcanması konusunda en doğru kararlar verilebilir. (2) OP, halihazır durumdaki gibi operasyonlara yönelik kararları, tekdüze ve statükocu yapıdan arındırabilir. 3) Orman işletmesi, amenajman planları ile uygulama arasındaki farklılığın yarattığı fırsat ve tehlikelere önceden hazırlanabilir. 4) İşletme bazında, sınırlı kaynakların (makine, işgücü, para) işlem görecekteki rekabet halindeki bölmelere dağıtımını sağlanabilir. (5) OP, orman işletmelerine sistemli düşünme ve karar alma alışkanlığını getirebilir. (6) OP, işletme müdürlüğü bazında da düzenlenebilir. (7) OP ile işletme yöneticileri, işletmenin faaliyetleri ve amaçlarıyla bunların gerçekleştirilmesi yolları hakkındaki genel bilgi ve kanaatlerini zenginleştirerek yönetim becerilerini geliştirmelerine zemin hazırlayabilir. (8) OP, odun üretimindeki gecikmeleri ve bu gibi işletme çalışmalarına zarar verici etkenleri önceden görüp gerekli önlemleri alma olanağı sağlayabilir. (9) Odun üretim etkinliklerinin kontrolü için gerekli standartların ortaya konulmasını sağlayabilir ve bu, sertifikasyona zemin hazırlar. (10) Çerçeveselendirilmiş bir davranış biçimiyle, odun üretim planlaması ve uygulaması, kısa zamanda standartlaşır ve muhtemelen, "en iyi yol" durumuna gelebilir.

Buna karşın, genel bir planlamanın zarar ve riskleri OP tarafından da taşınmaktadır. OP; (1) Zaman, emek ve enerji harcamalarını gerektirir. (2) Matematiksel verilerin temini ve işlenmesi, bazı bilgisayar program (LINDO gibi) ve yazılımları (Arcview gibi) ile planlama araçlarının kullanılmasında personelin hazır olmaması önemli bir sakınca oluşturabilir. (3) Kapsam ve süreç açısından OP' nin eksik ve hatalı olması, saptanan amaçlara ulaşılması yerine bazı dilek ve istekleri yansıtan bir belge niteliği taşımaktan öteye gidemez. Böyle bir durumda plansızlık, planlamadan daha isabetli olabilir. (4) Planın kapsayacağı uygun (optimum) zaman süresi, yani kısa veya uzun süreli olup olmaması,

konusunda da hatalar yapılabilir. Genellikle uzun süreli OP’de isabet derecesi azalır. (5) OP’nin hazırlanması için gereken inceleme ve araştırma yapılmadan alınacak hızlı kararların doğruluk derecesi azalabilir. (6) Plan belirli bir çalışma düzeni ve dolayısıyla standart yöntemler ortaya koyar. (7) Yöneticilerin dikkatini gereğinden fazla geleceğe çevirmesi ve içinde bulunduğu durumu ihmal etmesi, planlamanın ortaya çıkarabileceği diğer bir sakınca olabilir. (8) OP’nin önemli sakıncalarından bir diğeri de plan uygulayıcılarının girişim potansiyelini köreltmesi olarak sayılabilir.

1.4.3. Operasyonel Planların Değerlendirilmesi ve Denetim

Hazırlanmış bir operasyonel üretim planı, uygulanmadan önce bazı resmi prosedürleri takip etmelidir. Öncelikle planın üst düzey yöneticiler tarafından kabulü ve onaylanması gereklidir. Aynen bütçe teklifinde olduğu gibi bu süreç her basamaktaki yöneticinin katılımı ile sağlanabilir. Planın uygulayıcısı yani yürütücüsü yine orman köy kooperatifleri ya da müteahhitler olacaktır. Ancak, yönetici, ya da başkaca hakem bir kuruluş operasyonun her anında denetim amaçlı müdahale hakkına sahip olmalıdır.

Planın kümülatif olarak değerlendirilmesi; plan uygulamalarının sonunda yapılır. Planın her adımı ayrı ayrı, plan amaçlarına uygun gerçekleştirilip gerçekleştirilemediğine göre analiz edilebilir. Kullanılan üretim sistemlerinin verimliliği, maliyetleri ve yararları, ürün kalitesi, iş güvenliği ve zamanlama plan değerlendirilmesinde kullanılacak bazı değişkenlerdir. Shemwetta (1997), detaylı bir üretim planının değerlendirilmesi için şu gösterge kriterlerin kullanılabilirdiğini belirtmiştir;

- Toplam operasyon maliyetleri,
- Birim odun ürünü çıktısı için kaynak girdilerinin oranı,
- Üretim operasyonlarının toprağa, vejetasyona, kalan meşçereye ve operasyon alanına verdiği zararların derecesi,
- İş güvenliğinin derecesi.

Öte yandan planların öznelliğinden kurtulmak için, planın ait olduğu yörenin sosyo ekonomik koşulları ve kültür yapısına bakılarak, kullanılan metot ve modellerin yöresel şartlara uygun olması sağlanmış olmalıdır.

Planın denetlenmesi ile operasyonun denetlenmesi arasındaki farklılığı bilmek gereklidir. Operasyonların denetimi, üretim etkinliklerinin devam ettiği anda yapılırken;

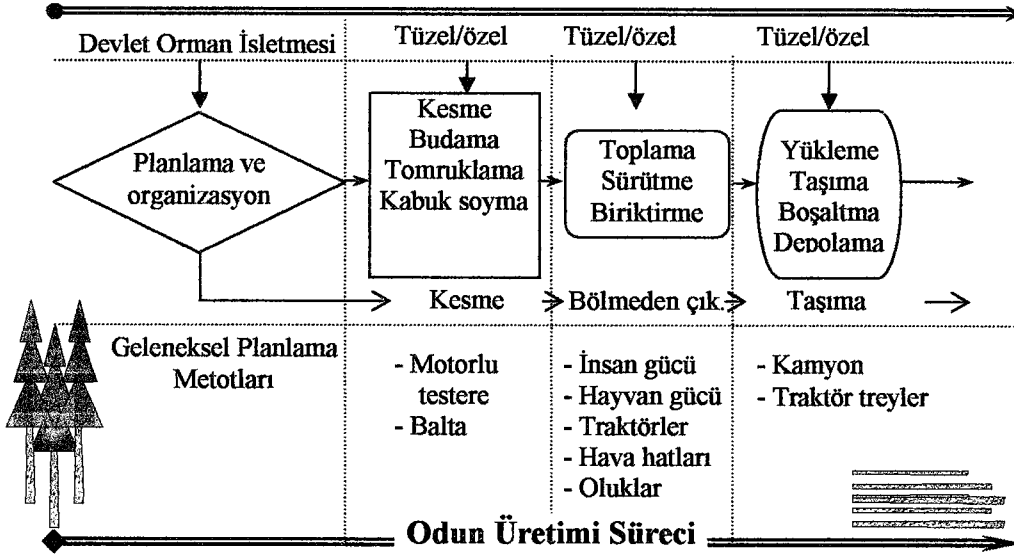
üretim operasyonlarına ilişkin planın denetlenmesi ise, tüm faaliyetlerin sonunda yapılır. Özellikle üretim operasyonlarının ekonomik, çevresel, sosyal vb. etkileri denetlenir.

Üretim operasyonlarına ilişkin uygulamaların denetimi 3 şekilde olabilir: 1. Uygulama denetimi; uygulamaların planlamaya göre yapılıp yapılmadığını denetler. 2. Etkililik denetimi; düşünülen amaçların başarılabildiğini denetler. 3. Geçerlilik denetimi; planlamada kullanılan veri ve bilgilerin gerçekçi olup olmadığını belirlemek için yapılan denetimdir. Dykstra ve Heinrich (1996) üretim operasyonlarından sonra, planın etkisini ve başarısını ölçmek için sistematik kontrollerin yapılması gerektiğini dikte etmektedir. Operasyon sonrası denetim, operasyonun hemen ardından yapılabileceği gibi yağmurlu sezonların sonunda aktüel durumun gözlenmesi açısından yapılması gereklidir. Önlemlerin zamanında alınabilmesi için, denetimler en geç 2 yıl içinde gerçekleştirilmelidir. Buna göre de üretim planlarının denetlenmesi şunları içermektedir;

- Yolların konumu, rampa yerleri ve sürütme yolları açısından aktüel ile planlamanın farkı,
- Yolların, rampa yerlerinin ve sürütme şeritlerinin durumunun değerlendirilmesi, kapalı olup olmadıkları, yeniden vejetasyona uygun olup olmadıkları,
- Yollar, sürütme şeritleri ve kablolu hatlar tarafından işletmeye açılan alanların yüzdeliğinin plan ve aktüel arasındaki karşılaştırması,
- Kesim yüksekliğinin ölçülerek meşcerede kalan köklerden hareketle kaybolan değerlerin tespiti,
- Planlamada işaretlenen alan sınırlarına göre kesim yapılıp yapılmadığı,
- Üretim sistemlerinde kullanılan araçların seçiminde iş güvenliği kurallarına uygun araçların seçilip seçilmediği,
- Çalışma sırasında işçilerin kişisel koruyucu ekipman kullanıp kullanmadıkları ile yararlı ve uygun çalışma yöntemlerini tercih edip etmedikleri, denetlenebilir.

1.5. Ormancılıkta Odun Hammaddesi Üretim Sistemi

Ülkemizde, odun üretim operasyonları aşağıdaki şekildeki gibi şemalandırılabilir (Şekil 2). Buna göre, odun hammaddesi üretim sisteminde kesme süreci; ağacın dikili bulunduğu yerde kesilip devrilmesi, dal, tepe ve uçlarının alınması, ölçülüp işaretlenmesi, tomruklara bölünmesi ve kabuklarının soyulması işlerinden ibarettir (Erdaş, 1987; Yıldırım, 1989a; Bayoğlu, 1996).



Şekil 2. Odun üretim sisteminin Türkiye’deki genel durumu (Acar ve Eker, 2003).

Bölmeden çıkarma; odun hammaddesinin kesim noktasından en yakın orman yolu kenarına kadar değişik şekillerde taşınmasını ifade eder (Acar, 1994).

Taşıma ise orman yolu kenarı yada geçici istif yerlerinden (rampa), ara veya son depolara kadar tomrukların taşınması sürecini ifade eder. (Aykut, 1984; Erdaş, 1986; Bayoğlu, 1996; Acar, 1997). Yükleme ve boşaltma bu süreç içine dahil edilebilir.

Odun hammaddesi üretiminde kullanılan üretim yöntemleri (metotları); genellikle tomruk, bütün gövde ve bütün ağaç yöntemi olarak 3 kategoride sınıflandırılmaktadır. Ancak, Türkiye’de çoğunlukla tomruk yöntemi kullanılmaktadır (Acar, 1997).

Tomruk yöntemi, tomrukların kalınlıklarına göre (ince, orta, kalın), ağaç türüne göre (iğne yapraklı, yapraklı) ve uzunluklarına göre (kısa, normal, uzun) sınıflandırılabilir. Bu yöntem, klasik sürütme yöntemleri yanında; vinçli araçlara, traktörle kablo çekimine, hava hatları ile bölmeden çıkarmaya uygundur (Erdaş, 1987).

Odun üretiminde kullanılan bölmeden çıkarma teknikleri; sistem bakımından insan gücü, hayvan gücü, tarım ve orman traktörleri (sürütücü ve forwarder dahil), orman hava hatları, balon, helikopter ve oluk sistemi olarak 7’ye ayrılabilir.

Türkiye’de yaygın olarak kullanılanları; insan gücü, hayvan gücü, traktörler, hava hattı ve oluklarla bölmeden çıkarmadır.

1. İnsan gücüyle bölmeden çıkarma: Eğimli arazide ve taşıma yönünün yukarıdan aşağı yönde yapılması halinde kullanılabilen en eski ve basit yöntemdir (Erdaş, 1988). Yerçekiminin etkisinden yararlanılarak atma, yuvarlama, itme ve kaydırma

- şeklinde insan gücüyle bölmeden çıkarma gerçekleştirilmektedir. Taşınan üründe kalite ve miktar kaybına, meşcerede ise kalan dikili ağaçlara, genç bireylere ve orman toprağına zarar verici bir tekniktir (Gürtan, 1975).
2. Hayvan gücüyle bölmeden çıkarma: Hayvan gücüyle tomruklar, doğrudan zemin üzerinde sürütülebildiği gibi yardımcı araçlara yüklenip hayvanlar tarafından çekilmek suretiyle de taşınabilir. At, katır, öküz ve manda kullanılan koşum hayvanlarındandır. (Aykut, 1984).
 3. Traktörlerle bölmeden çıkarma: Tarım traktörleri çoğunlukla tambur monte edilerek kablo çekiminde veya arkasına vinç monte edilerek ürünler çelik tel halat yardımıyla doğrudan zemin üzerinde yada orman yolu veya traktör yolunda sürütülür. Orman traktörleri ise çoğunlukla kablo çekimi için kullanılmakta olup zeminde ve yollar üzerinde de sürütme yapabilir (Acar, 1994).
 4. Orman hava hatları ile bölmeden çıkarma: Çeşitli özellikleri bakımından sınıflandırılan hava hatları (Bayoğlu vd., 1993) uzun, orta ve kısa mesafelerde kullanılabilir. Dağlık arazide ve yüksek yamaç eğiminde kısa ve orta mesafeli vinçli hava hatları ile hem aşağıdan yukarı hem de yukarıdan aşağı taşıma yapılabilmektedir (Acar, 1994).
 5. Oluk sistemiyle bölmeden çıkarma: Toprak, ahşap, sac, polietilen ve fiberglas olmak üzere çeşitli oluk tipleri ile odun hammaddesinin bölmeden çıkarılması söz konusudur (Acar ve Eroğlu, 2004).

1.5.1. Odun Hammaddesi Üretiminde Sistem Seçimi

Odun hammaddesi üretim sisteminin seçiminde hem üretim metotlarının hem de kesme ve bölmeden çıkarma süreçlerinde kullanılacak araç ve yöntemlerin seçimi söz konusudur. Tümünün sistem anlayışı ile değerlendirilebilmesi için “mekanizasyon düzeyinin belirlenmesi” veya “teknoloji seçimi” yaklaşımı kullanılabilir.

Odun hammaddesi üretim sistemi seçiminden amaç, uygun odun üretim sisteminin belirlenebilmesidir. Odun hammaddesi üretim planlamasında “uygun üretim sistemi”; odun üretimini teknik olarak gerçekleştirebilen, işletmeciye göre en çok kar getiren, gelir sağlamayı garanti eden, teknik ve maliyet yönünden uygun mal veya hizmeti üretebilen, çevreyi kirletmeyen, sosyo-ekonomik hedeflere ulaşmayı sağlayabilen ve planlamacıya göre de uzun-orta-kısa vadeli hedefleri başarabilen bir teknolojidir.

OP'de en önemli aşamalardan biri olan üretim sistemlerinin seçimi, operasyonel karar modelinin kuruluş amacıdır. Operasyonel kararlar; ekonomik, teknik, topoğrafik ve sosyal faktörlere göre en uygun odun üretim sisteminin belirlenmesine dayalıdır.

Odun üretim operasyonundan beklenen amaç ve hedefler sistem seçiminde etkilidir. Odun hammaddesi üretimindeki ana hedefler; I. Maliyetleri minimuma düşürmek, II. Satış gelirlerini maksimum yapmak, III. Kazancı maksimuma çıkarmak, IV. Karlılığı maksimuma çıkarmak, V. Çok yönlü maksimum fayda sağlamaktır. Tali hedefler ise; I. Makinalardan maksimum faydalanmak, II. Çalışma yoğunluğunu optimumda tutmak (insanın çok çalışması, az yorulması), III. Psikolojik ve fizyolojik baskıyı en aza indirmek, IV. Çevre zararlarını minimuma düşürmek, şeklindedir (Yıldırım, 1989b).

Odun üretim sisteminin çalışması ve operasyonların gerçekleştirilmesi; arazi yapısı (eğim, engebelilik, vb.), meşcere yapısı (kapalılık, ağaç hacmi, boy, vb.), ekonomi (bütçe, maliyetler, vb.), teknik ve kurumsal bileşenler (sosyo-ekonomi, çevre, vb.) tarafından kısıtlanabilir. Bu nedenle, odun hammaddesi üretiminde etkili olan temel faktörler, aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\text{Sistem} = f(\text{topoğrafya, teknik, ekonomi, çevre, sosyo-ekonomi})$$

Odun üretim sistemlerinin seçiminde bu makro düzeyli yada genel yapıli seçim kriterleri yanında bunların ölçümüne yarayan alt kriterler de söz konusudur. Erdaş (1986), üretim sistemini etkileyen faktörleri; (1) Orman ve ormandaki ürüne ilişkin faktörler, (2) Orman İşletmesinin ekonomik yapısı, (3) Arazi şartları, (4) Güç kaynakları (işgücü kapasitesi, kalitesi, yeterliliği, makine potansiyeli, tipi ve verimliliği, vb.), (5) Makine giderleri, (6) Pazar (piyasa) şartları, (7) Personel sayısı, (8) Çevrenin istekleri ve (9) İklim ve çalışma mevsimi, olarak sıralamıştır.

Odun hammaddesi üretim sisteminin seçimi; topoğrafya, zemin koşulları, meşcere tipi, makine kullanılabilirliği ve ekonomiye dayalı bir operasyonel karar olarak tanımlanır. Üretim sistemleri, amenajman amaçlarıyla tanımlanmış silvikültürel amaçların bileşim noktasında meşcere ve alan karakteristikleri tarafından dikte edilir.

FAO (1987)' ya göre, odun üretim sistemlerinin seçiminde etkili olan göstergeler;

- Ağaçlara, toprağa ve araziye verilen zararların azaltılması,
- Ürün kalitesinin ve miktarın artırılması,
- Yöre halkı için istihdam sağlanması ve gelir kaynağı oluşturulması,

- Ulusal kalkınma için ormanın tüm fonksiyonlarından (mal ve hizmet yönünde) yararlanmanın garanti altına alınması.

Engür (1996), odun hammaddesi üretim sistemi seçimini etkileyen çeşitli faktörleri;

- Üretim alanının büyüklüğü ve yeri,
- Arazi ve toprak koşulları,
- Orman yol şebekesinin yoğunluğu ve taşıma koşulları,
- Gövde boyutları, meşcere yoğunluğu, üretilen odun sınıfları,
- Silvikültürel müdahale (bakım, gençleştirme, tıraşlama),
- Üretim süresince iklim ve hava koşulları,
- Bölmeden çıkarma mesafesi,
- Servis ve yedek parça merkezine uzaklık, olarak sıralamıştır.

Üretim sistemlerinin seçimi, planlamada en kritik kararlardan biridir. Bu, aynı zamanda bir teknoloji seçimidir ve mühendislik prensipleri ile bilimsel bilgi önceden gereksinim duyulan bir alt yapıdır (Kitagawa, 2002).

Ormancılık operasyonlarında kullanılan teknoloji; temel, ara ve ileri teknoloji olarak sıralanmıştır (Frykman, 1982; Chatterjee, 1982; Engür, 1996). Bu teknolojik sıralamada etkili olan kriterlerden bazıları; kapital/yatırım, mekanizasyon, işgücü yoğunluğu, hastalık ve kaza riski, zihinsel iş yükü, eğitim ihtiyacı, işlendirme, iş verimliliği vb. olarak sıralanabilir.

Odun üretim sistemlerinin seçiminde alternatiflerin değerlendirilmesi için Jirikowski, (1992) tarafından sıralama yöntemi kullanılarak maliyet-yarar analizi yapılmış ve bu yöntemde sistem seçimi için şu belirteçlerden yararlanılmıştır;

- Ekolojik bakımdan önemlilik,
- Silvikültürel açıdan önemlilik,
- Teknik açıdan önemlilik,
- Ekonomik açıdan önemlilik.

Engür (1996), odun hammaddesi üretim sistemlerinin seçiminde üretim maliyetlerine yönelik ana kriterlerin; meşcere özellikleri, tomruk boyutları, arazi koşulları, toprak yapısı, iklim, ulaşım, ekonomik veriler ve işgücü verileri olduğunu belirlemiş ve bunların da alt kriterlerden oluştuğunu göstermiştir.

Uygulamada, geleneksel yöntemle, tecrübelerle dayalı ve ekonomik uygunluğa göre bir sınama yapılarak üretim sistemi seçimi yapılabilir. Ancak, bu yöntemle ergonomik,

ekolojik ve fonksiyonel olduğu kadar sosyal beklentilere de uygun olan sistemi seçmek zordur. Bu yüzden analitik araçlara ihtiyaç duyulur. Sistem seçiminde kullanılan araçlar; nitel ve nicel değerlendirme araçları olarak iki kısımda toplanabilir. Nitel değerlendirme araçlarına; yapay zeka ürünlerinden uzman sistemler ve bulanık mantık, çok kriterli analiz tekniklerinden analitik hiyerarşi süreci ve ranking örnek gösterilebilir.

Sistem seçiminde kullanılan nicel değerlendirme araçları olarak; bazı ekonometrik ve matematik-istatistik yöntemlere göre düzenlenmiş bilgisayar programları (Fight vd., 1999) ile yöneylem araştırması teknikleri ve CBS etkili biçimde kullanılabilir (Eker ve Acar, 2002b, Eker ve Acar, 2003).

1.5.2. Odun Üretim Planlaması ve Sistem Seçiminde Kullanılan Araçlar

1.5.2.1. Çok Ölçütlü Analizler ve Analitik Hiyerarşi Süreci

Çok ölçütlü analizler (Multi criteria analysis), bir problemin çözümüne ilişkin karar vermede birbirleriyle çakışan ölçütlerin ayıklanmasını ya da birbiri ile örtüşmeyen değerlerin bir düzlemde kıyas edilmesini sağlar. Ancak bir problem için optimal çözümü bulmada kullanılan bir yöntem değildir. Farklı özelliklerdeki çözüm stratejilerinin karşılaştırılmasında karar vericiye destek sağlar (Matsushashi, 1997).

Analitik Hiyerarşi Prosesi/Süreci (AHP), karmaşık karar verme problemlerinin çözümünde sıkça kullanılmakta olan çok ölçütlü karar verme tekniklerinden birisidir. Asıl olarak elemanların ikili karşılaştırılmasından elde edilen önceliklere dayalı bir ölçüm teorisidir. Bu yöntem, en iyi alternatifin seçilmesinde, hem nesnel (objektif) hem de öznel (sübjektif) faktörlerin dikkate alınmasına imkan verir. AHP; kararı temsil eden genel amaç, ölçütler ve karar alternatiflerinden oluşan bir yapıya sahiptir (Taha, 2000).

AHP'de karar verici, genel amaca ulaşmaya yaptığı katkıya göre her bir kriterin göreceli önemi hakkında hükümlerde bulunur. AHP' nin püf noktası, karar alternatiflerinin derecelendiği, göreceli ağırlıkların belirlenmesidir (Saaty, 1998; Schmoldt ve Peterson, 1997; Engür, 1996).

1.5.2.2. Yöneylem Araştırması Teknikleri (LP ve MIP)

Yöneylem araştırması (YA) problemlerin; matematik, grafik ve sezgisel modellerle ifade edilerek, bu modellerin çeşitli yöntemlerle çözülmesi ve en iyi (optimal) çözüme ulaşılmasını sağlayan bilimsel yöntemlerle uğraşır.

Yöneylem araştırmasının temelini, model ve modelleme oluşturur. Bir sistem bileşenlerinin simgelerle tanımlanıp bileşenler arası ilişkilerin fonksiyonlarla gösterimine “Matematiksel Model” denir. Sistemin yöneticisinin kontrolü altında olup karar değişkeni olarak isimlendirilen değişkenlere, hangi değerlerin verilmesi gerektiğini belirlemek amacıyla kullanılan matematiksel modellere “Karar Modeli” denir. Genel olarak modelleme süreci; problemin tanımlanması, bilgi toplanması, gözlemlerin yapılması, nitel yada nicel modelin oluşturulması, veri toplanması, modelin çözülmesi, çözüm analizi, çözümün uygulanması ve çıktıdan ibarettir. Modellerinin yapılandırılmasında üç temel bileşen bulunur ve bunlar; (a) kararlar, (b) kısıtlar ve (c) amaçlardır (Dykstra, 1984; Markland ve Sweigort, 1987; Apaydın, 1996; Kara, 2000; Köse vd., 2000).

Ormancılıkta yaygın olarak kullanılan yöneylem araştırma teknikleri (Sianturi, 2000); Doğrusal Programlama (LP), Tamsayı (IP) veya Karışık Tamsayı Doğrusal Programlama (MIP), Amaç Programlama (GP), Bulanık (Fuzzy) Optimizasyon, En Kısa Yol Algoritması (SPA), Dinamik Programlama (DP) ve Metaheuristik (Simulated Annealing, Genetik Algoritma, Tabu Arama, vb. algoritmalarından oluşan kombine optimizasyon teknikleri) olarak sıralanabilir.

Bu çalışmada, YA tekniklerinden doğrusal programlama ve karma tamsayılı programlama kullanılmıştır. Diğer tekniklerden amaç programlama, birden fazla amacı gerektirmesi ancak OP’ de ekonomik amaç haricindeki diğer amaçların sayısal bir değerle ifade edilememesinden dolayı (örneğin; çevresel zarar maliyetinin nicel değerinin hesaplanamaması), kullanılmamıştır. Dinamik programlama ise, çok detaylı verileri gerektirmesi ve odun üretim operasyonlarının kontrol edilemeyen çok sayıda değişkeni içermesi ve bunların aralarındaki dinamik ilişkinin modellenmesindeki güçlükten dolayı tercih edilmemiştir. Buna karşın; doğrusal programlamanın kullanılmasında; problemin doğrusal ilişkilere göre kurulması, modellenmesindeki ve çözüm tekniklerindeki kolaylığı ile maliyet bileşenlerini temsil edebilme yeteneği, etkili olmuştur. Ancak, operasyonel düzeydeki kararlarda, bir kaynak için yalnızca bir tahsislendirme yapılması gerekmiş ve bu durumda, LP’ nin bölünebilirlik özelliğine karşı tamsayılı programlama kullanılmıştır.

Bununla birlikte, OP probleminde orman bölmelerinin üretimi için uygun periyodun, üretim yönteminin ve üretim sistemin atanması söz konusudur ve bu, bir atama problemidir. Atama problemlerinin çözümünde LP ve MIP tekniklerin etkili olarak kullanılabilir.

Doğrusal programlama (LP); sınırlı kaynakların kullanımını optimum kılmak için tasarlanmış bir matematiksel model olup; amaç fonksiyonu ve kısıtların, karar değişkenlerinin doğrusal fonksiyon olarak yazıldığı matematiksel programlamanın özel bir alanıdır (Doğan, 1995; Akgül, 1998; Rardin, 1998; Bakır ve Altunkaynak, 2003). LP, hesaplamalardaki yüksek verimliliği ile tamsayı, doğrusal olmayan ve stokastik programlama gibi başka tip yönelem araştırması modellerinin çözüm algoritmalarının geliştirilmesinin de temelini oluşturur (Taha, 2000).

LP' nin koşulları;

- Doğrusallık ve oranlılık/bölünebilirlik (LP, bir sistemin bir çok temel fonksiyonlara bölünebileceğini kabul eder. LP, bu özelliği itibarıyla rasyonel ve tam sayı değerleri alabilir,
- Negatif olmama koşulu (çözümde yer alan değişkenler eksi değer alamaz) ,
- Toplanabilirlik koşulu (sistemin toplam çıktısı, sistemin elemanlarının her birinin toplamına eşit olmalıdır),
- Amaç fonksiyonunun doğrusal olduğu varsayımı.

LP' de; veriler yeterli detay düzeyinde kullanılabilir olmalı, amaç ve kısıt denklemlerinde doğrusallık olmalı, problem sonlu kaynaklarla ilgili olmalıdır (aktivitelerin sayıları eşit olmalıdır ya da belirli bir planlama horizonunu açıkça belirtmelidir). LP, deterministik bir çözüm metodudur. Verilen girdiler, belirlilik derecesi sınırları içinde çıktı verir. LP' de, yalnızca bir amaç fonksiyonu maksimize veya minimize edilebilir.

LP, ormancılık planlamalarında en çok kullanılan tekniktir ve ormancılıkta çok sayıda örneği bulunmaktadır. Field tarafından 1977' de ormancılıkta 23 farklı LP uygulaması olduğu belirtilmiştir. LP, esrarengiz bir karar verme cini olarak görülmekteyken; Field, LP ve diğer matematiksel programlama tekniklerinin “karar verici olmadığına” dikkatleri çekmiştir. Bu tekniklerin, karmaşık durumlarda insan davranışlarına ve kararlarına yardımcı olduğunu işaret etmiştir (Linehan, 1993).

OP düzeyinde potansiyel işlem birimleri (kesim bloğu, patch, üretim ünitesi, bölme, bölmecik) belirgin konumsal bir topolojik içerik ile tanımlıdır. Bu yüzden operasyonel düzeydeki planlamalar için tamsayı çözümler gereklidir.

Tüm değişkenlerin tamsayı olması gerektiği bir IP problemine “saf tamsayı programlama problemi”; tüm değişkenlerinin 0 ya da 1’ e eşit olmasının istendiği bir tamsayı programlama problemine “0-1 tamsayı programlama”; bazı değişkenlerin 0 ya da 1 değerini aldığı, geriye kalan değişkenlerin ise sürekli değişkenler olarak tanımlandığı modellere “0-1 karma tamsayı (doğrusal) programlama modelleri (MIP = Mixed Integer Programming)” denir (Bakır ve Altunkaynak, 2003).

Standart LP problemlerinin basit yapıda olması, bölünebilirliği ve kesirli değişken değer alabilmesi, yalnızca bir amaç ve tam kesinlik özelliklerinden dolayı odun üretim operasyonlarında iyi bir planlama aracıdır (Dykstra, 1976). Tamsayı programlamanın en büyük özelliği ise bölünemezliği dikkate almasıdır (Pulkki, 1984).

Ormancılık planlama modellerine konumsal ve çevresel değişkenlerin eklenmesiyle problem yapısı MIP’ e dönüşmüş ve buradaki ikili değişkenlerle birlikte optimal çözümün sağlanması için algoritmik (sezgisel veya tam çözümlü) yaklaşımların kullanıldığı belirtilmiştir (Jones vd., 1991; Weintraub vd., 1994b; Lokkatengen 1995; Guignard vd., 1998; Liden ve Rönnqvist, 2000; Flatberg vd., 2000; Weintraub vd. 2000b; McDill ve Braze, 2001; Gunnarson vd., 2001; Karlsson, 2002).

Öte yandan YA teknikleri ile GIS teknolojisi bilgisayra programları ile bir araya getirilerek odun hammaddesi üretim planlamasına yönelik modeller, bilgisayar destekli olarak uygulayıcılar tarafından kolayca kullanılabilmesi için karar destek sistemlerine dönüştürülmüştür (Acar ve Eker, 2001). Schuster vd. (1993); ormancılıkta üretim, transport ve diğer operasyonlara ilişkin LP, MIP, Network, vb. modelleme tekniklerinin kullanıldığını ve çeşitli karar destek sistemlerinin geliştirildiğini belirtmiştir. Robak (1994), 18 aylık planlama periyodunda içinde işletmenin bütçe sınırına göre, odun üretim ve yol yapım maliyetlerini belirleyen OP-PLAN adlı programı geliştirmiştir.

Weintraub (2003) şili ve Yeni Zelanda’ da halen ormancılıkta üretim operasyonları ile ilgili çok sayıda karar destek sisteminin kullanıldığından bahsetmektedir. Bunlardan; ASICAM, günlük kamyon seferlerinin çizelgelenmesi kararlarını destekleyen bir simülasyon sürecidir. OPTICORT, Kısa süreli üretim kararlarını destekler. Kolon tütretme (column generation) stratejisini kullanan LP tabanlı bir modeldir (Epstein et al., 1999). PLANEX; şili’ de odun üretim operasyonlarında kullanılan bu model, bir höristik algoritmaya bağlı olarak üretim makineleri ve ulaşım yollarının optimal tahsislendirmesini sağlar (Weintraub vd., 2000b).

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu bölümde, araştırmanın sınırlandırılması ve planlanması; araştırmada kullanılan materyal; araştırmanın yürütülmesinde izlenen yöntem ile modelleme konuları yer almaktadır.

2.1. Araştırmanın Sınırlandırılması ve Planlanması

Bu çalışma; kesme ve taşıma (bölmeden çıkarma ve uzak nakliyat) operasyonlarından oluşan odun üretimini konu edinir. Burada, odun üretim alanları hakkındaki topoğrafik, işletme, ekonomi ve sosyo-ekonomik bilgilerle odun üretim işlerinin insan ve çevre üzerindeki etkilerine ilişkin bilgiler göz önünde bulundurulmuş Ülkemiz için odun üretimi amaçlı “yıllık operasyonel planlama modelinin metodolojisi (yöntembilimi)” oluşturulmaya çalışılmıştır.

Operasyonel planlama modeli; odun üretim sürecinin iyileştirilmesi, maliyet hesaplama yöntemleri, çevresel zararların ölçülmesi ve fiyatlandırılması gibi konularda herhangi yeni bir yöntem geliştirmeksizin; bilinen iş akış sürecinde, standart çalışma şekillerinde, mevcut hesaplama yöntemleri ve çevresel-sosyal etkilerin niteliğine dayanılarak hazırlanacak bir planlama yaklaşımını içermektedir.

Ormanda ağaç türleri, yetiştirme ortamları, işletmecilik prensipleri, arazi koşulları, sosyo-ekonomik yapı, makine parkı, yöresel iklim koşulları vb. farklılıklar; her koşulu temsil eden bir operasyonel planın hazırlanmasını imkansızlaştırır. Bu yüzden, bu çalışmada bir operasyonel planlama modeli hazırlanarak, hangi aşamada hangi bilgi ve verilerin gerekli olduğunu ve uygulama kararlarının alınabilmesi için hangi sistem yapısı içinde değerlendirilmelerin gerektiğini anlatan, planlama yöntemi tanıtılmıştır.

Operasyonel kararların alınmasında karar destek mekanizması olarak optimizasyon tekniklerinden yararlanılmıştır. Operasyonel kararlar, matematiksel modelleme ile analiz edilmiştir. Odun üretim sistemlerinin analizi ve modellenmesinde, üretim sistemleri ile bunların farklı operasyon koşullarındaki başarısının test edilmesi amaçlanmamıştır. Varolan odun üretim sistemi kaynakları ile odun üretimine alternatif olarak yeni katılacak sistem kaynaklarının işletim maliyetleri yönüyle optimizasyonu amaçlanmıştır. Böylelikle,

varolan sistemin analiz edilip matematiksel olarak modellenmesi ve bu çerçevede operasyonel kararların nasıl optimize edileceği araştırılmıştır.

Tanımlanan üretim kararlarına yönelik mali (finansal) kararlar, kısa dönem içindir. Bu dönemdeki kararlar, toplam ortalama üretim maliyetlerinin azaltılabilmesi için üretim etkinliğine girdi olan kaynakların kullanımının rasyonalizasyonu üzerinedir.

Gerek üretim maliyetinin farklılığı gerekse satış geliri arasındaki farklılık iki tip üretim metodu (uzun boy tomruk ve normal boy tomruk metodu) alternatifini ifade etmektedir. Tüm maliyet hesaplamaları, "1 m³ odun hammaddesi"ne yöneliktir. Tel direk, maden direk, sanayi odunu, vb. mallar da üretilmesine rağmen, bunlar bağlı mal (Geray, 1978) olduklarından, tomruk üzerinden değerlendirmeler yapılmıştır.

Üretim alanlarına ulaşımın ölçüsü yani ulaşılabilirlik; teknik/fiziksel, ekonomik, çevresel ve zamansal olarak ele alınmıştır. Fiziksel ulaşılabilirlik yol altyapısı ile temsil edilmiştir. İşletmeye açma oranı, bölme bazında belirlenmiştir. Kullanılabilir alternatif üretim sistemleri de dikkate alınarak orman yolu yoğunluğunun yeterli olup olmadığına karar verilmiştir.

Bu çalışmada amaç fonksiyonu, operasyon maliyetlerinin minimizasyonuna dayanmaktadır. Aktüelde kullanılmakta olan üretim sistemleri ve bunlara ait maliyetler, hesaplama yoluyla ve gerçekleştirmelerden elde edilmiştir. Türkiye' de kullanılmayan üretim sistemlerine (harvester ve forwarder) ilişkin ise bazı kabullerde bulunulmuştur. Bizzat üretim etkinliklerine ait operasyonel maliyetleri hesaplamak mümkün iken, çevresel ve sosyal (kurumsal) değerleri hesaplamak zordur. Bu işlemler, çok kriterli analiz yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Planlama, odun hammaddesi üretim operasyonlarını kapsayan 1 yıl için tanzim edilmiştir. Yıl içinde üretim görece bölme, amenajman ve silvikültür planlarından belirlenmiştir. Planlama metodolojisinin açıklanması ve operasyonel karar modelinin test edilmesi için Kızılçam (*Pinus brutia Ten*) işletme sınıfındaki gençleştirme ve bakım kesimleri esas alınmıştır. Yıllık operasyonel planlama bazında, envantere bir değişiklik olmadığı ve yıl içinde sabit kaldığı esas alınmıştır. Büyüme ve hasılat değişimi, fiyat değişimleri, gelecekteki maliyetlerin ve gelirlerin iskontolanması maliyet hesaplarına dahil edilmemiştir. Ayrıca, üretim bölmelerinin komşu bölmeler üzerindeki etkileri (komşuluk kısıdı) dikkate alınmamıştır.

2.1.1. Araştırmanın Coğrafik, Teknik ve Zaman Açısından Sınırlandırılması

Operasyonel planlama metodolojisinde konu edinilen alanlar; bir orman işletme şefliği sınırları içinde, planlama yılında üretime açılacak bölmelerdir. Ancak, bazen bir bölme meşcere tiplerine göre farklı plan yılında üretime açılabilir. Bu durumda da bölme terimi kullanılmasına rağmen işlem alanı bölmeciktir. Topoğrafik analizlerin yapılması sırasında en küçük işlem birimi ise; bölme ya da bölmeciğin transport sınırlarına göre bölümlenmesi ile oluşan “kesim bloğu”, “üretim ünitesi” gibi adlarla anılan poligonlardır. Operasyonel plan yılı içinde kaç adet bölmede üretim yapılacaksa, uygulanacak silvikültürel müdahalenin tipine bakılmaksızın bu bölmelerin tümü, planın etkinlik alanı ve coğrafik sınırını oluşturmuştur. Üretim yapılmayacak bölmeler konu edinilmemiştir.

Odun üretiminin gerçekleşeceği bölmeler, üretim maliyetleri, üretim operasyonlarının zararları, kullanılan üretim metodu, üretim (kesme, bölmeden çıkarma, taşıma, yükleme) tekniği, depolar, vb. konular tez kapsamında ele alınırken, üretim öncesi damgalama işlemleri ile üretim sonrası gençleştirme için arazi hazırlığı vb. konulara değinilmemiştir.

Topoğrafik analizlerde, haritalar 1/25 000 ölçekli olarak temin edilmiş, Arcview programında ölçekler 1/5000 veya daha detaylara indirgenerek kullanılmıştır.

Yörede kullanılan araç ve yöntemler sınırlandırıcı faktör olmuş ve kullanılacak üretim sistemlerini teknik yönden etkilemiştir. Ancak, amacımız alternatifleri de değerlendirebilen bir planlama metodolojisi oluşturmak olduğundan, yörede kullanılmayan üretim sistemleri de ikinci bir senaryo olarak modele sokulmuştur.

Amaçlanan operasyonel planlama metodolojisi için, bir çalışma alanı belirlenmiş ve buradan 2001 yılındaki odun üretim operasyonlarının gerçekleşme sonuçları ve 2002 yılı üretim programı alınarak, planlama alanı için 2002 yılında uygulanabileceği düşünülen yıllık odun üretimi operasyonel planı hazırlanmaya çalışılmıştır. Ancak, planlamada kullanılacak bilgilerin değerlendirilip operasyonel kararların alınması ve bunun model yapısına dönüştürülmesi zaman alıcı olduğundan, planlama stratejisinin geliştirilmesi 2004 yılına kadar devam etmiştir. Bu çalışmanın amacı belirli bir yere ait, belirli bir yıl için bir operasyonel planı hazırlamak değildir. Bu nedenle, modelin test edilmesi amacıyla belirli bir orman işletmesinden bilgiler toplanmıştır. Bilgiler, 2001 yılının sonunda, 2002 yılı içinde üretim zamanlarında ve 2003 yılında kısmen üretim zamanlarında yürütülen çalışmalarla sağlanmıştır.

2.1.2. Araştırmanın Planlanması

Araştırma probleminin tanımı, içeriği ve çözüm yöntemleri üzerindeki çalışmaların ardından, araştırmayı sürdürmek için şu planlama adımları izlenmiştir;

- Araştırmanın kapsamı belirlenmiştir. Kapsam, odun hammaddesi üretim ve taşıma süreci ile bu süreçte yürütülen operasyonlar ve bunların teknik, ekonomik, çevresel ve sosyal boyutu üzerinden belirlenmiş amaç ve kısıtlayıcılar çerçevesinde bir planlama modeli geliştirmektir.
- Araştırmanın planlama projeksiyonu belirlenmiştir. Planlamanın hangi süreyi kapsadığına ve hangi konuları içermesi gerektiğine karar vermek için, hiyerarşik planlama yaklaşımı esas alınmıştır. Bu nedenle araştırma, bir yıl içinde gerçekleştirilen odun üretim operasyonları üzerinde odaklanmıştır.
- Araştırmanın, ne kadar alanı kapsayacağı belirlenmiştir. Operasyonel planlamanın her bir bölmedeki bilgilere dayandırılarak, yıl içinde üretime açılacak tüm bölmeleri kapsamasına karar verilmiştir,
- Araştırmada bir bilgi tabanı oluşturmak için, amenajman planı, silvikültür planı, topoğrafik harita, meşcere tipleri haritası, yol ağı planı haritası, jeoloji haritası vb. ile üretim programları, bölme dosyaları, bilançolar, depo kayıtlarına ait bilgilerin toplanmasına karar verilmiştir. Kullanılmakta olan yöresel teknolojilerin tespiti için de anket ve arazi gözlemleri yapılması planlanmıştır.
- Elde edilecek bilgilere ve literatürdeki benzer çalışmalara göre, operasyonel planlama yaklaşımının yöntembilimi oluşturulması hedeflenmiştir. Bu amaçla, haritalar üzerinden bazı teknik analizlerin, hesaplama yoluyla da bazı ekonomik analizlerin yapılması kararlaştırılmıştır. Alanın iklim ve jeolojik verilerinden hareketle üretim operasyonları ile çevresel zararlar arasında bir ilişki kurulmaya çalışılmıştır. Ancak, operasyonel planlamanın özünü operasyonel kararların alınması; operasyonel kararların özünü de üretim sistemi seçiminin oluşturduğu belirlenmiş ve bunun için alınacak kararları destekleyici sistemlere ihtiyaç duyulacağı belirginleştirilmiştir. Coğrafi Bilgi Sistemleri' nin, konuma bağlı verilerin elde edilmesinde, konumsal bilgilerin analizinde bir araç olarak kullanılmasına karar verilmiştir.
- Matematiksel modelleme ile; üretime açılacak bölmelerin sezon bazında üretim sıralamasının yapılması, her sezonda ne kadar ürün alınacağı, her bölmede hangi

üretim sisteminin etkili şekilde kullanılabileceği, ürünün hangi depoya taşınacağı, vb. kararların önce doğrusal programlama (LP) sonra da 0/1 karma tamsayılı programlama (MIP/ILP) ile çözülmesi ve uygulanabilirliğinin denetlenmesi düşünülmüştür.

- Sonuçta, yıllık odun üretimi operasyonlarının planlanması problemi için bir model oluşturulması benimsenmiştir. Operasyonel planlama modelinin planlayıcılar ve uygulayıcılar tarafından kullanılabilmesi için de kavramsal çerçevesi verilen bir planlama algoritması oluşturulmuştur.

2.1.3. Planlamada Test İçin Alan Seçimi

Operasyonel karar modelinde gerçek rakamların üretilmesi ve modelin test edilmesi amacıyla bir örnek alan gerekmiştir. Örnek alan olarak, Isparta Orman Bölge Müdürlüğü, Eğirdir Orman İşletme Müdürlüğü'ne bağlı Aşağıgökdere Orman İşletme Şefliği arazisi seçilmiştir. Alan seçiminde istatistiksel bir yöntem kullanılmamıştır. Ancak, yıllık periyodik üretimin yapıldığı, yıllık üretim miktarı yüksek olan ormanların bulunduğu, emek-yoğun çalışmanın yürütüldüğü ve halkla problemlerin olmadığı bir alan olmasına özen gösterilmiştir. Seçilen işletme, bölge orman işletmeciliği açısından en verimli ve yıllık etası en yüksek olan işletme ormanları arasında ilk sıralardadır.

2.2. Materyal

Bu çalışmanın materyalini; planlama probleminin yapısını oluşturan orman ve arazisi, işgücü, para ve zaman kaynakları ile bunlara ait bilgiler ve bu planlama probleminin çözümünde kullanılan donanım ve yazılım araçları oluşturur. Planlama modelinin, uygulamadaki mevcut probleme yakınlştırılması hedeflenmiştir. Bu nedenle, (Isparta/Eğirdir) Aşağıgökdere Orman İşletme Şefliği ormanlarında 2002 yılında üretime açılacak bölmeler ve bu bölmelere ait meşcere karakteristikleri, topoğrafik özellikler, üretim maliyetleri, vb. operasyonel planlama modelinin test edilmesi amacıyla kullanılacak çalışma materyali olarak benimsenmiştir. Tez metni içinde “çalışma alanı” terimi; operasyonel planlama modelinin “test alanı” veya “planlama alanı” olarak da anılmıştır.

Planlama alanında her bir bölmeye ait bilgilerin temini için 1996 yılında yenilenen Aşağıgökdere Orman İşletme Şefliği Orman Amenajman Planı ve bu alanlar için

düzenlenen Detay Silvikültür Planı kullanılmıştır. Amenajman planlarında yer alan tablo verileri ile meşcere tipleri haritasından yararlanılmıştır. İşletmeye açma oranı ve alanın ulaşılabilirlik değerinin tespiti için yeni yapılmış Yol Ağı Planı haritası kullanılmıştır. Öte yandan üretim kararlarının alınması ile ilgili olarak yönetsel sürecin haritalanabilmesi için, İşletme Şefliği'nden Genel Müdürlüğe doğru akan karar alma sürecinde, çeşitli idari makamlarla görüşmeler yapılmıştır. Buradan Yıllık bütçe gerçekleştirmeleri (bilanço) ve gelecek yılları izleyen üretim programları temin edilerek bu çalışmada materyal olarak kullanılmıştır. Ayrıca, planlama probleminin modellenmesinde kullanılacak işletme, kooperatif ve depolara ait bilgilerin toplanması ve yöresel teknolojinin ortaya konulması için yapılan anket (kayıt/söyleşi) formları ve toplanan bilgiler de materyal içinde yer almaktadır.

Planlama yılı içinde üretime açılacak bölmeleri kapsayan topoğrafik harita (1/25000 ölçekli Isparta M25-c1 ve c4 numaralı topoğrafik haritalar), meşcere tipleri haritası, 1/25000 ölçekli orman yol ağı planı haritası, toprak ve zemin hakkında bilgiler için 1/100 000 ölçekli Isparta – J11 pafta numaralı jeoloji haritasından yararlanılmıştır.

Sayısallaştırma işlemi için bilgisayar ortamında harita koordinatlarının atanmasında Raster to Vector (R2V) programından; Sayısal haritaların oluşturulabilmesi için ArcView 3.2 ve ArcInfo 8.1. programından yararlanılmıştır. Bu programların kullanılabilmesi için. KTÜ Coğrafi Bilgi Sistemleri Laboratuvarı (GISLAB) kullanılmıştır. Sayısal haritalar üzerinden görsel analizlerin yapılabilmesi (arazinin konkav yada konveksliği; transport yönü, rampa yeri alternatifleri) için SURFER 8.0 programından yararlanılmıştır.

Matematiksel modelin çözülmesi için LINGO 6.1. (extended version) kullanılmış ve LINGO 8.0 (eğitim versiyonu) adlı programdan da yararlanılmıştır. Tez süresince analiz, modelleme, çözümlenme ve yazma işlemlerinde Pentium - IV 1.6 GHz (256 MB RAM) özelliğine sahip masaüstü bilgisayardan yararlanılmıştır.

2.2.1. Planlama Alanının Tanıtımı

2.2.1.1. Planlama Alanının Orman Varlığı

Aşağıgökdere Orman İşletme Şefliği, Isparta İli, Eğirdir İlçesi sınırları içinde yer almakta olup, Isparta Orman Bölge Müdürlüğü'ne bağlıdır. Bu İşletme Şefliği Kızılcım,

Karaçam ve Muhafaza işletme sınıflarından kuruludur. İşletmeye ait ormanlık alan özellikleri aşağıda verilmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Aşağıgökdere Orman İşletme Şefliği ormanlık alan varlığı

İşletme Sınıfı	Verimli Orman Alanı (ha)	Verimsiz Orman Alanı (ha)	Ormanlık Alan (ha)	Ormansız Alan (ha)	Genel Alan (ha)
Kızılcım	7976,5	3236,5	11213	1248,5	12461,5
Karaçam	751	1680	2431	364,5	2795,5
Muhafaza	916,5	171	1087,5	7,5	1095
TOPLAM	9644	5087,5	14731,5	1620,5	16352

2.2.1.2. Planlama Alanının Coğrafik, Jeolojik ve İklim Özellikleri

Çalışma alanının jeolojik yapısını tanımlayan bilgiler, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından hazırlanan 1/100 000 ölçekli ve 14 numaraları pafta ve ekinde verilen bilgilerden (Şenel, 1997) elde edilmiştir. Buna göre, planlama alanında ana kaya neritik kireçtaşlarından oluşmaktadır.

Planlama alanı, Akdeniz Bölgesi'nde yer almakta olup toprak tipi bakımından "Kırmızı Akdeniz Toprakları" niteliğindedir. Bu topraklar kireç taşları ile kireçli ve bazlarca zengin anakaya ve ana materyalden oluşmaktadır. Kızılcım ağaç türünün bulunduğu alanlarda Terra Rosa toprak tipi hakimdir. Karstik arazi özelliğinden dolayı, yüzeyde genellikle sığ ve taşlı topraklar oluşmaktadır (Kantarıcı, 2000). Silvikültür planında, alanının orta taşlı kumlu balçık toprak özelliğinde olduğu belirtilmektedir.

Planlama alanına ait jeolojik bilgiler; üretim bölmelerine ulaşılabilirliğin tahmin edilmesinde ve üretim sistemlerinin toprakta oluşturacağı muhtemel zararların yorumlanmasında karar desteği sağlayıcı materyal olarak kullanılmıştır.

Eğirdir' de 920 m yükseklikte mevcut meteoroloji istasyonundan alınan 1985-1995 yılları meteorolojik rasat değerleri tablosuna göre yörenin en sıcak ayları Temmuz-Ağustos aylarıdır. Yıllık ortalama yağış miktarı 595 mm' dir. Aşağıgökdere' de yıllık ortalama yağış miktarı 800-850 mm civarındadır. Yıllık ortalama nisbi nem % 66' dır. Hakim iklim, Akdeniz iklimidir. Meteorolojik veriler; aylara göre bölmelere ulaşılabilirliği, periyotlara göre aylık çalışılabilir gün sayısını ve üretim sistemlerinin seçiminde mevsimin etkisini değerlendirmede kullanılmıştır.

2.2.1.3. Piyasa ve Tüketim Merkezleri

Çalışma alanı sınırları içinde üretilen odun ürünleri; önce Yukarıgökdere ve Aşağıgökdere orman depolarına getirilmektedir. Aşağıgökdere deposu (1 no'lu depo) yıllık 10000 m³; diğeri ise (2 no'lu depo) yıllık en az 8000 m³ (anlık) depolama kapasitesine sahiptir. Her bir periyotta kesilen ürünler aynı yada ardışık periyotta satılarak piyasanın talepleri karşılanmaktadır. Planlama alanında, tomruk metoduna göre üretim yapıldığı, tomrukların; 2,5; 3; 3,5; 4; 5 ve 6 m boylarda ve tomruk ile birlikte çeşitli vasıflarda ürünün de üretildiği belirlenmiştir. Ancak, 5 ve 6 m' lik tomruklamanın nadiren yapıldığı buna karşın, piyasanın bu boylardaki ürünleri daha çok talep ettiği ve satış gelirlerinin yüksek olduğu kayıtlardan anlaşılmıştır.

Bu depo kayıtlarından alınan bilgilere göre odun satışları Isparta, Antalya, Karaman, Burdur, Ankara, Zonguldak, Konya, Afyon, Mersin, Muğla gibi yerlerden gelen tüccarlar tarafından satın alınmaktadır. Alan ormanlarının iki ana yolu vardır. Aşağıgökdere deposu üzerinden merkez Isparta-Antalya Devlet Karayolu ile bağlantılı ve Yukarıgökdere üzerinden de Eğirdir ve Isparta ile bağlantıyı sağlayan yollardır. Ormanlık alanların ağırlık merkezine göre Isparta İl merkezine uzaklığı ortalama 50 km, Antalya il merkezine uzaklığı ortalama 100 km' dir. Eğirdir' e uzaklığı ise ortalama 30 km' dir.

Piyasa ve tüketim merkezi bilgileri; talep tahminleri ve periyodik üretim miktarının belirlenmesinde, materyal olarak kullanılmıştır.

2.2.1.4. İşgücü Potansiyeli

Bu ormanlık alan sınırları içindeki orman köy halkının başlıca geçim kaynağı ziraat ve hayvancılıktır. Son yıllarda orman işletmesi tarafından yol yapımı, kesim, sürütme, taşıma gibi işlerde çalıştırılmaktadırlar. Halk, tüm ormancılık faaliyetlerinde çalışabilmekte ve zati ihtiyaç alma, yakacak odun alma, adaçayı toplama vb. gibi imkanlardan yararlanmaktadır. Orman Amenajman Planı'na göre yörede, ormancılık faaliyetlerini karşılayacak potansiyelde işgücü miktarının her zaman var olduğu belirtilmektedir.

Yörede, Aşağıgökdere ve Çukur Köyü Tarımsal Kalkınma Kooperatifi adıyla iki orman köy kooperatifinin odun üretim işlerini yürüttüğü tespit edilmiştir (Tablo 2).

Planlama alanında, üretim operasyonlarını yürüten Aşağıgökdere ve Çukur Köyü (orman köyü) tarımsal kalkınma kooperatiflerinin toplam 430 üyesi bulunmaktadır. Bir

kısmı çalışmazken, geri kalanlar aile işçiliği şeklinde üretim işlerine kısmi zamanlı olarak katılmaktadır. Bir bölmenin üretiminde bir anda 4 yada 5 kişiden oluşmuş 25 ekibin çalışabildiği gözlenmiştir. Özellikle sonbaharda yapılan odun üretim işlerinde işgücü sıkıntısının yaşanmadığı, üretimin belirlenen zamanlardan önce dahi bitirildiği belirtilmektedir.

Tablo 2. Planlama alanı sınırları içinde yer alan kooperatiflere ait bilgiler

Planlama alanında DKGH: 1 691 392 m ³ - Ortalama Yıllık Eta: 27 088 m ³		
Toplam Yol Uzunluğu: 271+6 km		
İşletmenin Makine Kapasitesi: 1 Adet MB Trac 800 Orman Traktörü		
	Aşağıgökdere Köyü Tarımsal Kalkınma Kooperatifi	Çukur Köyü Tarımsal Kalkınma Kooperatifi
Üretim yapılan ağaç türü	Kızılçam, meşe	Kızılçam, karaçam
Üye sayısı	130	300
Yapılan ormancılık işleri	Kesme, sürütme, taşıma, istif	Kesme, sürütme, taşıma, istif, ekim/dikim, çapalama, aralama
Kesmede kullanılan araçlar	Motorlu testere, balta (nacak), tahra, kama	Motorlu testere, balta (nacak), tahra, kama
Motorlu testere sayısı	120	90
Kesim ekibinde çalışan sayısı	2	2
Budama ve tomruklamada kullanılan araçlar	Motorlu testere, ölçü demiri (1m), kısmen nacak ve tahra	Motorlu testere, ölçü demiri (1m), kısmen nacak ve tahra
Kullanılan üretim metodu	Tomruk (2, 3, 4, 5 m'lik)	Tomruk (3, 4 m'lik)
Kabuk soymada kullanılan araçlar	Balta (nacak) (motorlu testere kullanılabiliyor)	Balta (nacak) (motorlu testere kullanılabiliyor)
Kabuk soymada çalışan sayısı	2-5 kişi (Ailenin büyüklüğüne bağlı)	3-6 kişi (Ailenin büyüklüğüne bağlı)
Sürütmede kullanılan araçlar	Sürütücü, tarım traktörü, hayvan gücü (katır), insan gücü	Hayvan gücü, insan gücü
Sürütmede kullanılan yöntemler	Elle (kaydırma...) sürütme: % 60 Tarım traktörüyle sürütme: % 10 Hayvanla zeminde sürütme: % 10 Orm.traktörüyle kablo çekim:%20	Elle (kaydırma...) sürütme: % 70 Hayvanla zeminde sürütme: % 30
Sürütmede kullanılan hayvan gücü sayısı	26 adet (katır ve at)	60 adet (katır ve at)
Yüklemede kullanılan araçlar	İnsan gücü (elle) (%50) Yükleyici (tarım traktörüne monteli) (%50)	İnsan gücü (elle) (%50) Yükleyici (tarım traktörüne monteli) (%50)
Taşımada kullanılan araçlar	Kamyon (3 akslı) (%80) Traktör treyler (römork) (%20)	Kamyon (3 akslı)
Taşımada kullanılan araçların sayısı	25 adet kamyon 25 adet tarım traktörü	40 adet kamyon

Yörede kullanılan üretim sistemi araçları; motorlu testere ve ekipmanları (zincirli testere ve kabuk soyma aparatı), balta (nacak), tahra, ölçme demiri, sapın, kama vb. basit ve ara teknolojiye ait alet ve ekipmanlar ile insan gücü hayvan gücü ve tarım traktörüdür.

Orman köy kooperatifleri kiralama yoluyla orman traktörlerini, çeneli yükleyicileri ve orman hava hatlarını temin edebilirler. Ayrıca OBM tarafından satın alınıp kiraya verildiği varsayılan harvester, forwarder ve oluk sistemlerini de kullanabilir.

Kooperatifler, ekonomik kazanç sağlayabilmek için kullanımı basit ve temini kolay olan üretim teknik ve yöntemlerini tercih etmektedir. Bu yönüyle, odun üretim işlerinde basit ve ara teknoloji bir arada kullanılmaktadır. Üretim etkinliklerinde kısmi oranlarda kendi iyeliklerindeki tarım traktörlerini ve DOI' den kiralanın orman traktörlerini kullanabilmektedirler. Taşıma işlerinde ise ara teknoloji kullanılmakta olup özellikle yükleme işleri için insan gücü yanında yükleyici de tercih edilebilmektedir.

2.2.2. Orman Amenajman Planı

Aşağıgökdere Orman İşletme Şefliği'nde ormanlık alanların işletme sınıflarına göre dağılımı; A-İşletme Sınıfı Kızılçam; B-İşletme Sınıfı Karaçam, C-İşletme Sınıfı ise muhafaza karakteri taşıyan alanlar olarak belirlenmiştir (Tablo 3). İşletme şefliğindeki mevcut ağaç türleri; Kızılçam, Karaçam, Ardıç ve Meşe' dir.

Tablo 3. Ormanlık alanın işletme sınıfları ve verimlilik durumuna göre dağılımı

MEŞCERE TİPİ	İŞLETME SINIFLARI			TOPLAM (ha)
	A	B	C	
Verimli Koru	8082	580,5	1087,5	9750
Bozuk Koru	1656,5	428,5	1187	3272
Bozuk Baltalık	734,5	291	389	1414,5
ORMANLIK ALAN	10473	1300	2663,5	14 436,5
Ormansız Alanlar (OT-F-Z-Is)	799	250,5	269,5	1319
TOPLAM ALAN	11272	1550,5	2933	15 755,5

Amenajman planından elde edilen bilgilere göre; kızılçam işletme sınıfının idare süresi 60 yıl; periyot uzunluğu 10 yıl; İşletme sınıfı gerçek alanı 8082 ha; periyot sayısı 6; ortalama boniteti II (orta); normal periyodik alan 1347 ha; bakım kesimi dönüş müddeti 10 yıl olarak belirlenmiştir.

Ağaç türlerine göre, 1997-2006 yılları arasındaki son hasılat kesim planında; genel alanda kızılçam işletme sınıfı için genel servet 258 134 m³ dür (Karaçam 1181 m³), artım ise 5352 m³ dür.

Aşağıgökdere Orman İşletme Şefliği Orman Amenajman Planı' na göre bu alanda Kızılçam işletme sınıfı için yıllık son hasılat etası toplamı 28 489 m³; periyodik son hasılat etası; 286 190 m³ dür. Toplam ara hasılat etası ise 67 160 m³ dür.. Kızılçam işletme sınıfı için yıllık ortalama eta (son hasılat (28 489) ve ara hasılat toplamı (6655)) 35 144 m³' dür. Karaçam ve meşe ağaç türlerinden oluşan ara ve son hasılatlara göre yıllık toplam ortalama eta ise 36 721 m³ dür. Etanın büyük çoğunluğu kızılçam ağaç türüne aittir. Bu nedenle tez çalışmasında test alanı için yalnızca kızılçam işletme sınıfı dikkate alınmıştır.

2.2.3. Silvikültür Planı

Aşağıgökdere Orman İşletme Şefliği Detay A- Kızılçam İşletme Sınıfı (1997-2006) Silvikültür Planı, verilerine göre:

Test alanında doğal gençleştirme yapılmaktadır. Doğal yolla gençleştirilecek Kızılçam alanlarında uygulanacak gençleştirme yöntemi, büyük alan siper, büyük alan tıraşlama ve etek şeridi tıraşlama yöntemidir. Bakım kesimleri ise; gençlik bakımı, ayıklama, aralama olarak sıralanmıştır. Kızılçam işletme sınıfında bakım bloklarına 5 yılda bir girilmesi kararlaştırılmıştır. Bu planlara göre kesim yılı olan 2002' de kızılçam işletme sınıfından 438 ha alanda 6874 m³ yıllık ara hasılat alınması planlanmıştır.

Kızılçamın doğal gençleştirilmesinde, faydalanılabilir tohum kaynaklarının en önemlisi, o yıl olgunlaşmış ve ağırlıklı olarak Mayıs ayı sonundan itibaren tohumları dökülmeye başlamış kozalaklardır. Kızılçam meşcerelerinde tohumun azamisinin toprağa dökülmesinden sonra gençleştirme kesimlerine girilmesi ve çimlenme başlamadan önce sahadan çıkılması başarılı olmanın en büyük koşuludur. Bu, sezonsal açıdan silvikültürün teknik sınırlandırıcı olmasını işaret etmektedir. O halde, hangi bölmeye hangi sezonda girilmesi gerektiği konusunda bir ulaşılabilirlik sınıflandırması yapılırsa, yol ve ulaşım altyapısının varlığı ve mevsimin yolda ulaşımına izin vermesi yanında silvikültürel açıdan da hangi mevsimin uygun olduğu da kullanılabilir bir diğer kriterdir.

Kızılçam ağaç türünde tohumun azamisinin Haziran – Kasım ayları arasında döküldüğü; gençleştirme kesimlerine Kasım ayında ya da en erken Ekim ayında girilmesi gerektiği ve çimlenmenin görüldüğü tarihten 2-3 hafta önce alandan bütün işlemlerin bitirilerek çıkılması gerektiği; ki bu tarihin bu yörede Şubat ayının son haftası olduğu belirtilmektedir. Arazi hazırlığı çalışmaları da düşünülerek, kesim ve bölmeden çıkarma

çalışmaları için Ocak ayı sonunda ve Şubat ayı başında bölme içindeki işlemlerin bitirilmesi gerekmektedir.

2.2.4. Orman Yol Ağı Planı

Aşağıgökdere Orman İşletme Şefliği'ne ait orman yol durumuna ait bilgilerin elde edilmesinde, 2001 yılında hazırlanmış olan "Genel Yol Şebeke Planı"ndan yararlanılmıştır.

Yol ağı planına göre; işletmenin orman yolu uzunluğu 360+800 km; köy yolu uzunluğu 25+700 km ve kara yolu uzunluğu 17+100 km olmak üzere toplam 403+500 km'dir. Orman yolunun 355+600 km'si, karayolu ve köy yolunun 33+800 km'si orman içinden geçmektedir. Yol ağı planına göre yol yoğunluğunun 26,97 m/ha olduğu belirtilmiştir.

Aşağıgökdere Orman İşletme Şefliği'nde, Aşağıgökdere ve Yukarıgökdere orman depoları yer almaktadır. Tel direk niteliğindeki ve Çukur Köyü mülki sınırlarından üretilen ürünlerin tümü Yukarıgökdere deposuna taşınmaktadır. Diğer emval, Aşağıgökdere deposuna taşınmaktadır.

Orman yollarında ortalama eğim % 8-10 arasındadır. Dere içleri, yol kavşak noktaları ve arazinin dikte ettirdiği yerlerde kısa mesafeli %11 - 12 eğimlere rastlanmıştır. Ters eğimlerde ise % 6'dan yüksek eğimlere rastlanmamıştır. Yol inşaatları sırasında kavşaklarda doğal olarak laseler oluşmakta ancak, kamyon trafiğini engelleyecek özellik göstermemektedir.

2.3. Yöntem

Yöntem bölümü; Operasyonel Planlama Süreci ve Aşamaları, Odun Üretim Maliyetlerinin Hesaplanması Yöntemi, Odun Hammaddesi Üretiminde Sistem Seçimi – Çevresel ve Kurumsal Maliyetlerin Hesaplanması ve de Operasyonel Karar Modelinin Oluşturulması olarak alt bölümlere ayrılmıştır.

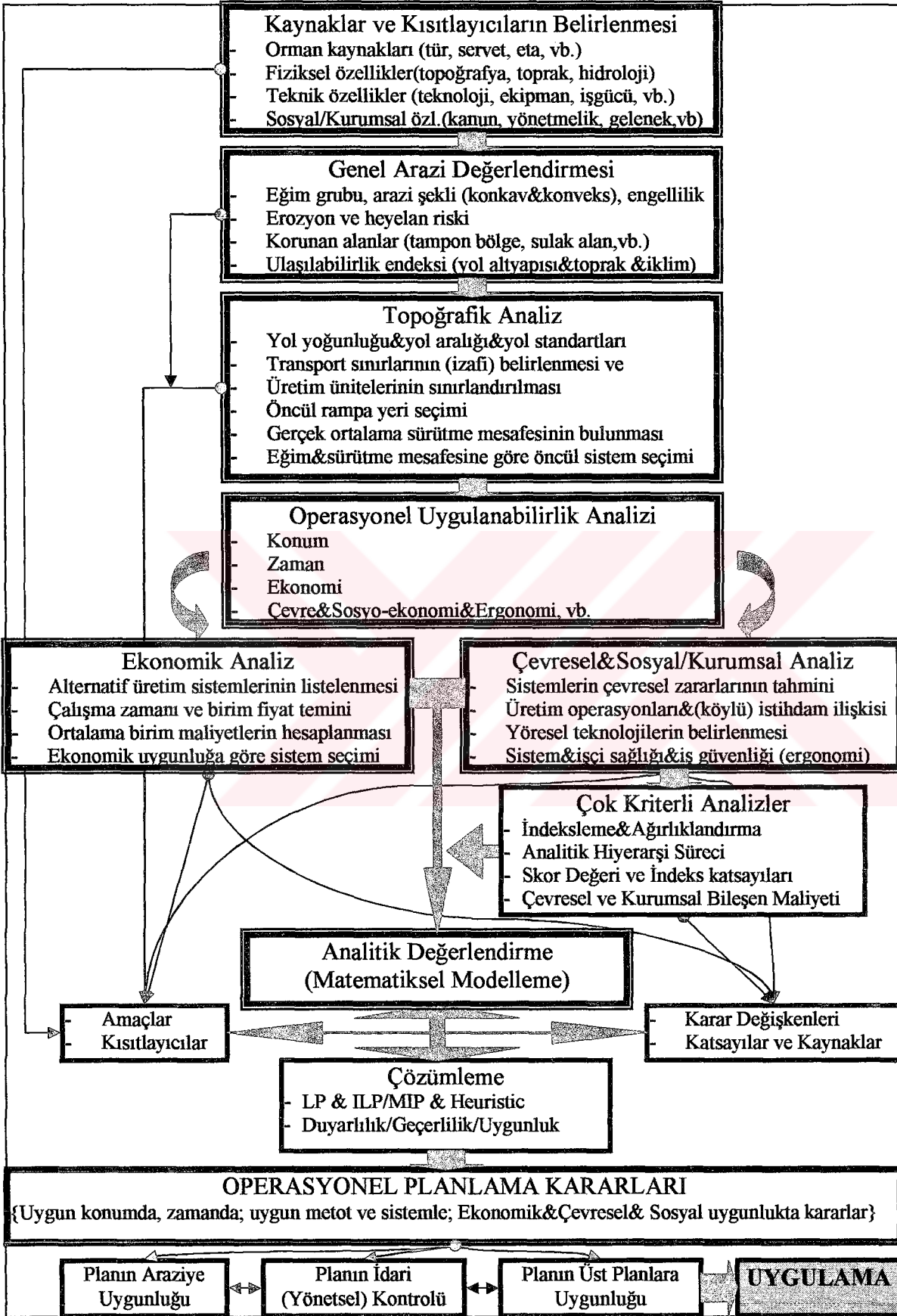
2.3.1. Operasyonel Planlama Süreci ve Aşamaları

Operasyonel planlama süreci ve aşamaları, planlamanın yöntemini yani planlama kuralları dizinini içerir. Planlamanın, fiziksel/teknik ve yönetsel süreci bu kapsamda ele alınmıştır. Burada, “model plan” kapsamında, planlama unsurlarının nasıl bir araya getirileceği ve planın nasıl ortaya çıkarılacağı konu edilmiştir.

Operasyonel planlamada, genel planlama (Kapucu 2003), üretim planlaması (Acar, 2001), transport planlaması (Bayoğlu, 1996 ve Acar, 1994) ve hiyerarşik planlama (Weintraub vd., 1991 ve Gunn, 1991) yaklaşımlarından yararlanılmıştır

Çalışmanın amacı çerçevesinde, OP modelinin oluşturulmasında Şekil 3’ de verilmiş olan aşağıdaki adımlar izlenmiştir:

1. Planlama amacı, kaynaklar ve kısıtlar; planlama problemi ve sistem analizi kapsamında tanımlanmıştır.
2. Planlama yılında son ve ara hasılat alınacak bölmeler tespit edilmiştir
3. Amenajman ve silvikültür planlarından öznelik bilgiler; topoğrafik, meşcere tipleri ve yol ağı planı haritalarından da grafik bilgiler alınarak (CBS’ de) veri tabanı oluşturulmuştur.
4. Odun üretiminin temel sistemi ile planlamaya konu alanda kullanılan teknoloji düzeyi gözlem, anket ve söyleşilerle tespit edilmiştir.
5. Sayısal haritalar yardımıyla, topoğrafik - teknik/fiziksel analizler yapılmıştır. Odun üretim bölmelerinin, yol ağı altyapısı ve işletmeye açma oranı belirlenmiştir. Arazi eğimleri belirlenerek, eğim gruplarına göre arazi sınıflandırması ve arazi sınıflarına uygun alternatif üretim sistemleri kararlaştırılmıştır. Sürütme mesafeleri ve muhtemel rampa yerleri belirlenmiştir.



Şekil 3. Operasyonel planlama yönteminde iş akışı

6. Kesme, bölmeden çıkarma ve taşıma süreçlerinde birim miktarda odun hammaddesi üretimi için gerekli operasyon maliyetleri hesaplanmıştır.
7. Üretim sistemlerinin her birisi için çok kriterli analizlerle çevresel ve kurumsal etki değerleri katsayılar şeklinde belirlenmiş ve her bir sistemin operasyon maliyetlerine eklenerek, alternatif sistemler arasından uygun sistemin seçiminde, maliyetlere göre karşılaştırmaların yapılabileceği bir zemin elde edilmiştir.
8. Operasyonel kararların alınması aşamasında, karar sürecine destek olabilmesi amacıyla OP problemi matematiksel modelleme ile formüllemiştir. Zaman (periyot), yer (bölme), üretim metodu (tomruk), rota (orman yolu) ve depo bakımından somut kararlar alınması araştırılmıştır.
9. Operasyonel karar problemini temsil eden matematiksel model, doğrusal ve tamsayı programlama teknikleri yardımıyla çözümlenmiştir.
10. Çözüm yorumlanarak operasyon plan taslağı elde edilmiştir.

Özet olarak sırasıyla, veri tabanı ve bilgi sistemi oluşturulmuş; konumsal, topoğrafik ve teknik analiz, maliyet analizi ve çok kriterli (çevresel ve sosyo-ekonomik) analiz yapılmış; matematiksel model oluşturulmuş ve çözülmüştür. Her bir analiz veya iş akışı alt bileşenlere ayrılarak incelenebilmiştir. Veri tabanı ve bilgi sisteminin oluşturulmasında, CBS; maliyetlerin hesaplanmasında MS Excel programı; çevresel ve kurumsal maliyetlerin belirlenmesinde AHP; doğrusal ve tamsayı matematiksel modellerin çözümünde LINDO (Extended version) programı kullanılmıştır.

2.3.1.1. Planlama Probleminin Kapsamı

Odun hammaddesi üretimi (hasat ve taşıma) güç doğa koşullarının etkisi altında insan, hayvan ve makine gücü kullanımıyla gerçekleştirilmektedir. Zor şartlarda gerçekleşen üretim operasyonları, odun hammaddesinin elde edim maliyetini arttırmaktadır. Özellikle dağlık ve dik yamaçlı arazide odun üretimi sırasında basit teknolojilerin kullanılmasından dolayı; üründe kalite ve miktar kaybı; dikili ağaçlar ve fidanlar ile orman toprağında çeşitli zararlar oluşmaktadır. Operasyon maliyetlerini en aza indirebilmek için bir takım iyileştirmelere ve bu kapsamda da ekonomik olduğu kadar ekolojik, sosyo-ekonomik ve ergonomik açıdan da uygun olan ve sistemi kavrayan bir planlama çerçevesinde gerek duyulmaktadır.

Bu şekliyle planlama problemi; “odun hammaddesinin orman arazisi şartlarına rağmen dikili buldukları alanda; kesimi, bölmeden çıkarılması ve taşınması operasyonlarının en az maliyetle, kalite ve miktar kaybı olmaksızın, çevreye zarar vermeden ve orman köylülerinin ve üretim işlerinden gelir sağlayanların beklentilerini tatmin ederek nasıl gerçekleştirilebileceği ve aktüel yapıdaki olumsuzluk ve eksikliklerin de belirlenerek bunların nasıl iyileştirilebileceği” şeklinde tanımlanmıştır.

Problem yapısının somutlaştırılmasında “sistem (holistik) yaklaşımı” izlenmiştir. Bu bağlamda, bir metreküp tomruğun kalite ve değer kaybı olmadan en az maliyetle nasıl elde edilebileceği, üretici açısından doğrudan; tüketici açısından ise dolaylı olarak araştırılmıştır.

Operasyonel planlamaya konu alan; Orman İşletme Şefliği bazında tanımlanmıştır. OP’ nin konumsal boyutu belirlenerek hangi coğrafik yada idari sınır içinde gerçekleştirileceğine karar verilmiştir. Bu karar verme sürecinde; veri elde edilebilirliği, verilerin değerlendirilebilirliği, matematiksel modelin oluşturulabilirliği ve en önemlisi operasyonel kararların destekleneceği bir çözümün elde edilebilirliği dikkate alınmıştır.

Bu çalışmada, operasyonel planlama modeli, işletme sınıfı düzeyinde kurulmuştur. Materyal bölümünde aktarılan alanın coğrafik, topoğrafik ve iklim özelliklerine ait genel bilgilerle; meşcere bilgileri orman amenajman planından, detay silvikültür planından, orman yol ağı planından ve jeoloji haritalarından elde edilmiştir.

2.3.1.2. Planlamaya Konu Sistemin Analizi

Operasyonel planlamada konu edinilen sistem; teknik, ekonomik, sosyal ve yönetsel/organizasyonel bileşenlerin bütününden oluşan, odun hammaddesi üretim sistemidir. Odun üretim sisteminin teknik bileşeni; ağacın dikili bulunduğu noktada, kesilip devrilmesinden başlayarak depoya getirilinceye kadar uğradığı operasyonları ve iş akışını içeren süreçtir. Odun üretimine ilişkin sürecin gösterimi için iş akış şemaları oluşturulmuştur.

Odun üretim sürecinin operasyonel planlama yaklaşımı ile modellenebilmesi için yıllık üretim kararlarının nasıl alındığının, üretim programlarının nasıl hazırlandığının ve bütçenin, işletmelere ve üretim operasyonlarına nasıl dağıtıldığının da analizi yapılmıştır. Bu kısım, yönetsel sürecin analizi olarak adlandırılmıştır.

Odun üretim sisteminin ekonomik analizi de bu süreç analizi içinde ele alınmıştır. Özellikle, odun üretim sistemini temsil eden maliyet bileşenleri bu aşamada belirlenmiştir. Orman İşletme Müdürlüğü'nün muhasebe kayıtlarından bilanço kayıtları, üretim programları, bir önceki yılın gerçekleştirmeleri, bölme üretim dosyaları, birim fiyat kararları, gider cetvelleri, vb. ilgili dokümantasyon ile VIII. Beş Yıllık Kalkınma Planı ve son 3 yıllık OGM Döner Sermaye Bütçesi Yatırım Programları incelenerek odun üretim sisteminin maliyetlerini temsil eden faktörler (karar değişkenleri) belirlenmiştir.

2.3.1.3. Veri Tabanının Oluşturulması

Operasyonel planlamada kullanılan bilgiler, hiyerarşik planlama yaklaşımına göre bir üst planlama aşaması olan taktiksel düzeyli planlardan elde edilmiştir. Ülkemizde, taktiksel plan adıyla bir planlama yaklaşımı bulunmamasına rağmen kapsam, zamansal ve alansal içerik bakımından amenajman, silvikültür ve yol ağı planları harmanlanarak bir arada, bu planların yerine konulabilmiştir. Elde edilen bilgiler, özellikle operasyonel kararların alınmasında, destek sağlayacak olan modellerin formülasyonunda kullanılmıştır.

Veri tabanı oluşturulmasında CBS kullanılmıştır. Grafik veri olarak tanımlanan; konumsal ve coğrafik veriler topoğrafik haritalardan, meşcere tipleri ve orman yol ağı haritasından temin edilmiştir. Öznitelik veriler ise; literatürden, orman idareleri kayıtlarından, yönetmeliklerden, tebliğlerden, istatistiklerden, yıl sonu gerçekleştirme raporlarından, arazide yapılan gözlemlerden, anket/görüşme kayıtlarından elde edilmiştir.

2.3.1.4. Haritaların Sayısallaştırılması ve Kullanılması

Operasyon Planlama yönteminin test edileceği çalışma alanı seçildikten sonra, bu alana ait topoğrafik harita, amenajman planı meşcere tipleri haritası, orman yol ağı planı haritası 1/ 25 000 ölçekli paftalar halinde temin edilmiştir. OP yılında işlem görecekleme ve bakım bölmelerinin coğrafik yerleri haritalarda işaretlenerek, sayısallaştırılacak pafta numaraları ve kısımları belirlenmiştir. "Raster to Vector" (R2V) adlı programla, bilgisayar ortamında koordinat noktaları tanıtılmış ve Arcview 3.2. formatında depolanmıştır. ArcGIS (Arc Info 8.3.) programı kullanılarak gerekli düzeltmelerle topoloji kurulmuştur. Aynı şekilde, meşcere tipleri, yollar ve dereler için de

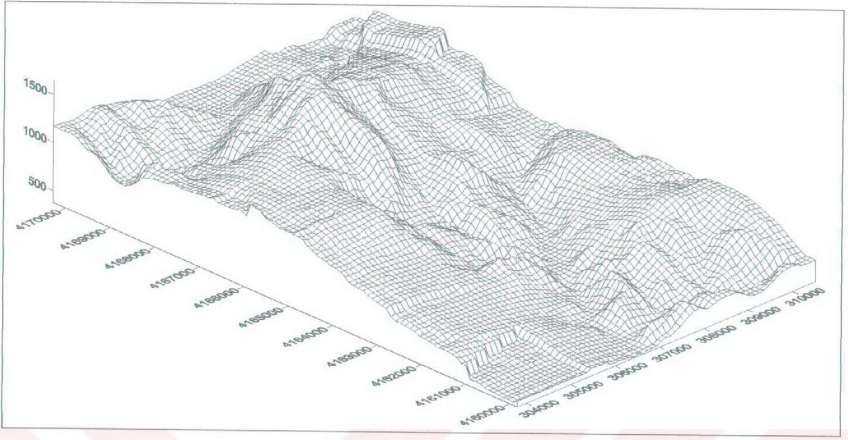
aynı yöntem izlenerek konumsal bilgi sistemi altlıkları oluşturulmuştur. Arcview 3.2 programında öznelik bilgiler de eklenmiştir. Arazi eğimleri, bakı, yamaç uzunlukları gibi bilgilere ulaşabilmek için ArcGIS Toolbox modülünde ilgili komutlar kullanılarak TIN katmanı elde edilmiştir.

Eşyükselti eğrileri, meşcere tipleri ve yol katmanları hazır hale getirildikten sonra, birbirleriyle ilişkilendirilmiş ve analizler yapılmıştır. Öncelikle, meşcere tipleri haritası içinde OP yılında işlem görecekt bölmeler, bu katmandan alınmıştır. Bölmeler içinde de, yalnızca operasyon görecekt alanlar için bir katman oluşturulmuştur. Bu katmanda; bölme numarası, meşcere tipi, alan, eğim, eta gibi bilgiler depolanmıştır.

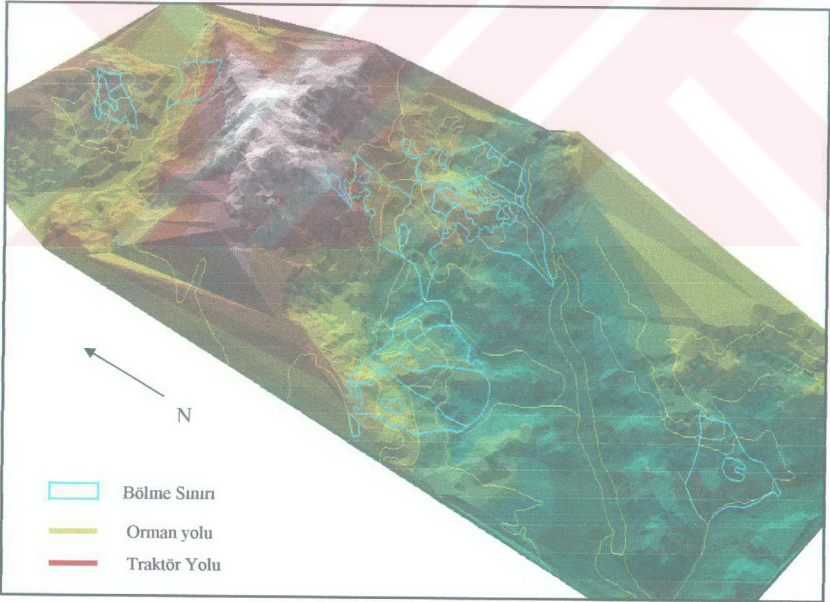
Yol ağı planının bulunduğu haritalardan, OP yılında işlem görecekt bölmelerle depoları birbirine bağlayan tüm rotaların yer aldığı kısmı alınarak ayrı bir katman oluşturulmuştur. Yollar; kod numaraları, uzunlukları ve standartları ile temsil edilmiştir. Standartlar; yolun asfalt, stabilize ve ham yol oluşuna göre belirlenmiş ve bu bilgiler orijinal durumdaki yol ağı planından elde edilmiştir. Böylece, fiziki bir üretim planı yapılmasına yönelik bilgiler bilgisayar ortamında depolanmış ve Coğrafi Bilgi Sistemi altyapısı kurulmuştur.

Bölmeler katmanı ve eşyükselti katmanı kullanılarak sürütme mesafeleri hesaplanmıştır. Sürütme mesafelerinin hesaplanabilmesi için; öncelikle transport sınırlarının belirlenmesi gerekmiştir. Transport sınırlarının belirlenmesinde, eşyükselti katmanı ile üretim bölmelerini gösteren meşcere tipleri haritası kullanılmıştır. Sınırların belirlenmesinde, dere ve sırt gibi doğal belirteçlerle yol ve rampa gibi yapay belirteçlerden yararlanılmıştır. Transport sınırları, Arcview yazılımında poligon katmanı olarak tanıtarak, halihazır bölmeler ve bölmecikler; üretim bloğu, kesim bloğu, üretim ünitesi, üretim poligonu gibi adlarla anılabilecek alanlara bölünmüştür. Bunların belirlenmesinde, bölme, bölmecik sınırı ve transport sınırları belirleyici olmuştur.

Konumsal karar destek sistemi olarak kullanılan Acview yazılımı ve Surfer programıyla planlama alanına ait bazı görüntüler aşağıda verilmiştir (Şekil 4a, 4b ve Şekil 5).



Şekil 4a. Sayısal Arazi Modeli (Surfer Programı ile elde edilen)



Şekil 4b. Sayısal Arazi Modeli (Arcview ile elde edilen)



Şekil 5. Planlama alanının genel görünümü

2.3.1.5. Üretim Sistemleri Tasarımı

Operasyonel planlamanın fiziksel planlardan ve tecrübelerle dayalı sağduyu kuralları ile yapılan planlardan farkı; alternatif üretim sistemleri arasından amaçlara ve kısıtlayıcılara göre en iyisini seçebilmektedir. Bu çalışmada “üretim sistemi (kombinasyonu)” dikili ağaç dibinden depolara kadar olan üretim sürecinde kullanılan yöntemlerin bileşke kümesini ifade eder.

Planlama alanının yer aldığı yörede, kesme operasyonları için motorlu testere; budama ve tomruklama için motorlu testere ve kabuk soyma için balta (nacak) ile Ülkemizdeki literatürde daha önce rastlanmayan motorlu testereye monteli kabuk soyma ekipmanının kullanıldığı belirlenmiştir. Arazide yapılan gözlemlere göre; elle kabuk soymaya nazaran en az 3 kat daha yüksek verimle çalışan bu ekipmanla, kabuk soymada geçen zaman önemli derecede azaltılabilmektedir.

Bölmeden çıkarmada, insan gücü ve hayvan gücünden yararlanılmakta, kısmen tarım traktörleri kullanılmakta ve zaruri durumlarda orman traktörleri kiralanmaktadır. Öte yandan komşu OBM’ lerden OP alanına orman hava hattı sistemlerinin getirilebilmesi imkanı bulunmaktadır. Deneme ve imalat aşaması tamamlanan oluk sistemlerinin de (Acar ve Eroğlu, 2004) kullanılabilmesi imkan dahilindedir. Harvester ve forwarder gibi ileri teknoloji araçları ülkemizde henüz kullanılmamaktadır. Ancak, OBM’ nin bu araçlara sahip olduğu ve kiralama yoluyla üretim operasyonlarında çalıştırıldığı kabul edilmiştir.

Yükleme ise insan gücü ile veya traktöre monteli çeneli yükleyici ile gerçekleştirilmektedir. Taşıma işleri için kamyonlardan yada kısa mesafelerde, kısa boy emvalin taşınması için traktör treylerden yararlanılmaktadır.

Üretim sistemleri (kombinasyonları); kesme, budama/tomruklama, kabuk soyma ve bölmeden çıkarma işlerinde kullanılacak yöntemlerin çaprazlanması sonucu elde edilmiştir. Bu amaçla, iş evrelerine, kullanılan araç ve yöntemlere göre bir üretim sistemleri matrisi oluşturulmuştur (Tablo 4). Matris’ de ilk kısımda, kesim süreci içindeki iş evrelerine ilişkin dahili kombinasyonlar, ikinci kısımda ise bölmeden çıkarma teknikleri sıralanıp ilk kısım ile çaprazlama yapılarak alternatif üretim sistemleri elde edilmiştir. Teknik uygulanabilirlik, yöresel elde edilebilirlik, kullanılabilirlik ve teknoloji düzeyi kriterleri üretim sistemlerinin kombine edilmesinde dikkate alınmıştır.

Tablo 4. Kesme sürecinde kullanılabilir alternatif teknikler

Teknik Adı*	Kesme	Budama ve Tomruklama	Kabuk Soyma
Motormanuel	Motorlu testere	Motorlu testere	Balta (Nacak)
Motormotor	Motorlu testere	Motorlu testere	Motorlu testere
Harvester	Harvester	Harvester	Harvester

* Sistem kombinasyonlarının kolayca adlandırılabilmesi amacıyla türetilmiştir

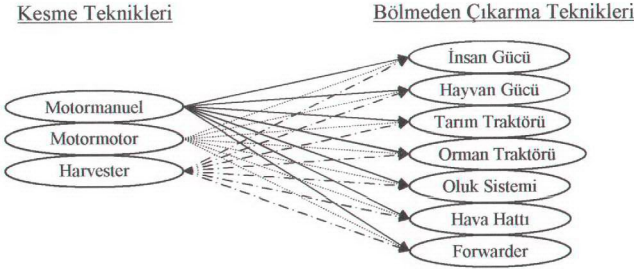
Kesme operasyonunda kullanılan tekniklerin, kendi aralarında kombinasyonu sonucu oluşan bileşke vektör; “kesme teknikleri vektörü” olarak adlandırılmıştır. Bölmeden çıkarma teknikleri de uygulanabilirlik kriterlerine göre sıralanarak (Tablo 5); fonksiyonuna ve teknik adlarına göre “bölmeden çıkarma teknikleri vektörü” oluşturulmuştur.

Tablo 5. Bölmeden çıkarma sürecinde kullanılabilir alternatif teknikler

Teknik Adı	Bölmeden Çıkarma Tekniğinin İçeriği
İnsan Gücü	Yerçekimi yardımıyla kaydırma, sapınle sürütme, atma, yuvarlama
Hayvan Gücü	Koşum takımıyla tomruğun yerde sürütülmesi, kısmen kablo çekim
Tarımlık Traktörü	Yolda sürütme, kablolu çekim, kısmen zeminde sürütme
Orman Traktörü	Yolda sürütme, kablolu çekim, kısmen zeminde sürütme
Oluk Sistemi	Polietilen veya fiberglass oluk yardımıyla kaydırma,
Hava hattı	Kısa ve orta mesafede (askıda) taşıma
Forwarder	Yolda taşıma, kısmen zeminde taşıma

OP modelinde operasyonel kararların alınmasında alternatif olabilecek üretim sistemleri kombinasyonunun elde edilmesi için kesme ve bölmeden çıkarma teknikleri vektörleri birleştirilerek “üretim sistemi seçenekleri matrisi”, diğer bir ifadeyle “üretim sistemi kombinasyonları ağı” elde edilmiştir (Şekil 6).

Birinci vektörde 3 eleman, ikinci vektörde ise 7 eleman olması; matematiksel olarak 21 kombinasyon üretmesine rağmen uygulanabilirlik kriterlerine göre 10 adet üretim sistemi kombinasyonunun, matematiksel modellemede kullanılmasına karar verilmiştir. Diğer kombinasyonların tercih edilmemesinde; teknik uygulanabilirlik, teknolojik uyum ve matematiksel modelin matris boyutunun artırılmaması gereği, etkili olmuştur. Üretim sistemleri, numaralar ile kodlanmıştır (Tablo 6). Matematiksel modelde, üretim sistemi dizini (index) bu numaralara göre sıralanmıştır.



Şekil 6. Kesme ve Bölmeden Çıkarma Tekniklerinin Muhtemel Kombinasyonları

Tablo 6. Üretim sistemi kombinasyonuna göre alternatif üretim sistemleri

Üretim Sistemi No	Üretim Sistemi (Kombinasyonu)		
	Kesme	+	Bölmeden Çıkarma
1	Motormanuel	+	İnsan Gücü
2	Motormanuel	+	Hayvan Gücü
3	Motormanuel	+	Oluk Sistemi
4	Motormanuel	+	Tarım Traktörü
5	Motormotor	+	İnsan Gücü
6	Motormotor	+	Hayvan Gücü
7	Motormotor	+	Orman Traktörü
8	Motormotor	+	Hava Hattı
9	Harvester	+	Hava Hattı
10	Harvester	+	Forwarder

2.3.1.6. Arazi Sınıflandırması

OP modelinde teknik/fiziksel ulaşılabirliğin analizi ve üretim sisteminin (yöntem) seçiminde kullanılmak amacıyla OP yılı içinde üretim yapılacak bölmelerin arazisi, eğim gruplarına göre sınıflandırılmıştır.

Arazi sınıflandırmasına yönelik farklı yaklaşımlar bulunmasına rağmen odun üretim operasyonlarının planlanmasında; eğim değerleri SAM'dan yüzdelik değer biçiminde alınarak FAO (1977), Sundberg ve Silversides (1987), FERIC (1989), Acar (1994) ve Bayoğlu (1996) tarafından belirtilen eğim sınırlarına göre, "fonksiyonel arazi sınıflandırması" (Samset, 1979b) oluşturulmuştur (Tablo 7). Üretim sistemi seçiminde kullanılmak üzere, arazi eğim değerlerinin gruplandırılmasında ise FAO (1977), Erdaş (1988), Acar (1994), Dykstra ve Heinrich (1996), Garland (1997), Rummer (1999) tarafından geliştirilen eğim grupları yöntemlerinden yararlanılmıştır. Arazi eğim değerleri

yüzdeler birimde, ArcInfo programında TIN katmanı oluşturularak elde edilmiş ve ardından Arcview programında gruplandırma yapılmıştır (Tablo 8).

Tablo 7. Arazi sınıfları ve eğim grupları (Samset, 1979b).

Eğim Değeri (%)	Arazi Sınıfı
0 – 10	Düz Arazi
11 – 20	Hafif Eğimli Arazi
21 – 33	Orta Eğimli Arazi
34 – 50	Dik Arazi
... < 50	Çok Dik Arazi

Tablo 8. Üretim sistemlerine göre fonksiyonel arazi sınıflandırması (Acar, 1994).

Eğim Değeri (%)	Eğim Grubu	Uygulanabilir Üretim Sistemleri
0 – 33	1	Tarım traktörü ile sürütme ve hayvan gücü ile taşıma arazisi
34 – 50	2	Traktörlerle kablo çekimi arazisi
... < 50	3	Hava hattı ile kablo çekimi veya insan gücü ile kaydırma arazisi

Operasyonel planlama modelinde, üretim sistemlerinin seçimi ve üretim bölmelerine ulaşılabilirliğin değerlendirilmesi, fonksiyonel arazi sınıflandırmasına göre yapılmıştır. Arcview programı kullanılarak, sayısallaştırılmış bölme haritalarında doğal yada yapay sınırlara göre “transport sınırları” oluşturulmuştur. Transport sınırlarının çevrelediği her poligon, alan, eta ve meşcere tipi yönünden katman halinde depolanmıştır. Her poligon için TIN modülü oluşturulmuş ve yüzdeler eğim değerleri elde edilmiştir. Her bir poligonun yüzdeler eğim değeri ve alanı kullanılarak ağırlıklı ortalamaya göre bölme eğimi, aşağıdaki 1 nolu formül ile hesaplanmıştır.

Bölmenin ortalama eğim hesabı;

$$E_{ort} = \frac{\sum E_{pol} * AI_{pol}}{AI_{bol}} \quad (1)$$

E_{ort} = Bölmenin Ortalama Eğimi (%)

E_{pol} = Poligonun Eğimi (%)

AI_{pol} = Poligonun Alanı (ha)

AI_{bol} = Bölmenin Toplam Alanı (OP yılında işlem göreceği kısım) (ha)

Bölmenin arazi sınıf değerine göre hangi üretim sistemlerinin uygulanabileceğine karar verilmiştir. Bu işlem teknik/fiziksel uygulanabilirlik karar verme süreci olarak

adlandırılmıştır. Bölmeler için teknik bakımdan uygun olmayacak üretim sistemi kombinasyonları bu aşamada elenmiş ve matematiksel modellemede çözüm süreci azaltılabilin diye, teknik (topoğrafik) olarak uygulanabilir olmayan sistemler, matrislere sokulmamıştır.

2.3.1.7. Sürütme Mesafelerinin Belirlenmesi

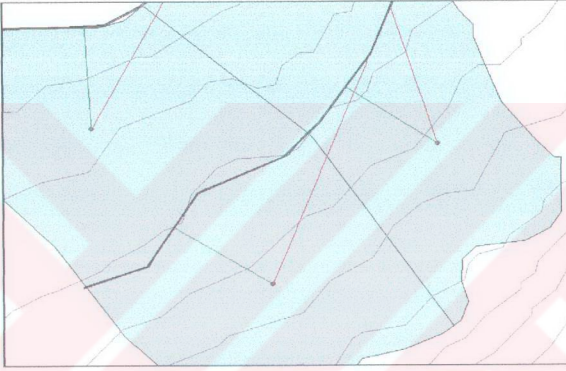
Sürütme mesafesi; odun hammaddesinin bulunduğu yerden en yakın yola veya başkaca transport tesisine kadar taşındığı uzaklık olup genellikle “ortalama sürütme mesafesi” olarak ifade edilir. Sürütme mesafesi, transport sınırlarının belirlenmesiyle ilişkilidir. Transport sınırı ise; üzerinden çeşitli yollara taşıma yapılan alanları birbirinden ayıran sınır olup düz alanlarda iki yol arasından geçtiği kabul edilmesine rağmen dağlık arazide ise arazinin yapısına bağlıdır (Erdaş, 1997).

Ormancılıkta sürütme mesafesi; teorik ortalama sürütme mesafesi (SMo), en kısa ortalama sürütme mesafesi (SMm) ve gerçek ortalama sürütme mesafesi (SMg) olarak 3 çeşittir. SMg; uygulamadaki bir işletmeye açma modelinde işletmeye açma alanı içine dağılmış sonsuz sayıda noktalardan yola kadar sürütme sırasında sürütmenin gerçek olarak yapıldığı uzaklıkların aritmetik ortalamasıdır. Uygulamada sürütme mesafesi arazi şartlarına, silvikültür tekniğine ve bölmeden çıkarma tekniğine bağlıdır ve $SMg > SMm > SMO$ ilişkisi söz konusudur. SMm ile SMO ve SMg ile SMm arasındaki fark veya sapmalar için düzeltme faktörü uygulanır. Düzeltme faktörleri, orman yollarının arazideki yerleşim düzenini düzeltmek ve orman ürününün arazi ve meşcere yapısından dolayı orman yoluna en kısa mesafeden sürütülememesinden kaynaklanan sapmayı düzeltmek için kullanılır. Gerçek sürütme mesafesinin en yakın yola olan en kısa uzaklıktan yaptığı sapma, sürütme mesafesi düzeltme faktörü (kS) ile temsil edilir. Yol ağı ve sürütme mesafesi düzeltme faktörleri yerine toplam düzeltme faktörü (kT) kullanılabilir. Dietz vd.; kT değerlerinin homojen işletmeye açılmış alanlarda 1,75; homojen olmayan işletmeye açma alanlarında ise yaklaşık 2,30 olduğunu belirtmiştir (Erdaş, 1997). Sundberg ve Silversides (1988), sapma ve kıvrımlılık faktörlerinin; yolların iyi ve normal derecede dağıldığı, normal ve dik arazide 1,25 – 1,50 olarak alınabileceğini belirtmiştir. Bayoğlu (1972), arazi katsayısı ve kıvrılma katsayısından bahsederek, bu değerlerin 1’ den büyük olacağını belirtmiştir.

OP metodolojisinde, sürütme mesafelerinin belirlenmesi için CBS yazılımları yardımıyla, harita üzerinden bir çok analizler yapılarak “Gerçek Ortalama Sürütme

Mesafesi (SMg)" hesaplanmıştır. SMg' lerin hesaplanmasında aşağıdaki adımlar izlenmiştir:

1. Sayısallaştırılmış haritalar üzerinde (Arcview yazılımında), bölme ve bölmecik sınırları, mevcut yol ağı, dereler ve sırtlar dikkate alınarak transport sınırları (üretim üniteleri) belirlenmiştir.
2. Arcview ara yüzleri ile (ESRI, 2003), her bir poligonun ağırlıklı ortalama merkezi bulunmuştur (Şekil 7).



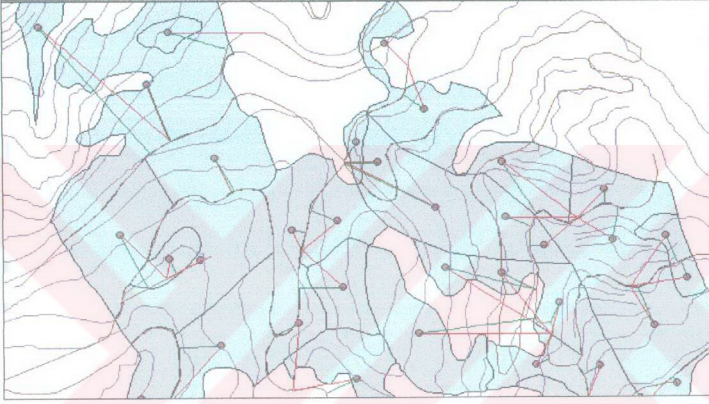
Şekil 7. Poligon orta noktaları ve en kısa yol bağlantıları (67 Nolu bölmede)

3. Her bir bölmeciğin sürütme mesafesi bulunurken, OP yılında işletmeye açılacak bölme ve bölmecikler katmanı, her bir bölmeciğin gerçek ağırlıklı ortalama merkezi (centroid) katmanı, eşyükselti katmanı ve yol katmanı bir görüntüde birleştirilmiş ve rampa yerlerinin belirlenmesine karar verilmiştir.

Üretim operasyonları sırasında, maliyetlerin en az % 30' unun bölmeden çıkarma operasyonları sırasında ortaya çıkması, sürütme mesafelerini önemli kılmaktadır. Rampa yerlerinin seçiminde teorik olarak kullanılan formüllere bakılmaksızın; transport sınırı, yol ve bölme sınırına göre rampa yerleri seçilmiştir. Bu seçimde, yolun ağırlıklı ortalama merkeze en yakın olan noktası belirlenmiştir. Ancak, dağlık arazide sürütme yönünün tek taraflı alınması durumunda tüm üretim ünitesi, tek rampa yerine taşınacaktır. Nitekim transport sınırı açısından da bu mümkündür. Yol ile ağırlık merkezi arasındaki mesafe

gerçek sürütme mesafesinin bulunmasında yardımcı olacak mesafedir. Arazinin eğimi ve düzeltme faktörü de bu mesafe ile işleme sokulduğunda gerçeğe yakın sürütme mesafesi bulunmuştur. Bu işlem tüm üretim üniteleri için uygulanmıştır. İki veya daha fazla rampa yeri seçilen ünitelerde her bir rampa yeri için sürütme mesafesi belirlenmiştir.

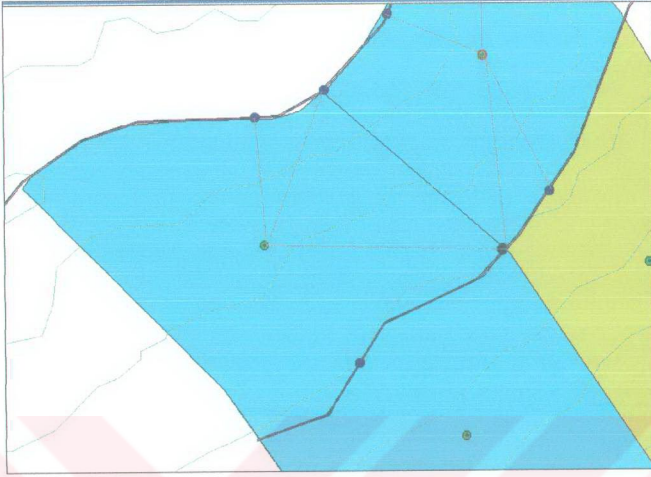
4. Rampa yerlerinin seçilebilmesi için "Nearest Features" adlı Arcview. ara yüzü kullanılmıştır (Şekil 8).



Şekil 8. Poligon merkezleri ve yol arasında en kısa (sürütme) mesafe

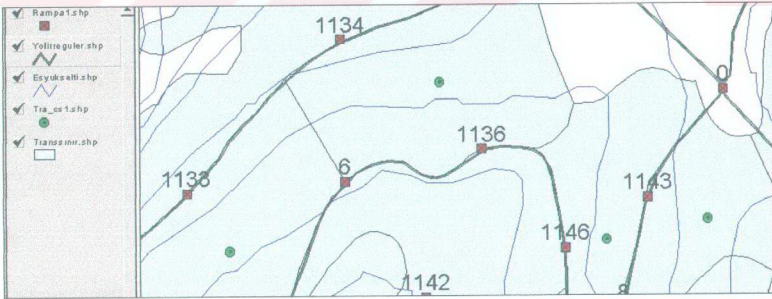
5. Bu aşamadan sonra, rampa yerleri işaretlenmiştir (Şekil 9).

Rampa yerlerinin seçiminde; yol, poligon merkezleri ve eşyüksekti haritası birlikte yeniden analiz edilmiştir. Bu halde, hem en kısa sürütme mesafesine, hem eşyüksekti eğrilere göre eğim yönüne ve hem de yol aralığına göre bir değerlendirme yapılmıştır. Daha sonra poligon ve bölme bazında bazı rampa yerleri elemine edilmiştir. Çünkü rampa sayısının artması, sürütme mesafesini düşürebilir ancak, hem rampa inşaatı maliyeti hem de çevresel açıdan zararların şiddeti artabilir. Muhtemel rampa yerlerinin belirlenmesi ve kararlaştırılması sürecinde, sürütme yönü ve mesafesinin de yeniden analizi gerekmiştir. Mevcut yada alternatif üretim teknolojilerine göre kullanılacak bölmeden çıkarma sistemi ve transport yönünün de etkisi göz önüne alınmıştır.



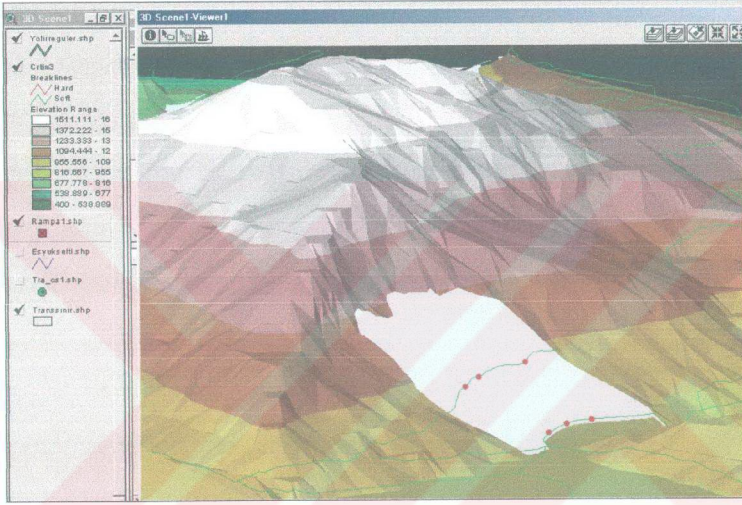
Şekil 9. Muhtemel rampa yerlerinin belirlenmesi (67 Nolu bölme)

Yerçekimi etkisiyle elle kaydırma ve yuvarlama; traktörlerle ve hayvanla zeminde sürütme; hava hattı ile bölmeden çıkarma ve traktörlerle kablo çekimi şeklindeki bölmeden çıkarma senaryoları için yeni rampa yerleri atanmıştır (Şekil 10). Poligon orta noktasından, muhtemel rampa yerleri yönünde mesafeler ölçülmüştür.



Şekil 10. Bölmelere ait poligonlar için aday rampa yeri

6. Bölmeden çıkarma tekniği ve buna göre sürütme yönü ve rampa yerlerinin kararlaştırılmasında, “3-boyutlu (3D)” Arcview görüntüleri de bir karar destek mekanizması olarak kullanılmıştır (Şekil 11). Çünkü üretim sistemlerinin uygulanabilirliği; arazi eğimine, arazinin şekline ve engebelilik derecesine göre kararlaştırılmaktadır (FAO 1977; LIRA, 1987 ve FERIC, 1989).



Şekil 11. Muhtemel rampa yerlerinin 3-boyutlu arazi modelinde analizi (67 nolu bölme)

Bölmeden çıkarma tekniklerinin her biri için her poligon başına birden fazla rampa yeri atanabilmektedir. Rampa yerlerinin sayısının çokluğuna ilaveten gerçek sürütme mesafesinin bulunması da zorlaşmıştır. Bu amaçla, öncül rampa yerleri, bölmeden çıkarma sistemlerine göre yeniden düzenlenmiştir. Yeni rampa yerleri, kullanılacak bölmeden çıkarma tekniğine ve komşu poligonlara da göre birleştirilmiştir. Böylece alternatif rampa yeri sayısı azaltılmıştır. Ancak bu süreçte, sürütme mesafesinin artmamasına dikkat edilmiştir.

7. Öncül rampa yerlerinin birleştirilip sayılarının azaltılmasından sonra, muhtemel rampa yerlerinin topoğrafik harita üzerindeki konumları yeniden denetlenmiştir

Poligon merkezleri ve rampalar itibarıyla belirlenen sürütme mesafelerinin ölçüsü, harita üzerinden yatay ölçü değeri olarak alınmıştır. Oysa, uygulamada sürütme mesafesinin belirlenmesinde eğik mesafe ölçüleri dikkate alınır. Bu yüzden, harita üzerinden eğik mesafenin bulunabilmesi için; CBS veritabanından alan, hacim, sürütme mesafesi, arazi eğimi, poligon no gibi bilgiler alınarak MS Excel programına aktarılmış ve her bir poligonun yüzdelik arazi eğim değeri, derece değerine dönüştürülmüştür. Trigonometrik çevrimler yapılarak, poligon merkezi ile rampa yeri arasındaki eğik mesafe “hipotenüs” olarak hesaplanmıştır. Böylelikle, arazi üzerindeki doğrusal sürütme mesafesi bulunmuştur. Ancak, orman ürünün bu hat boyunca taşınması mümkün olmadığından sapma ve dolambaçlılık faktörü bir arada kullanılarak birleştirilmiş düzeltme faktörü (k) elde edilmiş ve eğik mesafe ile çarpılmıştır. (Tablo 9).

Tablo 9. Bölmeden çıkarma tekniğine göre düzeltme faktörleri

Silvikültürel İşlem	Bölmeden Çıkarma Tekniği		
	Zeminde sürütme	Hava hattı	Oluk Sistemi
Gençleştirme	1,4	1,2	1,2
Bakım	1,5	2,5	1,3

Gençleştirme bölmelerinde, bölmenin tamamında tıraşlama kesimi yapıldığından sürütme yapılabilecek düz hatlar bulma olanağı fazladır ve belirlenen rampa yerleri ile poligon merkezleri arasındaki sapma oranının küçük olduğu kabul edilmiştir. Öte yandan, bakım bölmelerinde hava hattı sistemlerinin uygulanması durumunda, rampa ile bölme içi yükleme noktaları arasındaki sapma oranının yüksek olacağı; oluk sisteminde ise yine bakım bölmelerinde alanda dikili ağaçların bulunmasından dolayı düzeltme faktörünün gençleştirme bölmelerinden daha fazla olacağı düşünülmüştür.

Buraya kadar olan işlemlerde her bir poligonun harita üzerinden (geometrik) sürütme mesafesi bulunmuştur. Arazi özellikleri, bölmeden çıkarma tekniği ve silvikültürel işleme göre uygulanacak düzeltme faktörleri belirlenmiştir. Aşağıdaki 2 nolu bağıntı kullanılarak, her bir poligon için gerçek sürütme mesafesi bulunmuştur:

$$SMg_{pol} = SM_{pol} * k \quad (2)$$

SMg_{pol} : Her bir poligonun gerçek sürütme mesafesi (m)

SM_{pol} : Harita üzerinden ölçülerek bulunan (geometrik) sürütme mesafesi (m)

k : Düzeltme faktörü

Sürütme mesafeleri, her bir bölmenin bölmeden çıkarma maliyetlerini hesaplamada kullanılan temel eleman olduğundan ve OP modelinde maliyetlerin bölme bazında hesaplanmasından dolayı, her bir poligonun sürütme mesafesi ve ve sürütülecek ürün miktarından hareketle ait olduğu bölmenin “gerçek ortalama sürütme mesafesi (SMg)”, aşağıdaki 3 nolu bağıntı ile bulunmuştur.

$$SMg_b = \sum^n (SMgpol_b * ETA pol_b) / ETA_b \quad (3)$$

- SMg_b : Her bir “b” bölümünün gerçek ortalama sürütme mesafesi (m)
 $SMgpol_b$: “b” bölümündeki her bir poligonun gerçek sürütme mesafesi (m)
 n : Her bir bölmedeki poligon sayısı
 $ETA pol_b$: “b” bölümünde, her bir poligondaki ürün miktarı hacmi (m³)
 ETA_b : “b” bölümündeki ürün miktarı hacmi (m³)

2.3.1.8. Odun Üretim Alanlarına Ulaşılabilirlik Analizi

Ulaşılabilirlik, orman bölmelerine ve bölmeler içine erişilebilirliği ifade etmekte olup yol yoğunluğu ve işletmeye açma oranının bir fonksiyonudur. Orman yolları, ulaşılabilirlik derecesinin göstergesi olarak kullanılmıştır. Her bölmede yol yoğunluğu bulunmuştur. Orman yol yoğunluklarının bulunmasında “itibari yol yoğunluğu” (Erdaş, 1997) kavramına uygun olarak yalnızca üretim yapılacak bölme veya bölmeciklerde hesaplama yapılmıştır ve aşağıdaki bağıntı kullanılmıştır;

$$YY_{itibari} = \text{Bölme İçi ve Kenarı Yol Uzunluğu (m)} / \text{Bölme Alanı (ha)} \quad (4)$$

İşletmeye açma oranının belirlenmesinde Arcview yazılımı yardımıyla yolun her iki yönüne, ideal işletmeye açmada yol yoğunluğunun 20 m/ha olmasından dolayı 250 m ve 500 m tampon bölge oluşturularak işletmeye açılan alanlar hesaplanmıştır.

2.3.2. Odun Üretim Maliyetlerinin Hesaplanması Yöntemi

Birim maliyet, birim miktarda odunun üretilmesi için tüketilen (standart) zaman ile bu zamanda kullanılan araç, gereç, malzeme ile insan, makine ve hayvan gücüne karşılık ödenen bedelin fonksiyonu olarak kabul edilmiştir. Maliyet birimi; periyot farklılıklarının

sistem maliyetlerine yansıtılması, literatürle karşılaştırma yapılabilmesi ve matematiksel model denklemine katsayıların kısaltılması açısından “\$/m³” olarak kullanılmıştır.

OGM’ nün her 3 ayda bir, birim fiyat (vahidi fiyat) cetvellerini güncelleştirmesi ve bir önceki döneme göre çalışma birim maliyetlerini ortalama % 13 oranında arttırması yıl içinde fiyat değişimlerine neden olmaktadır. Bu nedenle maliyetlere ilişkin standart bir altlık elde etmek için 2002 yılı için para birimi “\$” olarak kabul edilmiştir. Buna göre, merkez bankası kayıtları dikkate alınarak 1\$ = 1 450 000 TL olarak alınmıştır (URL-1, 2003).

Operasyonel planlama modelinde, değişken maliyetler kullanılmıştır (Miyata ve Steinhilb, 1981; FAO, 1992). Değişken maliyetler; odun üretim etkinliği sırasında kullanılan ve tüketilen maliyetler olup aynı zamanda sabit maliyetlerin operasyon dönemi başına yansıyan maliyetini de içermektedir. Özellikle çevresel ve kurumsal değişkenlerin maliyetlerinin operasyon maliyeti içine dahil edilmesi için aşağıdaki bağıntı kullanılmıştır.

$$\text{Operasyon maliyeti} = \text{Değişken maliyet} + (\text{Sabit maliyet} / \text{Üretim miktarı}) \quad (5)$$

Birim miktar (1 m³) odun üretimi başına düşen toplam ortalama üretim maliyetini oluşturan bileşenler; bütçe kayıtları (OGM, 2004), bilanço kayıtları (OÖİKR, 2001; Konukçu, 2001), tebliğler (OGM, 1996), işletme kayıtları (Anonim, 2002) ve literatürden (Geray, 1978; Acar, 1994; Türker, 2000) yararlanılarak toplam maliyetlerden geriye doğru gidilmek suretiyle tespit edilmiştir. Üretim maliyetinin hesaplanmasında aşağıdaki bağıntı kullanılmıştır.

$$\text{Üretim Maliyeti} = f(\text{kesme} + \text{bölmeden çıkarma} + \text{taşuma (yükleme} + \text{boşaltma) maliyeti}) \quad (6)$$

Bu çalışmada maliyetler, operasyonel karar verme sürecinde sistem seçimi sırasında karşılaştırma kriteri olarak kullanılmıştır. Aynı zamanda, matematiksel modellemede de amaç fonksiyonunun katsayıları “maliyet” değeri ile temsil edilmiştir.

Ancak, her bir üretim sisteminin çevresel ve sosyal bileşeninin miktarsal etkisini, operasyonel karar verme sürecinde açıkça görebilmek için çevresel ve kurumsal maliyetler hesaplanmış ve işletim maliyetlerine eklenmiştir. İlaveten, periyotların üretim maliyetleri üzerindeki etkisi de yine bir katsayı ile işletim maliyetlerine eklenmiştir. Bu yüzden, başlangıçta hesap edilen operasyon maliyetleri, bu haliyle toplam fayda değerine karşılık gelebilecek “toplam bedel” değerine dönüşmüştür.

2.3.2.1.Odun Üretiminde Kesme Maliyetlerinin Hesaplanması

Dikili durumdaki ağaçların kesilip devrilmesi, dal tepe ve uçlarının alınması, ölçülüp tomruklanması ve kabuklarının soyulması için harcanan giderler, kesme maliyeti olarak adlandırılmıştır. Budama ve tomruklama ile kabuk soyma işlemleri de kesme işlemi içine alınarak kesme maliyeti; 1 m^3 odunun elde edilmesi için kesme sürecinde harcanan standart zaman ile bu zamanda kullanılan 1 operatör, 1 yardımcı işçi ve motorlu testereye ait makine gücü giderinin, budama ve tomruklamada insan ve makine işgücü giderinin, kabuk soymada ise insan (4 işçi) ve makine işgücü giderinin fonksiyonu olarak elde edilmiştir.

Motorlu testere ve insan gücüyle çalışma (standart) zamanları, OGM (1996) tarafından belirtilen yöntemle göre hesaplanmıştır. Hesaplama kullanılan bileşenlerden birim alandaki ağaç sayıları ve bunların çap kademelerine dağılımı için dikili ağaç ölçü tutanakları kullanılmıştır. Arazi eğim değerleri ise, CBS veritabanında oluşturulan fonksiyonel arazi sınıfları katmanından elde edilmiştir.

Motorlu testere ve insanla çalışma birim maliyetleri, her yılın başında OGM tarafından hazırlanan (01.01.2002 tarihli) cetvellerden alınmıştır.

Harvester (hasat makinesi) için birim çalışma zamanı; Tufts (1997) ile Stampfer ve Steinmüller' in (2001) yöntemine (7 nolu bağlantı) göre belirlenmiştir. Harvester' in birim maliyetinin hesaplanmasında Seçkin (1982), FAO (1992), Acar (1994) ve Bayoğlu vd. (1993) tarafından yapılan maliyet analizleri örnek alınmıştır. Bu makinenin işletilmesi için amortisman süresi 10 yıl ve yıllık çalışma süresi 2000 saat olarak kararlaştırılmıştır. Ortalama günlük çalışma saati 8 saat ve yıllık faiz oranı (2002 yılı için) % 60 olarak kabul edilmiştir. Harvester' in OGM tarafından satın alındığı ve üretim işçilerine kiralama bedeli üzerinden kiralandığı kabul edilmiştir. Makine satın alma bedeli, yakıt sarfiyatı vb. teknik bilgiler USDA tarafından hazırlanan PPHarvest (URL-2, 2001) adlı programa ait, makine maliyet cetvellerinden alınmıştır. Harvester' in üretim yapılacak tüm bölmeler için kullanılabilirliği, fonksiyonel arazi sınıflandırmasına göre analiz edilmiştir.

$$\text{Toplam seçme+kesme+işleme zamanı}=6,220+30,34*\text{Hacim}*Parça Sayısı+1,164 * \\ \text{Uzanma Mesafesi}+0,1334*\text{Hacim}*Dönme Derecesi-3,90*\text{Hacim}*Tomruk Boyu \quad (7)$$

Bu formülde, hacim yerine bölme başına toplam ağaç sayısı ve toplam hacim ile buradan elde edilmiş orta çap dikkate alınarak üretilmiş hacimler kullanılmıştır. Parça

sayısı, dikili gövdeden kaç adet parça üretildiğine ilişkindir. Normal boy tomruk üretiminde 4 ve 3 m' lik tomrukların üretildiği dikkate alınmıştır. Nitekim, arazi gözlemlerinde de böyle olduğu belirlenmiştir. Buna göre de her bir bölme için bir orta boy temsil alınmıştır. Bu orta boy, tıraşlama kesimlerinde; orta bonitet olmasından dolayı 18 m olarak benimsenmiştir. Gövdenin 3 adet 4m, 2 adet 3 m' ye bölüdüğü ve toplamda 5 adet parçaya bölüdüğü kabul edilmiştir. Ancak üretim metodu değiştiğinde yani, uzun boy tomruk metodunda parça sayısı 4 ya da 3 olarak dikkate alınmıştır.

Üretim sistemlerinin tasarımında kesme teknikleri; motor-manuel, motor-motor ve harvester olarak 3' e ayrılmıştır. Her 3 kesme tekniği için de maliyetler ayrı ayrı hesaplanmıştır. Sonradan, periyodik etki katsayısı ile çevresel ve kurumsal değişkenlerden gelen sabit maliyetler de eklenerek, modelde kullanılabilir kesme maliyet katsayıları elde edilmiştir. Kesme birim maliyetleri bölmelere, üretim metoduna, üretim sistemine ve periyotlara göre ayrı ayrı hesaplanmıştır.

2.3.2.2. Bölmeden Çıkarma Maliyetlerinin Hesaplanması

Operasyonel planlama modelinde; insan gücü ile zeminde kaydırma (atma ve yuvarlama), hayvan gücü ile zeminde sürütme, traktörlerle zeminde ve orman yolunda sürütme ile kablo çekimi, hava hattı ile taşıma, oluklarla kaydırma ve forwarder ile taşıma teknikleri konu edilmiştir.

İnsan gücüyle bölmeden çıkarma maliyetinin hesaplanmasında; sürütme mesafesi ile bu mesafede 1 m³ ürünün taşınması için gereken çalışma zamanının belirlenmesi için gerçek ortalama sürütme mesafeleri (SMg) kullanılmıştır. Standart zamanların belirlenmesinde ise 288 Sayılı Tebliğ' de (OGM, 1996) belirtilen yöntem kullanılmıştır. Arazi eğimi, ağaç türü ve sürütme mesafesinin uzunluğuna bağlı olarak 1 m³ kızılçam odununun bölmeden çıkarma süresi hesaplanmıştır. OGM' nin 2002 yılının başında belirtmiş olduğu insanla çalışma zamanına ilişkin birim fiyatlar kullanılarak, her bir bölme için ayrı ayrı olmak üzere insanla bölmeden çıkarma maliyetleri bulunmuştur. Maliyet hesabında, bölmeden çıkarmanın aile işçiliği şeklinde olduğu dikkate alınarak 4 yada 5 işçinin (1 ekip) çalıştığı kabul edilmiştir.

Hayvan gücüyle bölmeden çıkarma maliyetlerinde ise, bir katır ve bir işçinin maliyetleri dikkate alınmıştır. Bu konudaki standart zamanlar da 288 Sayılı Tebliğ' e göre belirlenmiştir. Maliyetler ise OGM' nin birim maliyetlerine göre düzenlenmiştir.

Traktörlerle bölmeden çıkarma maliyetlerinin hesaplanmasında, yol yoğunluk ve aralıkları dikkate alınmıştır. Arazi eğiminin traktörle bölme içinde zeminde sürütmeye uygun olmadığı alanlarda traktör yolları yapılması planlanmıştır. Traktör yolları, Bayoğlu (1996) tarafından belirtilen yöntemle göre Arcview programı içinde yalnızca 47 (1), 67 (2) ve 203 (3) no'lu geliştirme bölmeleri için düzenlenmiştir. Bakım bölmelerinde yol yoğunluğunun yüksek olması, aralamanın bölmenin muhtelif yerlerinde olması gibi nedenlerle traktör yolu planlanmamıştır.

Traktörlerle yapılacak kablolu çekimlerde, Acar (1994) tarafından belirtilen yöntemle göre; uygun çekim mesafesinin yolun alt tarafında ortalama 60-70 metre kadar olduğu kabul edilmiştir. Traktör yollarının ve orman yollarının üstünde kalan alanlarda ise insan gücüyle kaydırma tekniğinin uygulanması planlanmıştır. Traktörlerle kablo çekimi yapılarak ya da insan gücüyle kaydırılarak traktör ve/veya orman yolunda toplanan ürünlerin, rampa yerlerine ya da ara toplama merkezlerine kadar traktör ve orman yolu üzerinde sürütüleceği düşünülmüştür.

Tarım traktörlerinin kablo çekimi yapabilmesi için gerekli olan tambur donanımına sahip olduğu kabul edilmiştir. Tarım traktörleriyle kablo çekim maliyetleri için gerekli olan kablo çekim sürelerinin bulunmasında Acar (1994) tarafından geliştirilen aşağıdaki regresyon denklemi kullanılmıştır:

$$\text{Toplam Süre} = 5,3809 + 0,0521 * KÇM - 0,0180 * YE \quad (8)$$

$KÇM$ = Kablo Çekim Mesafesi (m); sayısal haritadan ölçülerek bulunur,
 YE = Yamaç Eğimi (%)

Tarım traktörüyle her seferde çekilen ürün miktarı Kızılcım ağaç türü için $0,5 \text{ m}^3$ olarak kabul edilmiştir. Bu oran, saatlik maliyetlerin bulunmasında kullanılmıştır. Tarım traktörlerinin saatlik maliyetleri; OGM'nin makine kira bedelleri üzerinden hesaplanmıştır. OGM'nin 2002 yılı başındaki makine kira bedelinin tarım traktörü için akaryakıt ve yağ dahil $7,67 \text{ \$/saat}$ olduğu belirlenmiş ve maliyet hesaplamasında kullanılmıştır. Traktörle kablo çekimi (TKÇ) yapılamayan alanlar için insan gücü yardımıyla kaydırma maliyetleri, insan gücü maliyetlerinin hesaplanması kısmında uygulanan yöntemle göre belirlenmiştir.

Traktörle yolda sürütme (TYS) süresinin belirlenmesinde, orman veya traktör yolunda 100 m mesafede verim $3,919 \text{ m}^3/\text{saat}$ olarak kabul edilmiştir (Bayoğlu vd., 1993).

Orman traktörü ile bölmeden çıkarmada işletmenin makine parkında bulunan MB Trac 800 tipindeki orman traktörünün kullanılması planlanmıştır. TKÇ süresinin hesaplanmasında her seferde $0,7 \text{ m}^3$ Kızılçam tomruğunun çekildiği kabul edilerek TKÇ için toplam çalışma süresi aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmıştır (Acar, 1995);

$$\text{Toplam Süre} = -0,7043 + 0,068 * KÇM + 0,0514 * SUC \quad (9)$$

$KÇM$ = Kablo Çekim Mesafesi (m)

SUC = Sürütülen Ürünün Çapı (cm) (Dikili ağaç tutanaklarına göre, orta çap alınmıştır)

TYS süresinin bulunmasında, orman traktörlerinin tarım traktörlerinden % 20 daha kısa sürede aynı koşullarda ve aynı boyuttaki ürünü taşıyabileceği kabul edilmiştir.

Bununla birlikte, planlanan traktör yolu maliyetleri, bu yolda taşınacak birim ürün miktarına, sabit maliyet olarak eklenmiştir. Makine ve İkmal Şube Müdürlüğü kayıtlarına göre 2002 yılında traktör yollarının 1 km^2 sinin yapım maliyetinin, 1 Milyar TL olduğu belirlenmiştir.

Hava hattı ile bölmeden çıkarma maliyeti; 1 m^3 ürünün kütük dibinden rampaya kadar taşınması maliyetini kapsamaktadır. Maliyet, hava hattının saatlik kira bedeli ile 1 m^3 ürünün taşınması için gereken zamanın fonksiyonudur.

Bu çalışmada, OP modelinin konu edildiği test alanı için URUS MIII marka ve tipteki, hem aşağı hem de yukarı yönde orta ve kısa mesafelerde taşıma yapabilen hava hatlarının kullanılması planlanmıştır. Birim miktarda odun hammaddesinin, belirlenen sürütme mesafesi boyunca taşınmasında geçen toplam sürenin hesaplanmasında Acar (1994) tarafından ibrelili tomrukların bölmeden çıkarılması için ortaya konulan aşağıdaki bağıntı kullanılmıştır;

$$\text{Toplam Süre} = 5,7661 + 0,0256 * TM \quad (10)$$

TM = Taşıma mesafesi (m)

URUS MIII hava hatları ile gençleştirme kesimlerinde, her bir seferde $1,5 \text{ m}^3$ ürünün taşındığı kabul edilmiştir. OGM' nin 2002 tarihli makine kiralama bedelleri dikkate alınarak saatlik ve parça başına kira bedelleri belirlenmiş ve maliyet hesaplamalarında kullanılmıştır ($16,58 \text{ \$/saat}$).

Forwarder ile bölmeden çıkarma maliyetlerinin hesaplanmasında; Ülkemiz ormancılığında kullanılan bir araç olmamasından dolayı, birim miktar başına toplam

çalışma süresinin belirlenmesinde Tufts' un (1997) Ponsse S-15 tipinde forwarder ile çam ormanları için kullandığı aşağıdaki bağıntılardan yararlanılmıştır:

$$\text{Forwarder'in seyahat hızı;} = 14,60 - 0,2796 * \text{Yük} - 0,6141 * \text{Eğim} \quad (r^2= 0,738) \quad (11)$$

$$\text{Yükleme süresi;} = 5,915 + 0,004251 * \text{Parça Sayısı} * \text{Hacim} \quad (r^2= 0,785) \quad (12)$$

$$\text{Yüklü hareket süresi;} = 5,817 + 1,181 * \text{Taşıma Mesafesi} \quad (r^2= 0,920) \quad (13)$$

$$\text{Boşaltma süresi;} = 0,3517 * \text{Hacim} \quad (r^2= 0,748) \quad (14)$$

Forwarder ile saatlik üretim oranını bulmak için Ortiz vd. (1997) tarafından belirlenen aşağıdaki bağıntı kullanılmıştır.

$$\text{Üretim oranı (m}^3\text{/saat)} = 17,09525 - 0,011768 * \text{Bölmeden Çıkarma Mesafesi} \quad (15)$$

Birim zamana karşılık gelen maliyetler, makine kira bedellerine göre hesaplanmıştır. Bunun için FAO (1992) ve USDA' nın (URL-2, 2001) yöntemine göre maliyet analizleri yapılmıştır.

Operasyonel planlamada üretim sistemi kombinasyonlarında, polietilen olukların da kullanılması kararlaştırılmıştır. Plastik oluklar, Acar ve Eroğlu (2004) tarafından projelendirilen ve ulusal sanayide polietilen hammaddesinden imal edilen, çapı 40 cm ve boyu 6 m olan oluklardır.

Oluk sistemi, 40 cm' nin altındaki çapa sahip daha ziyade ince ve kısa tomruklar ile kağıtlık, sanayi, lif-yonga ve yakacak odunların taşınmasında etkili bir sistem olmasına karşın, Kızılçam için bakım kesimlerinde etkili şekilde kullanılabilceği tahmin edilmektedir. İbrelî ağaç türlerinde yapılan iş etütlerine göre oluk sistemi ile zeminde sürütmeye nazaran 1/8 oranında daha az zaman harcadığı belirtilmiştir. Ayrıca, yakacak odun üretiminde 3 ayda yapılacak bölmeden çıkarma işlerinin oluk sistemiyle 10-12 günde yapılabildiği tespit edilmiş ve toplam zamanın hesaplanmasında Acar ve Eroğlu (2004) tarafından belirlenen yöntem kullanılmıştır. Planlama alanında 300 m² lik oluğa ihtiyaç olabileceği, maksimum sürütme mesafeleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Polietilen olukların birim maliyetleri için, maliyet analizleri gerçekleştirilmiştir. Oluğun bir adedi (6 m ve 40 cm çap) 75 \$ olup 50 parça oluk için 3750 \$ hesaplanmıştır. Maliyet analizlerine göre oluk sisteminin normal koşullardaki kira bedeli 12,63 \$/saat olarak hesaplanmıştır.

2.3.2.3. Taşıma Maliyetlerinin Hesaplanması

Taşıma maliyetleri, bölmeden çıkarma sürecinin ardından orman içindeki rampa ya da yol kenarındaki biriktirme noktalarından orman yolları üzerinde depoya kadar olan taşıma ve bu süreçteki yükleme ve boşaltma etkinliklerine ilişkin maliyetlerden oluşur. Taşıma maliyeti; rampa ile depo arasındaki mesafenin, bu mesafeyi kat etmede geçen zamanın, bu zamanda ve mesafede taşınan yükün, ve bu etkinliğe karşılık gelen bedel ile temsil edildiğinden; maliyeti oluşturan her bir fonksiyon ayrı ayrı tespit edilmiştir.

Öncelikle, bölmeler ile depolar arasında bağlantı sağlayan tüm alternatif yollar sayısal yol ağı haritasından tespit edilmiştir. Bu aşamada Arcview yazılımının “network analiz modülü” kullanılarak bölme – depo arası en kısa yol bağlantıları araştırılmıştır. Böylelikle her bir bölmeden çalışma alanında bulunan 2 depoya farklı yollardan erişilebilirliğin analizi yapılmıştır.

Karayolları yönetmeliği ve kamyonların yük kapasitesi dikkate alınarak her bir kamyonun bir defada, ortalama 13 m³ ibrelili tomruk taşıyabileceği dikkate alınmıştır. Taşıma araçlarının hızlarının, taşıma süresinin fonksiyonu olmasından dolayı; ham/toprak yolda, stabilize yolda ve asfalt yolda taşıma hızları tanımlanmıştır. Buna göre Tablo 10'daki hız değerleri, maliyet hesaplamalarında esas alınmıştır.

Tablo 10. Yol Standardına göre kamyonla taşıma hızları

Yol Standardı	Boş Gidiş Hızı (km/saat) ($V_{boş}$)	Yüklü Dönüş Hızı (km/saat) (V_{dolu})
Ham /Toprak Yol	15	10
Stabilize Yol	30	20
Asfalt Yol	40	30

Belirtilen rota, yön ve hızlarda kamyonla taşıma zamanlarının bulunmasında FAO (1992) tarafından belirtilen yöntem kullanılmıştır. Buna göre, aşağıdaki bağıntı kullanılarak her bir yol standardı için yüklü ve boş seyahat zamanları hesaplanmıştır;

$$KTZ_{1; 2; 3} = (V_{boş} +) / (V_{boş} * V_{dolu}) \quad (16)$$

$KTZ_{1; 2; 3}$ = Yol standardına göre kamyonla taşıma zamanı (saat)

$V_{boş/dolu}$ = Boş ve yüklü taşıma hızı (km/saat)

Seyahat zamanı ve rotalara ait mesafeler kullanılarak aşağıdaki bağıntı ile sefer süresi bulunmuştur:

$$\text{Sefer Zamanı} = [(Rota Uzunluğu_{1;2;3}) / V_{bos}] + [(Rota Uzunluğu_{1;2;3}) / V_{dolu}] \quad (17)$$

Kamyonla çalışma zamanının hesaplanmasında; kamyonun boş olarak yükleme yerine gelmesi, burada yüklenme süresince beklemesi, yüklü kamyonun dolu olarak hareket etmesi ve depoda boşaltma süresi boyunca beklemesinden dolayı; yükleme ve boşaltmada geçen zamanlar da belirlenmiştir. Yükleme zamanı; elle ve makine ile yüklemeye göre değişken olup elle yüklemeye geçen zaman 11 dak/m³, boşaltma zamanı ise 5 dak/m³ olarak esas alınmıştır (Aykut, 1984). Elle yüklemeye 5 işçinin çalıştığı kabul edilmiş ve maliyetler buna göre hesaplanmıştır. Makineli yüklemeye (loader), tomruğun yol kenarından alınıp kamyonla yüklenmesinde geçen süre, gözlemlere göre ortalama 3 dakika olarak kabul edilmiştir. Toplam kamyonla taşıma zamanı, aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$\text{Toplam Kamyonla Çalışma Zamanı} = (\text{Yükleme} + \text{Boşaltma Zamanı}) + \text{Sefer Zamanı} \quad (18)$$

Kamyonla taşıma maliyetinin hesaplanması için yükleme ve boşaltma maliyeti ile kamyonun bu süreçte boş bekletilmesinden kaynaklanan maliyet de dikkate alınmış ve aşağıdaki bağıntı ile 1 m³ ibrelili tomruğun yükleme ve boşaltma (sabit) maliyeti, \$/m³ birimi cinsinden hesaplanmıştır:

$$\text{Taşıma maliyeti} = (\text{Saatlik Bekleme Maliyeti (yükleme + boşaltma)}) + [((\text{Yüklemeye zamanı} + \text{Boşaltma Zamanı}) / 60) / \text{Taşıyan Miktar (yük)}] \quad (19)$$

Bu bağıntıda elle (insan gücüyle) yükleme maliyeti, yükleme süresince çalışan bir insanın saatlik çalışma maliyeti ile temsil edilmiştir. İnsanla çalışma maliyeti de OGM³ nin belirlediği üretim birim maliyeti hesaplarından alınmıştır. Makineli yükleme maliyetleri de, makine kira bedeli üzerinden hesaplanmıştır. Nitekim, arazi çalışmaları ve anketle elde edilen bilgilerde traktöre monteli yükleyicinin 1 m³ başına yükleme bedeli 1 300 000 TL olarak bildirilmiştir. Makine kira bedeli cetvelinde ise traktöre monteli yükleyici için aynı bedel belirtilmiştir.

Buna göre, kamyonla çalışmanın birim zamandaki maliyeti 7,18 \$/saat olarak tespit edilmiştir. Kamyonla yalnızca yollar üzerinde taşıma yapmanın maliyeti, taşıma operasyonunun değişken maliyeti olarak algılanmış ve şu bağıntı ile hesaplanmıştır:

$$= (\text{Saatlik Çalışma Maliyeti}) * [((\text{Yol Uzunluğu/Boş Hız}) + (\text{Yol uzunluğu/ Dolu Hız})) / \text{Taşınan Miktar (yük)}] \quad (20)$$

Taşıma operasyonuna ait sabit ve değişken maliyet toplanarak 1 m³ ürünün alternatif rotalardan alternatif depolara kadar taşınması halindeki maliyeti her bir bölmeye ve her bir yol standardına göre ayrı ayrı hesaplanmıştır.

2.3.3. Odun Üretiminde Sistem Seçimi – Çevresel ve Kurumsal Değişkenler

2.3.3.1. Sistem Seçiminde İzlene Yöntem

Operasyonel planlama yaklaşımında, odun üretimi yapılacak bölmelerde en uygun odun üretim sisteminin (kombinasyonunun) seçimi; teknik/topoğrafik, ekonomik, çevresel ve sosyal kriterlere göre yapılmıştır. Teknik ve/veya topoğrafik faktörlere göre sistem seçimi; arazi eğim gruplarına göre fonksiyonel arazi sınıflandırması, orman yol ağı alt yapısının analizi (ulaşılabilirlik), silvikültürel işlemler, üretim sistemlerinin kombinasyonu ve kullanılabilirliği gibi özellikler dikkate alınarak yapılmıştır.

Ekonomik kriterlere göre sistem seçiminde; odun üretim maliyetleri dikkate alınmıştır. Maliyetlere göre sistem seçiminde kantitatif karar verme yöntemlerinden yararlanılmış ve bu amaçla Yöneylem Araştırması Tekniklerinden doğrusal ve tamsayılı programlama kullanılmıştır.

Çevresel ve sosyal kriterler, odun üretim sisteminin seçiminde kalite ile ilgili özelliklerdir. Üretim sistemlerinin, çevreye verdiği zararlar ile iş güvenliği ve işçi sağlığı konusundaki etkisi bilinmesine rağmen maliyet cinsinden değeri ifade edilememektedir. Bu amaçla, çevresel ve sosyal (kurumsal) değişkenlerin de, maliyetlere dayalı nicel değerlendirme sürecine sokulabilmesi amaçlanmıştır. Odun üretim sistemlerinin seçiminde, nicel kriterlerin nitel kriterler ölçeğinde değerlendirilebilmesi için Analitik Hiyerarşi Süreci yönteminden yararlanılmıştır (Lihai, 1994; Engür, 1996; Shemwetta, 1997; Lebel vd., 2003).

2.3.3.2. Çevresel ve Sosyal/Kurumsal Değişkenler

Burada, odun üretim sisteminin seçimine yön verecek nitel değerlendirmeler hedef alınmıştır. Bu amaçla, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP)'ne göre iki düzeyli hiyerarşi

oluşturulmuştur. Birinci düzeyde; ekonomiklik, çevreye duyarlılık, teknik-topoğrafik uygulanabilirlik, sosyo-ekonomik esneklik, ergonomiklik, olmak üzere 5 kriter esas alınmıştır. İkinci hiyerarşide; Tablo 11’de gösterilen 17 kriter bulunmaktadır. Kriterlerden hangisinin önemli üstünlüğe sahip olduğu 1 ile 5 arasındaki rank (sıra/derece) değerleri ile temsil edilmiştir. Derecelendirmede 5’lik ölçek kullanılarak önem düzeyleri arasındaki sapmaların azaltılması amaçlanmıştır. Ölçeğin oluşturulmasında referans değerleri; daha az önemli (1), az önemli (2), önemli (3), çok önemli (4), en önemli (5) olarak tanımlanmıştır.

Kriterlere değer atanmasında (tekil ağırlık değerlerinin belirlenmesinde) ulusal kalkınma planı amaçları, amenajman planı amaçları ve işletme amaçları ile konuyla ilgili genel yargılardan yararlanılmıştır. Burada belirlenen tekil ağırlık değerleri, AHP’ nin uygulanması sırasında ikili karşılaştırmalar için karar mekanizması olarak kullanılmıştır.

Ağırlıklı değerlerin bulunması için bulanık mantık (füzy kümeleme) yaklaşımı izlenmiştir. Derecelerin 0 ile 1 arasındaki değerler cinsine çevrilmesi için yüzdelik oranları alınmıştır. Bir üretim sisteminin tüm faktörler açısından üstünlüğü yani önemliliğinin maksimum % 100 olabildiği kabul edilmiştir. Ancak, birbiri ile aynı düzlemde yer almayan değerlendirme kriterlerinden, örneğin ekonomi ve ekoloji kategorisi bir sistemin % 100 uygunluğu ya da tercih edilebilirliği konusunda çelişebilmektedir. Kısacası, tüm yada birkaç kriterin, göreceli önemleri açısından % 100 uygun olma ihtimali zayıftır.

Tablo 11. Tekil karşılaştırma ağırlıklı değerlerinin belirlenmesi

Kriterler (1. hiyerarşi)	Gösterge Faktör (2. hiyerarşi)	Rank (derece)	Ağırlıklı değer	
Ekonomi	Operasyon Maliyeti	5	9%	0,09
	Verimlilik	4	7%	0,07
Teknik	Yatırım Gerekisini	4	7%	0,07
	Eldede Edilebilirlik	4	7%	0,07
	Kullanılabilirlik	5	9%	0,09
	İş ve Ürün Kalitesi	4	7%	0,07
Ekoloji (Çevresel)	İklimeye Bağlılık	3	5%	0,05
	Planlama gerekisini	2	4%	0,04
	Toprak Koruma	3	5%	0,05
	Kalan Meşcerenin Korunması	2	4%	0,04
Sosyo-Ekonomik (Kurumsal)	Vejetasyonun Korunması	4	7%	0,07
	Yaban Hayatının Korunması	2	4%	0,04
	İşlendirme Kapasitesi	4	7%	0,07
Ergonomi	Eğitim gerekisini	1	1%	0,01
	Yöresel Kalkınmaya Katkı	3	5%	0,05
	İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği	4	7%	0,07
	İşyükünün Fiziksel&Zihinsel Etkisi	3	5%	0,05
		57	100%	1

Bu bakımdan, tüm i . sistem ($i = 1, 2, \dots, n$) ve j . kriter ($j = 1, 2, \dots, m$) açısından bir karşılaştırma yapılmalıdır. Karşılaştırma için, hangi kriterin ne kadar önemli olduğu yapılan bu derecelendirme ile temsil edilir. Her bir sistem, kriterler başına belirlenen görelî önemlilik derecesi ile sınılanır. Bunun anlamı; bir sistemin tüm kriterler açısından uygunluğu vardır (1) ya da yoktur (0) şeklindeki mutlak değerlendirmeden ziyade; gri bölgede yani 0 ile 1 arasındaki görelî değerlerde bu sistem tüm kriterler açısından % 60 uygun (0,6); % 40 uygun değil (0,4) şeklinde bir sonuca varabilmektedir. Bu yüzden gösterge kriterlere ait dereceler yüzdellik dilime çevrilmiştir (Tüm sütun değerleri toplamı en fazla 1 olabilecektir).

İkinci düzeydeki kriterler, teknoloji seçimini etkileyen kriterlerden özetlenmiştir. Odun üretim sistemlerinin seçimi mikro boyutta teknoloji belirleme problemi olarak algılanmıştır. Engür (1996) tarafından, makro boyutta orman ürünleri hasadında teknoloji seçimine yönelik yapılan çalışma sonuçları burada önemle dikkate alınmıştır. Engür, mikro boyutta teknoloji seçiminin sektörlere bırakıldığını, mikro boyutta teknoloji seçimi için genel metodların geliştirilebileceğini, ancak bu düzeyde henüz bir çalışmanın yapılmamış olduğunu belirtmektedir. Bu tez çalışması ile DOI' lerinin yıllık bazdaki odun üretim planlamaları için bazı gösterge kriterlerle uygun odun üretim sisteminin nasıl seçilebileceği kalitatif yöntemlerle desteklenmiştir. Bu bağlamda, operasyonel planlama kapsamında kantitatif değerlendirmeye doğrudan (explicitly) sayısal değerleriyle sokulamayan; odun üretim sisteminin sosyal ve çevresel bileşenleri, belirli bir ağırlık değeri verilerek dolaylı yoldan (implicitly) planlama modeline sokulmaya çalışılmıştır.

Önemlilik sıralamasına göre her bir kriter yada faktöre yüzdellik değerler atanarak tekil karşılaştırma ağırlıkları vektörü elde edilmiştir. Bu aşamadan sonra AHP yönteminin adımları izlenmiştir. Ancak, bu yöntemin kullanılma nedeni; 17 ya da 5 kriterleri 2. yada 1. hiyerarşiye bağlı bir karar üretmek değildir. AHP adımları izlenerek, alternatif her bir üretim sistemi için görelî önemlilik vektörüne bağlı bir etki katsayı oranı belirleyebilmektedir.

2.3.3.3. Teknoloji Seçiminde Kullanılan Kriterler

Teknoloji seçimi, kapsamlı analiz ve sentezlere bağlı; politik, ekonomik, teknik, sosyal ve çevresel faktörlerin etkisi altında konu edilen bir karar verme problemidir. Bu çalışmada, nitel maliyetlerin ortaya konulabilmesi için aşağıdaki kriterler kullanılmıştır:

Maliyet: Kullanılacak üretim sisteminin seçiminde en etkili ve öncelikli faktördür. Odun üretim sistemleri içinde sabit ve değişken maliyeti en düşük olanın seçilmesi her zaman önceliklidir.

Elde edilebilirlik: Alternatif odun üretim sistemleri arasından, en kolay elde edilebilenin seçilmesidir. Bu, doğrudan maliyetleri ilgilendirir ve dolayısıyla yüksek bir önem düzeyine sahiptir.

Kullanılabilirlik: Kullanılacak odun üretim sisteminin mantık çerçevesinde araziye teknik olarak uygulanıp uygulanamayacağını belirtecektir. Eğitim gereksinimi ve bakım gereksinimi duymaması da kullanılabilirliğin bir başka belirteçidir.

Operasyon Verimliliği: Odun hammaddesi üretim operasyonu için gerekli olan tüm kaynakların (hammadde, işgücü, makine, enerji, zaman, para) etken biçimde kullanılıp kullanılmamasının ifadesidir. Verimlilik, hem ülke hem de işletme düzeyinde arzulan bir olgudur. Maliyetlerin oluşumunda önemli bir fonksiyondur.

İşlendirme (sosyo-ekonomik uygunluk): Bu kriter, odun üretim operasyonlarının düzenleneceği yöredeki ve bu yönüyle de orman köylülerinin ya da operasyonu yürütecek ekiplerin, toplam yıllık gelirleri ve gelirlerini hangi işlerden elde ettiği ile ilişkilidir. Orman köylülerinin işlendirilmesi önemli kriterlerden biridir ve önem düzeyi yüksektir.

Toprak ve su kaynakları yönünden (ekolojik) uygunluk: Odun üretim operasyonları, çeşitli özelliklerinden dolayı toprakta sıkışma, erozyon ve dağılmaya neden olmaktadır (Çepel, 1989, Balcı, 2000, Görçelioğlu, 2004). Yağmur suları ya da yerçekimi etkisiyle toprak, su kaynaklarına taşınmaktadır. Bundan dolayı, alternatif odun üretim sistemlerinin seçiminde toprak ve su zararlarının azaltılması ve önlenmesi önemli önceliklerdendir.

Kalan meşçere yönünden uygunluk (ekolojik): Toprak zararları kadar kalan meşçereye verilen zarar da önemli bir değere sahiptir. Dikili ya da gençlikte meydana gelen odun üretim zararları idare süresi müddetince etkili olabilir ve yeni bir meşçere kurulduğunda bu zararlar ortadan kalkmış olur. Ancak, toprak değişimi, yetişme ortamına yani bitkisel büyüme üzerine etki eder.

Ürün kayıplarının azaltılması (hammadde verimliliği): İşletmelerin karlılığını arttırmak için gerekli önlemlerden biri, odun üretim maliyetlerinin azaltılmasıdır ve bu planlamanın temel amacıdır. Diğer bir önlem ise, birim kaynak girdileri ile en yüksek ürünü elde edebilmektir. Bu çerçevede, üretim sırasında ürün kayıplarının en az olması istenir.

Yaban hayatına verilen zarar ve rekreasyonel değer: Odun üretimi operasyonlarının yaban hayatı üzerindeki zararının önemlilik derecesi bu çalışmada en düşük alınmıştır. Çünkü operasyon zararı (yol yapımı dışında), yaban hayatı için geçici özelliktedir. Burada kalıcı zarar, amenajman ve silvikültür planlama kararına bağlıdır. Yaban hayatı açısından, öncelikli alanlar koruma alanı olarak ayrılabilir ve dolayısıyla uygulanacak silvikültürel müdahalenin çeşidi bu aşamada belirlenebilir. Bu açıdan, odun üretim operasyonunda öncelik sırası en düşüktür. Rekreasyonel değer de yine, odun üretim sistemlerinin seçiminde düşük öncelik sırasına sahiptir.

Ergonomik uygunluk: İnsan sağlığı, işin güvenliği yaşam kalitesi, iş üretimi, iş verimliliği vb. konular ergonomik uygunluk kriteri içinde değerlendirilir.

AHP yönteminin kullanılması sırasında öncelikle bu kriterler kendi aralarında karşılaştırılarak ağırlıklı önemleri belirlenmiştir. Sonradan, üretim sistemi alternatifleri bu kriterlere göre değerlendirilmiş ve bu kriterler karşısındaki önemlilikleri sınanmıştır.

Alternatif üretim sistemlerinin bu kriterlere göre sınanabilmesi için daha önceden tasarımı yapılan 10 adet üretim sistemi, teknoloji sınıflandırmasına tabi tutulmuştur. Buna göre; 1, 2, 5 ve 6 nolu üretim sistemleri basit/temel ve ara teknoloji; 3, 4, 7 ve 8 nolu üretim sistemleri ara teknoloji; 9 ve 10 nolu üretim sistemleri ise ileri teknoloji olarak sınıflandırılmıştır. Böylelikle, 10 adet üretim sisteminin 17 adet kriterle karşılaştırılabilmesi için gerekli olan, değerlendirme zemini oluşturulmuştur. Herhangi bir kriter için hangi sisteminin diğerinden daha iyi olduğunun tartışılmasında; literatürde rastlanan araştırma sonuçlarından, genel bilgilerden ve makro düzeydeki teknoloji seçimi karşılaştırmalarından (Engür, 1996) yararlanılmıştır. Örneğin;

Basit el araçlarıyla donatılmış ve ağırlıklı olarak işgücüne dayalı üretim sistemlerinde; 1) Yatırım ve işletme maliyetleri düşüktür, 2) Kolay elde edilebilir, 3) İstihdam yararıdır, 4) Çevresel sorunlar yaratmaz, 5) Toprak zararları daha azdır, 6) Niteliksiz işgücünden yararlanılabilir, 7) Sosyal açıdan kolayca kabul edilebilir, 8) Sistemin öğrenilmesi için eğitim ve öğretim maliyeti düşüktür, 9) İşgücünün fiyatı düşüktür, 10) Süre kısıdının geçerli olduğu durumlarda, işin zamanında yetişememe riski vardır, 11) Kesim ve tomruklama işlerinde kalite düşüktür, 12) İş ağırdır. Fiziksel güç gereksinimi yüksektir ve insanın çalışma kapasitesi sınırlıdır (Frykman, 1982; Engür, 1996).

Çeşitli ekipmanlarla donatılmış hayvan gücü ağırlıklı temel teknolojiye dayalı üretim sistemlerinde; 1) Mülkiyet giderleri ve işletme maliyeti orta düzeydedir, 2) Küçük

ölçekli üretim için uygundur, 3) İşler, işgücünden daha kısa zamanda gerçekleştirilir, 4) Kötü zemin koşullarında operasyon yürütülebilir ve ağaçlar arasında ilerleme konusunda esnekliğe sahiptir, 5) Dikili ağaç gövdelerinde daha az zarar oluşur, 6) Kapasitesi sınırlıdır, 7) Kötü iklim koşullarında verimi düşmektedir, 8) Tecrübeli işgücünü gerektirir. Hayvanlarla sürütmenin avantajları; diğer sürütme tekniklerine göre düşük toprak zararları oluşturması, hassas alanlarda kullanılabilir olması, makine gibi ses ve yağ atığı zararının olmaması, planlamanın çok kolay olması sayılabilir. Dezavantajları ise; günlük üretim kapasitesinin düşük olması buna karşın birim miktar başına üretim maliyetinin yüksek olması, ince çaplı ürünler için kullanılması (24 cm'nin altı), sürütme mesafesinin sınırlı olması ve diğer sistemlerden fazla yol gerektirmesi, tüm gün ve tüm yıl bakım gerektirmesi, eğimli arazide çalışmanın sınırlı olması, dinlenmeye ihtiyaçları olması, kazadan doğrudan etkilenmeleri vb. sayılabilir (Greulich vd., 1996).

Ara teknoloji düzeyinde yer alan oluk sistemleri için şu özellikler, çok kriterli karar analizlerinde kullanılabilmiştir; 1) Özel mekanik beceri gerektirmez, 2) Niteliksiz işgücü kullanılmasına rağmen çevreye ve sisteme zarar vermez, 3) Tüketilen işgücü enerjisi minimaldir, 4) Hava şartlarından daha az etkilenir, 5) Sürütme yolları gereksinimine ihtiyaç yoktur, 6) Kabuk soyma zorunluluğu yoktur.

İleri teknoloji olarak addedilen üretim sistemlerinin şu sakınca ve yararları da üretim sisteminin seçiminde çok kriterli analiz aşamasında kullanılabilir niteliktedir; 1) Potansiyel kazançlar artırılabilir, 2) Verimlilik artar, 3) Üretim artışı sağlar, 4) İşgücü ve enerji tasarrufu sağlar, 5) İşlerin zamanında bitirilmesini sağlar, 6) İş yükü düşüktür, 7) Uzun vadede istihdam yaratır, 8) İş kazaları azaltılır, 9) Mülkiyet ve çalıştırma maliyetleri yüksektir, 10) Küçük ölçekli üretim operasyonları için uygun değildir, 11) Toprak zararları oluşturur, 12) Ulaşılabilirliği yüksektir, 13) Sosyal faktörlerle çatışabilir, 14) Tecrübe ve eğitilmiş operatör gerektirir (Engür, 1996).

Öte yandan, makineli üretim operasyonlarında verimin yükselmesine bağlı olarak operasyon maliyetleri düşmektedir (Erdaş, 1986).

Acar (1994) hava hattı, orman traktörü, tarım traktörü gibi makineli üretim tekniklerinin verimliliklerinin manuel yöntemlerden daha üstün olduğunu belirlemiştir. FAO'ya (1977) göre, aynı türden ve ortalama 35 cm göğüs yüzeyi çapındaki bir ağaçta, motorlu testere ile gövdenin kısa boy ve uzun boylara tomruklanmasında; uzun boy tomruklamada geçen zamanın diğerinden % 20 kadar daha az olduğu bulunmuştur.

Keatley (2000), elle kesme ve devirmenin, feller-buncher ile kesme ve toplama ile karşılaştırıldığında operasyon maliyetinin daha fazla olduğunu; operasyonun (budama, tomruklama, kabuk soyma) rampa ya da istif yerinde yapıldığında daha az maliyetli olduğunu; Feller-buncher ile sürütme şeritlerinde durarak kesme ve demetlemenin, çeneli sürütücü ile sürütme ve rampa yerinde işlemekten daha maliyetli olduğunu. tomruklama prosesörünün, birleştirilmiş kesme ve işleme maliyetlerine göre daha az maliyetli olduğunu bulmuştur.

Bununla birlikte kullanılan üretim metoduna, operasyonun gerçekleştirildiği araziye, iklime, toprak tipine, uygulanan silvikültürel müdahaleye ve kullanılan sistemin karakterine bağlı olarak; üretim sistemlerinin toprakta, dikili ağaçlarda, genç bireylerde ve fidanlarda ve de yaban hayatı ile su kaynakları üzerinde çeşitli zararlar oluşturduğu erozyona neden olduğu belirlenmiş ve zararın şiddetinin kullanılan üretim sistemine bağlı olduğu bulunmuştur (Gellersted ve Dahlin, 1999; Rummer vd.,1999; Vidrine vd., 1999; Grace ve Carter, 2000; Balcı, 2000; Laffan vd., 2001; Rapp vd., 2001; Görçelioğlu, 2004).

Aynı zamanda, üretim sistemlerine bağlı olarak ergonomik açıdan işçi sağlığı ve iş güvenliği üzerinde de çeşitli etkiler oluşmaktadır (ILO, 2000; Acar ve Eker, 2002).

2.3.3.4. Analitik Hiyerarşi Sürecinin Uygulanması

Analitik Hiyerarşi Süreci yöntemi, karar alternatiflerine göre göreceli önem ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılmıştır. Öncelikle, ranking yöntemiyle amaçların önemlilikleri sıralanarak, tekil karşılaştırma ağırlıkları (değerleri) temsil edilmiştir.

AHP' ye göre, "n" adet kriterin göreceli öneminin belirlenmesi için A ile tanımlanan "n×n" ikili karşılaştırma matrisi oluşturulur. İkili karşılaştırma, "i" satırındaki (i=1,2,...n) kriterlerin "n" sütunuyla temsil edilen her kritere bağlı olarak derecelendirilmesiyle yapılır. "aij" A matrisinin (i,j) elemanını tanımladığında, AHP, 1 ile 9 arasında bir ölçek önerir. "aij = 1" , i ve j 'nin eşit önemde olduğunu; "aij=9", 'i' nin 'j' den kesinlikle çok önemli olduğunu göstermektedir (Taha, 2000). Bu çalışmada AHP şu şekilde kullanılmıştır:

1. AHP yöntemine göre öncelikle, hiyerarşi düzeyi belirlenmiş ve birinci düzeyde 5 kriter (ekonomi, teknik, ekoloji, sosyo-ekonomi, ergonomi) tanımlanmıştır. İkinci düzeyde ise 17 adet karar alternatifi sıralanmıştır. Kriterlerin oluşturulmasında makro düzeyli teknoloji seçim kriterleri (Engür, 1996), sistem analizi sonuçları ve maliyet bileşenleri ile kişisel

tecrübe ve sezgilerden yararlanılmıştır. Bu 5 kriter, hiyerarşinin ilk düzeyini oluşturmuş; karşılaştırmalar 17 kriter ile gerçekleştirilmiştir.

2. Belirlenen 17 kriterin birbirleri arasında karşılaştırmalarının yapılabilmesi için “Karşılaştırma Matrisi (A)” elde edilmiştir (Tablo 12). Karşılaştırma matrisinde ikili karşılaştırmalarda doğruluktan sapmamak için 1-9 ölçeği yerine aynı referans derecelerine sahip olan 1 – 5 arası ölçeğe dayalı referans değerleri kullanılmıştır. Bir kriterin diğerine üstünlüğü en fazla 5 kat olabileceği kararlaştırılmıştır. Bu matriste, her bir kriterin tekil karşılaştırması yapılmış ve aralarındaki önemlilik/üstünlük dereceleri belirlenmiştir (İşlem-I). Karşılaştırma matrisi 17×17 boyutunda “A” matrisi olarak tanımlandığında, a_{ij} hücrelerinin her birisi için bir değer elde edilmiştir .

3. Karşılaştırma (A) matrisinin her bir sütunu toplanmıştır. a_{ij} hücrelerinden her birisi, kendi sütun toplamına bölünmüştür (İşlem-II). Böylelikle A matrisinin normalizasyonu yapılmıştır. Bu işlemlerle Tablo 13 elde edilmiştir. Bu tabloda, sonradan her bir kriterin satırları kendi aralarında toplanmış ve eleman sayısına ($n = 17$) bölünmüştür. Böylelikle “Görelî Önemlilik Vektörü” elde edilmiştir.

4. Karşılaştırma matrisinin tutarlılığı denetlenmiştir. Bu amaçla (17×17) elemanlı ikili karşılaştırmalar matrisi ile (17×1) elemanlı görelî ağırlıklar (önemler) vektörü çarpılmıştır. Ortaya çıkan sütun vektörünün her bir hücresi; görelî önemler vektörünün satırına bölünmüştür. Sonra, bölünen her bir satır toplanmıştır (308,97). Toplanan satırlar da eleman sayısına (17) bölünmüştür (18,174). Bu değer, “Lmax “ olarak tanımlanır (Taha, 2000) ve özdeş sütunların alabileceği maksimum değeri ifade eder. Bu işlemin ardından, “tutarlılık göstergesi (CI)” belirlenmiştir. $CI = (Lmax - 1) / (n - 1)$ bağıntısı ile tutarlılık göstergesi hesaplanmış ve $CI = 0,073431$ bulunmuştur. Sonra, A matrisinin “tutarlılık oranı(CR)”nın bulunması için; $CR = CI/RI$ bağıntısı kullanılmıştır. RI; rasgele tutarlık indeksi’dir ve genelde statik tablolardan alınır. Burada, hesaplama yoluyla bulunmuştur. Hesaplama; $RI = [1,98 * (n - 2)] / n$ formülü kullanılmıştır ve $RI = 1,747$ bulunmuştur. Tutarlık oranı bağıntısında yerine konulduğunda $CR = 0,073431 / 1,747 = 0,0420$ bulunmuştur. $CR < 0,1$ olduğu için karşılaştırma matrisi tutarlı bulunmuştur.

Bu süreçte odun üretim sisteminde etkili olabilecek kriterlerin (göstergeler) önemlilik derecesi belirlendiğinden üretim sistemlerinin, bu kriterlere göre değerlendirilmesi gerekir.

Tablo 12. Analitik Hiyerarşi Sürecinde Karşılaştırma Matrisi (İşlem 1)

KRİTERLER	Sıra	Tekil karşılaştırma ağırlıkları																		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		
Operasyon Maliyeti	1	5	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	
Verimlilik	2	4	0,5	1	1	1	1	0,5	1	2	3	3	2	3	1	4	2	1	2	
Yatırım Gereksinimi	3	4	0,5	1	1	1	0,5	2	2	3	5	3	3	4	2	5	3	2	3	
Elde Edilebilirlik	4	4	0,5	1	1	1	0,5	2	2	3	4	3	3	2	4	3	5	3	2	
Kullanılabilirlik	5	5	1	2	2	2	2	1	2	3	5	3	4	2	4	3	4	3	2	
İş ve Ürün Kalitesi	6	4	0,5	1	0,5	0,5	0,5	1	3	4	2	0,5	1	3	0,5	3	2	2	2	
İklima Bağlılık	7	3	0,33	0,5	0,33	0,33	0,33	0,33	1	2	0,5	0,25	0,33	0,5	0,33	1	0,33	0,5	0,5	
Planlama gereksinimi	8	2	0,2	0,33	0,2	0,25	0,2	0,25	0,5	1	0,25	0,25	0,2	0,33	0,25	1	0,33	0,25	0,33	
Toprak Koruma	9	3	0,33	0,5	0,33	0,33	0,33	0,5	2	4	1	2	0,5	3	2	4	3	2	2	
Kalan meşcerenin Korunması	10	2	0,25	0,33	0,33	0,33	0,25	2	4	4	0,5	1	2	3	2	3	2	2	2	
Vejetasyonun Korunması	11	2	0,5	1	1	0,5	0,5	1	3	5	2	0,5	1	3	2	4	3	2	2	
Yaban Hayatının Korunması	12	2	0,25	0,33	0,25	0,25	0,33	2	3	0,33	0,33	1	0,5	2	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	
İşlendirme Kapasitesi	13	4	0,5	1	0,5	0,33	0,33	2	3	4	0,5	0,5	2	1	3	2	1	1	1	
Eğitim gereksinimi	14	1	0,2	0,25	0,2	0,2	0,25	0,33	1	1	0,25	0,33	0,25	0,5	0,33	1	0,33	0,25	0,25	
Yöresel Kalkınmaya katkı	15	3	0,33	0,5	0,33	0,33	0,33	0,5	3	3	0,33	0,5	0,33	3	0,5	3	1	2	1	
İşçi sağlığı ve iş güvenliği	16	4	0,5	1	0,5	0,5	0,33	0,5	2	4	0,5	0,5	0,5	3	1	4	0,5	1	2	
İşyükünün fiziksel&zihinsel etki	17	3	0,33	0,5	0,33	0,33	0,33	0,5	2	3	0,5	0,5	0,5	3	1	4	1	1	0,5	1

Tablo 13. Karşılaştırma matrisinin normalize edilmesi ve görelî önemler vektörünün elde edilmesi (İşlem-II)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	Görelî Önemler
1	0,130	0,140	0,169	0,179	0,132	0,110	0,074	0,083	0,132	0,166	0,130	0,090	0,089	0,089	0,101	0,084	0,109	2,007
2	0,065	0,070	0,085	0,089	0,066	0,055	0,049	0,050	0,088	0,124	0,065	0,068	0,045	0,071	0,067	0,042	0,073	1,172
3	0,065	0,070	0,085	0,089	0,066	0,110	0,074	0,083	0,132	0,124	0,065	0,090	0,089	0,089	0,101	0,084	0,109	1,526
4	0,065	0,070	0,085	0,089	0,066	0,110	0,074	0,067	0,132	0,124	0,130	0,090	0,134	0,089	0,101	0,084	0,109	1,619
5	0,130	0,140	0,169	0,179	0,132	0,110	0,074	0,083	0,132	0,166	0,130	0,090	0,134	0,071	0,101	0,126	0,073	2,039
6	0,065	0,070	0,042	0,045	0,066	0,055	0,074	0,067	0,088	0,021	0,065	0,068	0,022	0,054	0,067	0,084	0,073	1,025
7	0,043	0,035	0,028	0,030	0,043	0,018	0,025	0,033	0,022	0,010	0,021	0,011	0,015	0,018	0,011	0,021	0,018	0,403
8	0,026	0,023	0,017	0,022	0,026	0,014	0,012	0,017	0,011	0,010	0,013	0,007	0,011	0,018	0,011	0,010	0,012	0,262
9	0,043	0,035	0,028	0,030	0,043	0,027	0,049	0,067	0,044	0,083	0,032	0,068	0,089	0,071	0,101	0,084	0,073	0,967
10	0,032	0,023	0,028	0,030	0,033	0,110	0,099	0,067	0,022	0,041	0,130	0,068	0,089	0,054	0,067	0,084	0,073	1,048
11	0,065	0,070	0,085	0,045	0,066	0,055	0,074	0,083	0,088	0,021	0,065	0,068	0,089	0,071	0,101	0,084	0,073	1,202
12	0,032	0,023	0,021	0,022	0,033	0,018	0,049	0,050	0,015	0,014	0,021	0,023	0,022	0,036	0,011	0,014	0,012	0,417
13	0,065	0,070	0,042	0,030	0,043	0,110	0,074	0,067	0,022	0,021	0,032	0,045	0,045	0,054	0,067	0,042	0,036	0,865
14	0,026	0,018	0,017	0,018	0,033	0,018	0,025	0,017	0,011	0,014	0,016	0,011	0,015	0,018	0,011	0,010	0,009	0,286
15	0,043	0,035	0,028	0,030	0,043	0,027	0,074	0,050	0,015	0,021	0,021	0,068	0,022	0,054	0,034	0,084	0,036	0,684
16	0,065	0,070	0,042	0,045	0,043	0,027	0,049	0,067	0,022	0,021	0,032	0,068	0,045	0,071	0,017	0,042	0,073	0,800
17	0,043	0,035	0,028	0,030	0,066	0,027	0,049	0,050	0,022	0,021	0,032	0,068	0,045	0,071	0,034	0,021	0,036	0,678

2.3.3.5. Çok Kriterli Analizlere Göre Sistem Seçimi

Operasyonel planlamada konu edilen üretim bölmeleri için alternatif üretim sistemleri arasından; çevresel ve sosyal kriterler açısından da en uygun olanı seçebilmek amacıyla başlatılan nitel değerlendirme süreci, AHP ile sistem seçiminde etkili olan kriterlerin, göreceli önemlilik değerlerinin bulunmasından sonra üretim sistemlerinin her biri için yapılan çok kriterli analiz ile devam eder. Bu aşamada;

1. Alternatif kesme ve bölmeden çıkarma teknikleri arasından seçilen 10 adet üretim sistemi kombinasyonu, çok kriterli analizde ayrı ayrı değerlendirilmiş ve üretim sistemlerinin dizilimine “üretim sistemleri kümesi” adı verilerek ve S ile temsil edilmiştir.

$$S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\} \quad n = 10$$

2. Alternatif sistemlerin seçiminde hangi kriterlerin önemli olduğuna karar verilmiş ve kriterler hiyerarşik kategorilerine göre sıralanmıştır. Bu çalışmada sistem seçimi için 17 kriter kullanılmıştır. Buna, “kriterler kümesi” adı verilmiş ve K ile temsil edilmiştir.

$$K = \{k_1, k_2, \dots, k_m\} \quad m = 17$$

Her bir kriter için AHP yöntemi kullanılarak göreceli önemlilik değerleri belirlenmiştir. Yani, her bir “k” kriterinin, kriterler kümesi içindeki önemlilik değeri “k. faktörün ağırlığı” olarak nitelendirilmiş ve kriterler kümesi “fuzzy kümesi” olarak adlandırılmıştır (Lan, 2001 ve Lihai, 1994). Bu küme “R” ile temsil edilmiştir.

$$R = (r_1, r_2, \dots, r_m) \text{ olmak üzere; tüm kriterler için } \sum_{k=1}^m r_k = 1 \quad m = (1, 2, \dots, 17) \quad (21)$$

3. Üretim sistemleri kümesi (S; (10x1)) ile değerlendirme kriterleri (R; (1x17)) satır ve sütun olarak bir araya getirilerek; üretim tekniklerinin her bir kritere göre alacağı puan belirlenmiştir. Her bir tekniğin her bir kriter karşısında, diğerinden ne kadar üstün olduğuna bakılarak kritere göre en uygun olanına en yüksek puan atanmıştır. Bu matrisin her bir hücrendeki değer ; s. sistemin k. kritere göre alacağı puanı ifade eder. Bu matrisle “değerlendirme matrisi” adı verilir ve “D” ile simgelemiştir (Tablo 14).

$$D = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{1m} \\ d_{n1} & d_{nm} \end{bmatrix} \quad m = \text{“k” kriterlerinin sayısı ve } n = \text{“s” sistemlerinin sayısı olmak}$$

üzere 10x17 boyutunda bir matris elde edilmiştir. Örneğin 2. üretim sisteminin 3. kritere göre alacağı indeks değeri (d_{23}) = 8 ‘ dir. Kısaca; d_{sk} nin anlamı = s. sistemin k. kritere göre değeri şeklindedir.

Tablo 14. Çoklu kriterlere göre üretim sistemlerinin derecelendirilmesi

	Maliyeti	Verimlilik	Yatırım	Elde Edilebilirlik	Kullanılabilirlik	Kayıplar	İklimle bağımlılık	Planlama	Toprak	Meşcere zararları	Vejetasyon	Yaban Hayatı	İşlendirme	Eğitim	Kalkınmaya katkı	İşçi ve iş sağlığı	İş yükü
Mot+Mot+Man	8	5	9	9	9	3	7	5	3	3	3	4	9	9	9	1	3
Mot+Mot+Mot	9	7	8	7	8	5	5	4	3	3	3	3	7	6	7	2	5
Harvester	1	9	1	1	4	1	2	3	5	5	1	1	2	1	2	7	8
Mamul	3	1	9	9	9	1	7	9	3	2	4	6	9	9	9	1	1
Hayvancü	8	2	7	8	7	3	6	7	5	3	7	5	7	7	8	3	2
Tarım Traktör	6	4	5	6	5	3	4	5	2	3	3	2	5	5	4	5	4
Orm. Traktör	6	5	6	4	6	4	4	5	1	2	2	1	4	5	3	6	5
Hava Hattı	9	8	4	4	8	7	5	6	8	7	9	3	3	7	3	7	6
Oluk Sistemi	5	6	6	5	7	7	6	5	8	7	9	6	5	6	5	8	5
Forwarder	1	9	2	1	4	8	2	3	4	5	5	2	2	1	2	7	8

4. Elde edilen “D” değerlendirme matrisi (10x17 boyutundaki) ile “R” göreceli önemler vektörü (17x1 boyutundaki) çarpılarak her bir kritere göre her sistemin ağırlıklı değeri hesaplanmıştır. İşlem sonucunda, “skor“ değeri adı altında, her bir sistemin, tüm kriterlerin önemlilik dereceleri dikkate alınarak hesaplanmış haldeki katsayısı (değeri=puanı) elde edilmiştir. Sonuçta,

$$[P = D * R] = \begin{bmatrix} d_{11} & \dots & d_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{n1} & \dots & d_{nm} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ \vdots \\ 17 \end{bmatrix} \quad n = (1,2,\dots,10) \quad m = (1,2,\dots,17) \quad (22)$$

Şeklindeki matris ile;

$$SKOR_n = \sum_{k=1}^m r_k * d_{sk} \quad (k=1\dots m) \quad (s= 1\dots n) \quad (23)$$

bağıntısı çerçevesinde her bir “s” sistemi için skor değeri hesaplanmıştır. İşlemler sonucunda ((10x17)*(17x1) =) “10x1” boyutlu sonuç vektörü elde edilmiştir ve skor değeri olarak adlandırılmıştır. Matematiksel işlemler MS Excel programının matematiksel işlemler fonksiyonu kullanılarak çözümlenmiştir.

2.3.3.6. Çevresel ve Sosyal (Kurumsal) Maliyet Katsayılarının Belirlenmesi

OP modelinin amaç fonksiyonu; maliyet minimizasyonu olup karar değişkenlerinin katsayıları para birimi (\$/m³) ile ifade edilecektir. Bu bakımdan, çok kriterli analizlerle elde edilen nitel değerlendirme sonuçlarının her üretim sisteminin maliyeti üzerindeki etkisi, skor değerleri kullanılarak ortaya konulmuştur. Skor değerlerinin (üretim sistemlerinin 17 kriterli analize göre elde edilen göreceli önemler vektörü), kullanılarak üretim maliyetleri ile işleme sokulması sonucunda elde edilen değere “çevresel ve sosyal maliyetlerin etki katsayısı” adı verilmiştir ve aşağıdaki yöntemle göre ortaya çıkarılmıştır:

1. Öncelikle her bir üretim sistemine ait skor değerleri bulunmuştur. Ardından, “D” değerlendirme matrisinde her bir “d_{sk}” hücresinin en yüksek değer (9) alması halinde ortaya çıkacak skor değerleri belirlenmiştir. Her bir üretim sistemine ait skor değerinin optimal skor değerinden yaptığı sapmalar “sapma değeri” adı altında bir sütunda toplanmıştır. Sapma değeri, aynı zamanda bir ceza katsayısı olarak da nitelendirilebilir.

2. Eğer tüm kriterler eşit ağırlık derecesine sahip olsaydı ve 17 adet kriter karşısında üretim sistemlerinin tercih edilebilirliği en yüksek ve eşit derecede olsaydı; üretim sisteminin seçiminde 17 kriterin bileşke vektörünün değeri “1” olurdu. Buna göre, aşağıdaki 24 nolu bağıntı kullanılarak “Etki katsayısı (Etki indeks değeri) (ÇEK)” sütunu elde edilmiştir.

$$\text{Etki Katsayısı} = (\text{Sistemin skor yada sapma değeri}) / (\text{Maksimum toplam değer}(9)) \quad (24)$$

3. Çevresel ve kurumsal kriterlerden kaynaklanan etkinin her bir üretim sisteminin maliyeti üzerindeki payına “Çevresel/ kurumsal Etki Maliyeti (ÇEM)” adı verilmiştir. ÇEM, Lan (2001) tarafından kullanılan yöntemle benzer biçimde aşağıdaki bağıntıya göre, hesaplanmıştır.

$$\text{ÇEM} = \text{ÇEK} * \text{UM} \quad (25)$$

ÇEM = Çevresel ve Kurumsal kriterlerden kaynaklanan etki maliyeti (\$)

ÇEK = Çevresel ve Kurumsal/Sosyal Etki Katsayısı (indeksi değeri)

UM = Üretim maliyeti (\$/m³)

4. Çevresel ve kurumsal etki maliyetlerinin eklenmesiyle, her bir sisteme ilişkin operasyon maliyetlerinin miktarı da değişmiştir. Bu durumda bir üretim sistemine ilişkin operasyonel maliyet aşağıdaki 26 nolu bağıntıya göre hesaplanmıştır.

$$\text{Operasyon Maliyeti} = \text{Sistemin Üretim Maliyeti} + \text{ÇEM} \quad (26)$$

Örneğin, 1 m³ Kızılçam tomruğunun manuel yöntemle sürütülmesi için harcanan maliyet (47 nolu bölmede) 5,16 \$/m³ iken; ÇEK=> 5,16* 0,409 = 2,11 \$/m³ olarak hesaplanmış ve manuel sistemin operasyon maliyetinin (5,16 + 2,11 =) 7,27 \$/m³ olduğu belirlenmiştir.

Ancak, çevresel ve kurumsal etki maliyeti, teorikte maliyet içinde görülmesine rağmen, fiili olarak bu tip bir maliyete katlanılmamaktadır. Bu, yalnızca sistem seçiminde değerlendirme ölçüsü olarak kullanılmıştır. Böylece, analitik yöntemlerle en ekonomik (maliyetleri minimize eden) üretim sistemi aranırken, aynı zamanda ekolojik, sosyo-ekonomik önceliklere de dikkat edilmesi sağlanabilmektedir. Matematiksel model içinde çevresel ve kurumsal değişkenlerin maliyetleri doğrudan temsil edilebilmiştir.

2.3.3.7. Periyot Etki Katsayısı ve Maliyetlerdeki Değişimin Belirlenmesi

Operasyon planlama modelinde planlama süresi 1 yıl olmasına rağmen, iklim ve mevsimlerin odun üretim operasyonları üzerindeki doğrudan ve dolaylı etkilerinden dolayı, planlama yılı 4 periyoda ayrılmıştır (Tablo 15). Periyotların oluşturulmasında; iklim, silvikültürel işlemler ve vejetasyon dönemi, yöresel işgücü temini, işletmelerin nakit para gereksinimi, piyasa taleplerini temsil eden depo kapasitesi dikkate alınmıştır

Tablo 15. Planlama yılında periyot uzunlukları ve kapsamı

Periyotlar	KAPSAM		
	Aylar	Periyot Uzunluğu	Çalışma Süresi
I. Periyot	Nisan+Mayıs+15 Haziran	48 gün	7 saat/gün
II. Periyot	15 Haziran+Temmuz+15 Ağustos	48 gün	8 saat/gün
III. Periyot	15 Ağustos+Eylül+15 Ekim	48 gün	7 saat/gün
IV. Periyot	15 Ekim+Kasım+Aralık+Ocak	48 gün	6 saat/gün

Periyotların, odun üretim maliyetleri üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla çok kriterli analizler bölümündeki yaklaşım izlenerek elde edilen katsayılara “Periyot Etki Katsayısı (PEK)” adı verilmiştir. Operasyonel planlamanın temel sorularından biri olan

“odun üretimi ne zaman yapılmalı?” sorusu bu aşamanın sonunda elde edilen katsayının etkisine göre belirlenmiştir. Odun üretim etkinliklerinin hangi periyotta yürütülmesi gerektiğini tespit edebilmek için periyotların üzerinde etkili olduğu düşünülen bazı kriterler sıralanmıştır. Bunlar, daha önce çok kriterli analizlerde kullanılan kriterlerdendir. Bu kriterlere göre hangi periyodun odun üretimi açısından uygun olduğunu temsil edebilmek için de AHP ile ranking yöntemlerinin birleştirilmesiyle elde edilen çok kriterli analizlerden yararlanılmıştır.

Operasyon yılı boyunca odun üretiminin yapılacağı bölme, üretim maliyetleri, meşcereye, vejetasyona ve toprağa verilen zarar, verimlilik vb. bir çok gösterge periyotlara (sezon) göre farklılık gösterebilir. Örneğin; kış sezonunda odun üretim daha yüksek maliyetlerle gerçekleşmektedir. İlkbahar ve yazın işgücü temin etmek daha zordur. İlkbaharda meşcereye verilen zararlar diğer sezonlardan daha fazla olabilir.

Periyot farklılıkları; teknik, ekonomik, ekolojik ve sosyo-ekonomik kriterlere (1. hiyerarşi) göre sınanmıştır. Bu temel kriterlerin göstergesi olarak (2. hiyerarşi) aşağıdaki alt kriterler kullanılmıştır:

1. Ulaşılabilirlik: Bölmeler ve bölme içine yol ve arazi koşulları açısından erişilebilirliği ifade eder. Aylara göre yapılan; yağmur, kar, don ve sisli günlerin sayısı bu kriterin belirlenmesinde etkili olmuştur. Her ay için iklim verilerine göre yapılan tablo (Tablo 16), karar desteği sağlamıştır.
2. Çalışılabilirlik: Orman içinde iklim koşullarına bağlı olarak çalışabilmeyi ifade eder. Örneğin, kışın motorlu testerenin kavrama elemanları çok soğuk ve çalışma zemini kaygan olabilir. Yaz sezonundaki aşırı sıcaklık ve nem, insan gücüyle çalışmayı engelleyebilir.

Ulaşılabilirlik ve çalışılabilirlik gibi doğrudan iklim elemanlarına bağlı periyot farklılığı değerlendirmeleri için Tablo 16’ dan yararlanılmıştır. (Utku, 1990; Kantarcı, 1991). Periyotların kapsamına giren ayların iklim eleman değerleri toplanarak her bir periyodun ortalaması bulunmuş; 1 ile 4 arası değerlendirme derecesi değerleri ile uygun olan periyoda en yüksek (4) puan verilerek iklim elemanları açısından periyot uygunluk değeri elde edilmiştir.

3. İşletmenin para gereksinimi: İşletmenin kendi kazançlarına (döner sermaye) olan gereksinimidir. Orman İşletmeleri, aylara göre döner sermayelerini işletmek için paraya eşit ihtiyaç duyabilirler. Ancak, çoğu faaliyet için ilkbahar ve yaz ayları ile

sonbahar aylarında (modelde konu edinilen işletmede) para ihtiyaçlarının çeşitlilik gösterdiği söylenebilir.

4. İşgücü temini: Odun üretim operasyonlarının gerçekleştirilebilmesi için kullanılacak yeter sayıda insan işgücünün teminidir. Yörede işgücünün temin edildiği köylülerin meyve, sebze ve tahıl üretimi gibi başkaca işlerle uğraşıyor olması, ilkbahar ve yaz aylarında işgücü teminini zorlaştırabilir.

Tablo 16. İklim elemanlarına göre periyot uygunluk* değerleri

İklim Elemanları	I. PERİYOT	II. PERİYOT	III.PERİYOT	IV. PERİYOT
Yağış(gün)	2	4	3	1
Sıcaklık	2	4	4	1
Sıcaklık ≥ 25 C olduğu gün sayısı	2	3	4	1
Donlu günler sayısı	1	4	4	2
Donlu gün olma ihtimali	1	4	4	2
Nisbi nem(%)	2	4	3	1
Bulutlu gün sayısı	1	3	4	2
Kapalı günle sayısı	2	4	3	1
Yağışlı günler sayısı (Yağış $\geq 0,1$ mm)	2	3	4	1
Kar yağışlı günler sayısı	2	4	3	1
Karla örtülü günler sayısı (0,5 cm $<$)	2	4	3	1
Sisli günler sayısı	1	4	4	2
Dolulu günler sayısı	1	4	4	2
Kuvvetli rüzgarlı gün sayısı	2	3	4	1
Ortalama toprak sıcaklığı (20 cm)	2	4	4	1
UYGUNLUK DEĞERİ	0,160	0,359	0,353	0,128

* 1 = Kötü; 2 = Orta; 3 = İyi; 4 = Çok iyi

5. Toprak zararları: Periyotlara göre, odun üretim operasyonlarının toprakta oluşturduğu zararları ifade eder. Üretim operasyonlarının yapılacağı arazide toprak karakteristiklerine bağlı olarak; toprağa verilen zararlar yağmur, kar ve don ile nemlilik etmenlerine bağlı olarak sezonlara göre farklı şiddette olabilirler.
6. Operasyon maliyeti: Odun üretim maliyetlerinin sezonlara göre değişimini ifade eder. Üretim operasyonlarının maliyetleri, kış aylarında çalışabilme güçlüğünden kaynaklanan bir zamdan dolayı daha yüksektir. Çalışma verimliliği ve orman içine girilebilirlik kış aylarında düştüğü için dolaylı bir maliyet artması da söz olur.
7. Operasyon verimliliği: Odun üretiminin etkililiğinin ölçüsüdür. İklim elemanları hem işçiyi hem de çalışma zeminini etkilediğinden özellikle yaz aylarında sıcaklık ve nem insan gücünün verimini düşürür (FAO, 1977). Buna bağlı olarak diğer sezonlara karşın, birim zamandaki üretkenliğin oranı düşebilir. Öte yandan yaz

aylarında günlerin uzunluğu; kış aylarında ise günlerin kısalığı günlük verimi etkileyebilir.

8. İş güvenliği ve işçi sağlığı: İklim elemanları iş çevresini etkilediğinden mesleki kaza riskleri açısından iş güvenliği ve işçi sağlığı etki altındadır. Yağmurlu mevsimler olan ilkbahar ve kış aylarında riskler daha fazladır. Zihinsel gerilim fazlaca artar. Yazları ise aynı etkiyi sıcaklık ve nem oluşturabilir.
9. Gençlik ve dikili ağaçlardaki zararlar: Odun üretim operasyonlarının gençlik ve dikili ağaçlar üzerindeki zararları ifade edilir. Örneğin, vejetasyon dönemine rastlayan üretim operasyonlarında verilen zararın şiddeti yaz sezonundan fazla olabilir. Sonbaharda ise çimlenme zamanının aşılması durumunda fidanlara verilen zararın şiddeti artabilir.
10. Ürün kayıpları: Sezonlara bağlı olarak, ürünlerde meydana gelen böcek ve mantar zararları ile, operasyonu güçleştirici etmenlerin ürün üzerindeki zararları ifade edilir. Kışın yapılan kesimlerde böcek ve mantar zararı azalacağından kalite kaybı olmayabilir. Karla örtülü zeminlerde kaydırma yöntemiyle bölmeden çıkarma daha kolay olabilir (Acar, 1994).
11. Hammadde talebi: Sezonlara bağlı olarak odun hammaddesinin piyasa taleplerini ve depoların stok düzeylerini ifade eder. Kereste tüccarlarının sonbahar ve kış aylarında üretilen tomrukları satın almayı tercih etmesi gibi.
12. Silvikültür uygulamaları: Silvikültürel işlemlerin sezonlarla olan bağlantısını ifade eder. Örneğin, bakım kesimlerine nisan ayından sonra; tıraşlama kesimlerine haziran ayından sonra başlanması, periyotların operasyon zamanı üzerindeki etkisini göstermektedir.

Periyotların; odun üretim operasyonları üzerindeki etkisini temsil edebilmek için aşağıdaki adımlar izlenerek “periyodik etki katsayı (PEK)” elde edilmiştir:

- Kriterler belirlendikten sonra AHP yöntemine göre, kriterlerin kendi aralarındaki önemlilik düzeylerini bulabilmek için ikili karşılaştırmalar matrisi üretilmiştir. Burada 12 kriter kullanıldığı için 12x12 boyutlu bir matris elde edilmiştir (Tablo 17).
- Karşılaştırma matrisinde göreceli önemler vektörü bulunduktan sonra; tutarlılık denetimi yapılmıştır. Çevresel ve kurumsal etki değerlendirmesi yönteminde belirtilen iş sırasıyla; L_{max} (özdeş sütunlar toplamının maksimum değeri) = 13,78154; CI (tutarlılık göstergesi) = 0,1619; RI (Rastgele tutarlılık indeksi) = 1,65

ve CR (Tutarlılık oranı) = 0,098 bulunmuş ve $CR < 0,10$ olduğu için işlemler tutarlı bulunarak bir sonraki adıma geçilmiştir.

Tablo 17. Periyodik değerlendirme kriterlerinin karşılaştırma matrisi

Kriterler	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Göreceli Önemler
1	1	2	5	3	4	2	3	5	5	4	4	1	0,18
2	0,50	1	3	2	3	2	3	4	4	3	4	1	0,14
3	0,2	0,33	1	0,33	5	0,2	0,5	5	6	4	3	1	0,08
4	0,33	0,5	3	1	5	0,5	5	6	7	5	3	2	0,13
5	0,25	0,33	0,2	0,2	1	0,3	0,33	0,5	1	0,5	0,33	0,5	0,03
6	0,5	0,5	5	2	4	1	3	5	7	4	3	2	0,14
7	0,33	0,33	2	0,2	3	0,3	1	3	5	4	0,5	0,2	0,06
8	0,2	0,25	0,2	0,16	2	0,2	0,33	1	3	5	3	0,2	0,05
9	0,2	0,25	0,16	0,14	1	0,1	0,2	0,33	1	0,5	0,33	0,2	0,02
10	0,25	0,33	0,25	0,2	2	0,3	0,25	0,2	2	1	0,5	0,2	0,03
11	0,25	0,25	0,33	0,33	3	0,3	2	0,33	3	2	1	0,5	0,05
12	1	1	1	0,5	2	0,5	5	5	5	5	2	1	0,12

- Periyotlar için 4 karar seçeneği bulunmaktadır. Yani 4 periyottan her birisi karar seçeneği olarak kabul edilmiş ve değerlendirme kriterleri ile çaprazlanmıştır. Bu çaprazlama ile “4x12” boyutunda bir matris elde edilmiştir. Matrisin her bir hücresi 1 ile 9 arasındaki referans değerleri ile derecelendirilmiştir. Kriterlerden her birine göre en uygun olan periyoda en yüksek puan (9) atanmıştır. Bir önceki adımda elde edilen “12x1” boyutlu göreceli ağırlıklar vektörü ile “4x12” boyutlu matris çarpılarak; skor sayıları ve ardından göreceli önemler vektörü (ağırlıklandırma katsayıları) elde edilmiştir (Tablo 18).

Tablo 18. Kriterlere göre periyotların göreceli önemlilikleri

KRİTERLER	Ulaşılabilirlik	Çalışılabilirlik	İşgücü Temini	Para Gereksinimi	Toprak Zararı	Operasyon Maliyeti	Verimlilik	İşçi ve İş Güvenliği	Meşçere Zararları	Ürün Zararları	Hammadde Talebi	Silvikültür	Göreceli Önemler (Ağırlık Katsayısı)
I. Periyot	3	5	3	8	3	6	5	6	1	3	7	1	0,519
II. Periyot	9	7	5	9	5	8	7	7	5	5	9	3	0,815
III. Periyot	7	9	7	7	7	8	9	9	7	7	5	7	0,866
IV. Periyot	5	4	9	6	4	5	6	5	9	9	5	9	0,690

- Her bir periyodun, kriterlere göre üstünlüğü yani önemliliği/ağırlığı bulunduğundan sonra her bir üretim sisteminin (kesme ve bölmeden çıkarma tekniklerine göre) periyotlara göre davranışları derecelendirilmiştir. Yani, her bir sistem için en uygun olan periyot hangisidir? Sorusuna karşılık gelen cevaba göre, en uygun olan periyoda en yüksek değer (9) atanmıştır. Her bir sistem ve her bir periyot için yapılan karşılaştırma sonucunda elde edilen puanlar (Tablo 19); Tablo 18’deki göreceli önem katsayıları ile çarpılmıştır. Bu durumda üretim sistemlerinin her biri için en uygun olan periyotlar belirginleşmiştir. Ancak, bu süreçte aranan ve sistem seçiminde maliyetlere yansıtılacak olan özellik; periyotların sistemler üzerindeki etkileridir. Yani her hangi bir üretim tekniğinin, her hangi bir periyotta kullanılması sonucu en uygunluk değeri olan 9’ dan uzaklaşması/sapması; periyodun üretim sistemi üzerindeki etkisini ifade eder. Bu etkiyi temsil eden katsayıya da “periyodik etki katsayısı (PEK)” adı verilmiştir.

Tablo 19. Üretim sistemlerinin periyotlara göre puanları

Sistem adı	I. Periyot	II. Periyot	III. Periyot	IV. Periyot
MotorManuel	5	9	7	3
MotorMotor	3	9	7	2
Harvester	2	7	6	3
Manuel	4	6	9	7
Hayvan	4	5	8	4
Tartrak	3	7	9	3
Ortrak	3	7	9	4
Hava hatt	5	9	8	5
Oluk	7	9	9	7
Forwarder	2	9	9	3

- Üretim sistemlerinin seçiminde kullanılmak üzere elde edilen bu katsayılar, çevresel ve kurumsal maliyet katsayıları ile birlikte üretim maliyetlerine eklenmiştir. Yani, “PEK” değerleri, her bir hücrenin karşılık geldiği sistemin üretim maliyeti değeri ile çarpılmıştır ve “Periyodik Etki Maliyeti (PEM)” elde edilmiştir. Böylece, çok kriterli analiz süreci sonucundaki periyot katsayılarına göre, maliyetlerin değişimi elde edilmiştir. Üretim operasyonlarındaki alternatif üretim tekniklerinin her biri için üretilen katsayılar, üretim sistemleri kombinasyonundan önce ilgili tekniğin maliyetine ilave edilmiştir

$$PEM = PEK * UM \quad (27)$$

PEM = Periyotlardan kaynaklanan etki maliyeti (\$)

PEK = Periyodik Etki katsayısı (indeksi değeri)

UM = Üretim maliyeti (\$/m³)

- Kesme ve bölmeden çıkarma teknikleri üzerinde etkili olan kriterlerin, etki derecesini belirlemeye yönelik olarak yapılan bu işlemlerin tümü, taşıma tekniği için de düşünülmüş; ancak OP modelinde taşıma tekniği için karayolunda ve kamyonla taşıma dışında bir alternatif sunulmadığından yalnızca periyotların etki katsayıları belirlenmiştir.

2.4. Operasyonel Karar Modelinin Oluşturulması

OP modelinde, alternatif üretim sistemleri arasından en uygununun seçilmesi ve bu seçim aracılığıyla hangi bölmede hangi üretim metodu ve sisteminin ne zaman uygulanacağını; ürünlerin hangi yoldan hangi depoya taşınacağını bulması ve buna bağlı olarak kaynak tahsisi gibi diğer problemler; planlama problemi olarak tanımlanmıştır. Bu karar verme probleminin yöneylem araştırması teknikleri ile çözümlenebilmesi için matematiksel programlama yöntemleri (LP ve MIP) çözüm stratejileri kullanılmıştır.

Problemin modellenmesinde, benzer problemler için YA metodolojisindeki genel modelleme yöntemi (Dykstra, 1984; Burger ve Jamnick, 1991; Oborn, 1996; Rardin, 2000, Taha, 2000) çerçevesinde, Davis vd. (2001), tarafından belirtilen adımlar izlenmiştir. Bunlar; karar vericinin tanımlanması, probleme konu olan orman yada planlama etkinliği için amaçların belirlenmesi, ölçülebilen amaçlara erişmek için kriterlerin, etkinliklerin ve karar değişkenlerinin tanımlanması, amaç fonksiyonunun kesinleştirilmesi, birden çok amaç olması koşulunda, hangisinin amaç fonksiyonu, hangisinin kısıtlayıcı olacağını belirlenmesi, kaynak, amaç ve politikaların belirginleştirilmesi, en iyi amaca erişmek için aktivitelerin miktarını temsil eden karar değişkenlerinin düzeyini bulabilmek için kullanılacak çözüm tekniklerinin belirlenmesidir.

Operasyonel planlama problemi; ormancılıkla ilgili uzun ve orta dönemli hedefleri gözetirken kısa dönemde piyasa kısıtlarını karşılayabilen; fiziksel olarak yapılabilir, ekonomik olarak uygulanabilir ve çevresel olarak kabul edilebilir bir odun üretim planlama modelinin geliştirilebilmesi üzerine kurulmuştur. Matematiksel modelleme, operasyonel

kararların alınması ve odun üretim sisteminin seçimine yönelik sorunların bileşimi üzerinde odaklanmıştır. Bunlardan bazıları;

- OP yılında üretilmesi, üst planlama aşamasında kararlaştırılmış bölmelerden hangisi yada hangilerinin planlamanın hangi periyodunda üretilceğinin belirlenmesi
- Her bir periyotta üretilcek odun hammaddesi miktarı
- Her bir periyotta hangi bölmede hangi üretim metodunun kullanılacağı
- Her bir bölmede, herhangi bir periyotta, herhangi bir üretim metoduyla yapılacak üretim etkinliğinde, hangi üretim sisteminin kullanılacağına kararlaştırılması
- Sürütme/bölmeden çıkarma maliyetlerinin hesaplanması açısından rampa/istif yerlerinin nerede olması gerektiğinin belirlenmesi
- Her bir üretim sistemi ile ne kadar odun hammaddesinin üretilceğinin belirlenmesi
- Hangi bölmenin hangi ulaşılabilir orman yolu ile üretime açılabilirliğinin belirlenmesi
- Herhangi bir periyotta muhtemel depolardan birine taşınan odun hammaddesinin miktarı
- Planlamaya konu orman alanında üretim etkinliklerini yürütebilecek insan, hayvan ve makine işgücü miktarının belirlenmesi
- Her bir bölmenin üretim maliyetlerinin belirlenmesi
- Her bir bölmenin üretilmesi sırasında tercih edilen üretim sistemine göre, üretim etkinliklerinden kaynaklanan ürün kayıplarının belirlenebilmesi
- Odun üretim maliyetlerinin belirlenmesi yanında, çevresel ve kurumsal değerlerin gözetilebilmesi, olarak sıralanabilir.

2.4.1. Matematiksel Formülasyon

Matematiksel formülasyon, matematiksel modellemenin özünü oluşturur ve bu aşamada gerçek (aktüel) problemi oluşturan elemanlar, sınırları ile birlikte tanımlandıktan sonra sayısal değerlerle ifade edilmiştir .

Matematiksel modelde kullanılacak temel parametreler;

- I. Odun üretimi yapılacak her bir bölmenin izin verilen yıllık üretim miktarı (ara ve/veya son hasılat etası),

- II. Her bir bölmede, her hangi bir üretim yöntemi ile elde edilen ürün miktarı,
- III. Her bir depoda belirli bir periyotta odun hammaddesine olan ihtiyacın minimum ve maksimum miktarı (Piyasanın isteğine, stok düzeyine, depolama kapasitesine vb bağlıdır. Depo kapasitesinin üst sınırını yıllık eta; alt sınırını ise, muhtemel ürün kayıplarından sonra transport edilebilecek miktar oluşturur),
- IV. Her bir bölmede; kesme ve bölmeden çıkarma operasyonlarının periyotlara, üretim metoduna ve üretim sistemlerine göre ortalama birim maliyeti,
- V. Her bir depoya her bir bölmeden taşınan odun hammaddesinin; periyotlara, üretim metoduna ve tercih edilecek yolun rotasına göre taşıma (yükleme ve boşaltma dahil) maliyeti,
- VI. Her bir üretim sisteminin üretim kapasitesi: Alternatif üretim sistemlerinden herhangi birinin - 1 m³ odun hammaddesinin elde edilebilmesi için - verimi),
- VII. Her bir üretim sisteminin kullanılması durumunda ortaya çıkan ürün kayıp miktarı,
- VIII. Planlama yılının her bir periyodunun çalışılabilir zamanının uzunluğu (periyot uzunluğu),
- IX. Planlama alanında kullanılabilir işgücü (insan, hayvan, makine) kapasitesinin miktarı.

Modelde yer alan karar değişkenleri;

- Her bir bölmede herhangi bir periyotta herhangi bir üretim metodu ve herhangi bir üretim sistemiyle üretilen odun hammaddesi miktarı (m³),
- Her bir bölmeden herhangi bir periyotta herhangi bir üretim metodu ile üretilen ve herhangi bir yükleme yöntemi ile herhangi bir yol rotası üzerinden herhangi bir depoya taşınan odun hammaddesi miktarı (m³), olarak kararlaştırılmıştır.

Matematiksel formülasyonu yapılan karar verme probleminin boyutunu etkileyen indis değerleri ise aşağıda belirtilmiştir:

- Planlama yılı uzunluğu (Operasyonel planlama yılı uzunluğudur bu çalışmada 1 yıl olarak kararlaştırılmıştır).
- Periyot sayısı (Mevsimler, orman köylülerinin çalışabildiği gün sayısı, iklim etkisi, günlük aydınlanma süresi, vejetasyon zamanına bağlı olarak silvikültürel kararlar, vb. nedenlerden dolayı plan yılının bölüdüğü sezonları ifade eder).

- Üretim bloklarının/bölmelerin sayısı (OP yılı boyunca ara ve son hasılat alınması planlanan bölmelerin sayısıdır).
- Üretim sistemlerinin sayısı (Planlama alanındaki halihazırda kullanılmakta olan ve alternatif olarak kullanılabilir olan üretim sistemlerinin sayısıdır).
- Üretim yöntemlerinin sayısı/ürün tiplerinin çeşit sayısı (OP alanında kullanılan üretim yöntemleri veya ürün çeşitlerinin sayısıdır. Örneğin; tomruk veya bütün gövde yöntemi gibi).
- Rampa yerlerinin sayısı (Her bir bölmedeki muhtemel rampa yerlerinin sayısıdır).
- Depoların sayısı (Yörede, ürünlerin taşınabildiği depoların tümünün sayısıdır).
- Bölme-depo bağlantısını sağlayan “rota” (yol bağlantısı) sayısı (Her bölmeden her bir depoya farklı orman yollarının kullanılarak gidilmesi halinde, alternatif yol bağlantılarının sayısını temsil eder).

Problem, içeriği ve sınırları ile birlikte tanımlandıktan sonra amaç fonksiyonun denklemi oluşturulmuştur. Operasyonel planlama amaçları önceki bölümlerde ve tez metni içinde değinilmesine rağmen matematiksel model için amaç fonksiyonun belirlenmesinde şu yöntemler izlenmiştir:

- Hiyerarşik planlama yaklaşımına göre stratejik (ulusal bazda ormancılık ana planı, kalkınma planları) ormancılık amaçları ve taktiksel (amenajman ve silvikültür) amaçlar dikkate alınmıştır,
- Operasyonel planlama düzeyinde ilgilenilen etkinlik tanımlanmıştır Bu etkinlikten beklenenler belirlenmiştir (Odun üretim süreci sonunda pahalı ya da ucuz - az ya da çok miktarda odun hammaddesinin elde edilmesi; odun üretiminin DOI' ye toplamda en az maliyetle mal olması; birim odun hammaddesi başına ortalama toplam giderin en az olması; üretimin piyasa taleplerini karşılayacak miktarda olması; üretim operasyonları sırasında kalite ve miktar kaybı olmaması; operasyonların her bir aşamasında çevre zararlarının en az olması; bu operasyonlardan yarar bekleyenlerin, yararlanma oranlarının en çok olması; üretim operasyonlarının tüm zorluğuna rağmen bu etkinliklerde çalışanların en az iş yüküne maruz kalmaları, vb.)
- Bu etkinliği sınırlandıran faktörler tanımlanmıştır (Topoğrafya, iklim, meşcerenin verim gücü (eta), sıklığı, kapalılığı vb topoğrafik ve teknik faktörler ile ekonomik, çevresel ve sosyo-ekonomik faktörler)

Bu yordam sonucunda, DOİ amaçları ve odun üretim operasyonlarından beklenenler doğrultusunda operasyonel planlamada amaç fonksiyonu; “birim miktardaki odun hammaddesi üretimi başına düşen üretim maliyetlerinin en aza indirilmesi (minimizasyonu)” olarak kabul edilmiştir. Amaç fonksiyonunun kriteri ise; 1 yıllık operasyonel planlama yörüngesinde, üretimi kararlaştırılan toplam üretim miktarı ile bu ürün miktarının elde edilebilmesi için katlanılan toplam maliyetin oranlanması sonucunda ortaya çıkan birim maliyet değerinin minimizasyonudur. Bu,

$$\Rightarrow (\text{Toplam Üretim Maliyeti}) / (\text{Toplam Üretim Miktarı}) = TL/m^3 \quad (28)$$

bağıntısına göre; “1 m³ odun hammaddesi üretmek için katlanılan ortalama toplam maliyetin minimizasyonu” olarak tarif edilebilir.

Bu denklemde (28), operasyonel planlama yılı yada birim zamanında üretim miktarı ne kadar artarsa üretim maliyeti de artacak ve eşitlik bozulmayacaktır. Ancak, bu denklemin sonucunun minimum olması amaçlandığından payı küçültmek gereklidir. Paydanın, yıllık etanın alınması zorunluluğundan dolayı sabit kalacağı kabul edilmiştir. Bu bakımdan, eğer pay küçülürse payda sabit kalsa bile, bu denklemde minimizasyonun sağlanabileceği ortaya çıkmaktadır. Bu da ortalama birim ürün miktarı başına (m³) üretim maliyetlerinin (TL veya \$) düşürülmesi anlamındadır. Böylelikle, bu yargıyla birlikte (28) no’lu denklemin doğrusal bir denklem olduğu da belirginleştirilmiştir.

Matematiksel modellemede amaç fonksiyonun formülasyonu için üretim ve taşıma karar değişkenleri olarak iki farklı değişken kullanılmıştır. Yani, kesme ve bölmeden çıkarma maliyetleri; üretim maliyeti olarak taşıma maliyetlerinden ayrı tutulmuş ve genel bir ifade ile aşağıdaki amaç fonksiyonu bağıntısı oluşturulmuştur.

$$Z_{min} = \text{Üretim Maliyetleri} + \text{Taşıma Maliyetleri} \quad (29)$$

Modelde kullanılan maliyet katsayıları, yöntem bölümünde anlatılan; kesme, bölmeden çıkarma ve taşıma maliyetlerinin hesaplanmasıyla elde edilmiştir. Ancak, katsayıların oluşumunda yalnızca değişken operasyon maliyetleri olmayıp, her bir üretim sistemi kombinasyonu için çok kriterli analizlerle hesaplanmış çevresel ve kurumsal etki maliyetleri de yer almaktadır. Her bir periyotta çalışma zamanının ve üretim sisteminin veriminin değişmesinden dolayı maliyet katsayıları; periyotlardan kaynaklanan değişikliklerden etkilenmiştir. Periyodik etki katsayısı eklenerek her bir periyottaki maliyet

yeniden belirlenmiştir. Bazı modellerde, her periyotta maliyetlerin bir önceki periyoda göre % 13 oranındaki artışı da hesaplama sokulmuştur. Ancak, üretim metodu da maliyetlerin değişmesine etkiye bulunduğundan, katsayıların belirlenmesinde uzun boy ve normal boy tomruk üretimi için maliyet farklılıkları dikkate alınmıştır. Uzun boy tomruk üretimi maliyetlerinin normal boy tomruk üretimi maliyetlerinden % 20 oranında daha düşük olduğu kabul edilmiştir. Bu kabulde, farklı boylarda tomruğun kesilmesinde motorlu testerenin çalışma zamanının değişmesi; bölmeden çıkarmada ve taşımada parça adedinin değişmesi ve sefer sayısının değişmesine koşut verimin ve maliyetin değişmesi, etkili olmuştur. Örneğin, 18 m boyundaki bir Kızılcım ağacının gövdesinin 4; 4; 3; 2,5; 2,5; 2 m boylara bölünmesi ile 6,6,3,3 m boylara bölünmesi arasında motorlu testerenin çalışma zamanı değişecek ve harcanan enerjiye bağlı olarak maliyet farklılaşacaktır.

Yukarıda parametreleri, karar değişkenleri, indis değerleri, amaç fonksiyonu ve katsayıları verilen matematiksel model elemanları ile Doğrusal ve Tamsayı Programlamaya göre iki farklı operasyonel karar modeli oluşturulmuştur.

2.4.1.1. Doğrusal Programlama Modeli

Doğrusal programlamaya göre operasyonel karar modeline ait amaç fonksiyonu aşağıda verilmiştir:

$$Z_{min} = \sum_b^B \sum_p^P \sum_u^U \sum_s^S UM_{bps} * X_{bps} + \sum_b^B \sum_p^P \sum_u^U \sum_r^R TM_{bpr} * Y_{bpr} \quad (30)$$

Burada;

B : Operasyonel planlama yılında odun üretimi yapılacak bölmelerin sayısıdır.

P : OP yılındaki periyotların sayısıdır.

U : Üretim metodu alternatiflerinin sayısıdır.

S : Odun üretiminde kullanılabilir üretim sistemi kombinasyonlarının sayısıdır.

R : Ürünün rampadan depolara taşınmasında kullanılabilir rota sayısıdır.

UM_{bps} = Üretim (kesme + bölmeden çıkarma) maliyeti katsayısıdır (\$/m³) : b bölmesinin p periyodunda (sezonunda), u üretim metodu ve s üretim sistemi kullanılarak üretilmesiyle ortaya çıkan maliyet katsayısıdır.

X_{bps} = Odun üretim miktarını temsil eden karar değişkenidir (m³) : b bölmesinin p periyodunda, u üretim metodu ve s üretim sistemi kullanılarak ortaya çıkarılan odun üretim miktarıdır.

TM_{bpur} = Taşıma maliyeti katsayısıdır ($\$/m^3$) : b bölmesinin p periyodunda, u üretim metodu ile üretilen odun hammaddesinin, r yolu (rotası) kullanılarak taşınmasıyla ortaya çıkan taşıma maliyetinin katsayısıdır.

Y_{bpur} = Taşınan odun hammaddesi miktarıdır (m^3) : b bölmesinin p periyodunda, u üretim metodu ile üretilen ve r yolu (rotası = "b" bölmesinin herhangi bir rampadan, herhangi bir yöntemle yüklenerek, herhangi bir depoya herhangi bir yol) kullanılarak taşınan odun hammaddesi miktarıdır.

Operasyonel planlama probleminde, matematiksel modelde temsil edilen kısıtlayıcılar aşağıda sıralanmıştır:

- ☞ Her bir bölmeden üretilen odun hammaddesi miktarı, bölmenin izin verilen yıllık etası ile sınırlıdır. OP yılı boyunca, her bir bölmeden elde edilecek ürün miktarı; bölmenin herhangi bir periyotta herhangi bir üretim metodu ve üretim sistemiyle üretilen miktarının toplamına eşittir (Kaynak kısıdı):

$$\sum_p^P \sum_u^U \sum_s^S X_{bps} \leq ETA_b \quad \forall b \text{ (tüm } b \text{ bölmeleri için)} \quad (31)$$

ETA_b = Her bir b bölmesinin izin verilen yıllık (ara/son hasılat) etasıdır.

- ☞ Her bir bölmeden herhangi bir periyotta herhangi bir depoya taşınacak ürün miktarı ve çeşidi; her bir bölmede herhangi bir periyotta herhangi bir üretim metodu ve sistemi ile üretilen odun miktarına eşit yada taşınan, üretilenden küçük olmalıdır. Yani taşınacak ürün hacmi, ürün tipine bakılmaksızın, üretilen miktar ile sınırlıdır.

$$\sum_p^P \sum_u^U \sum_s^S X_{bps} - \sum_p^P \sum_u^U \sum_r^R Y_{bpur} \geq 0 \quad (32)$$

- ☞ OP yılı boyunca her bir periyotta piyasanın talebi tatmin edilmek zorundadır. Piyasa talebi, deponun yıllık ürün ihtiyacı kapasitesine endekslenmiştir. Dolayısıyla, her bir deponun ürün ihtiyacı tedarik edilmelidir. Deponun yıllık maksimum ürün talebi; OP alanının izin verilebilir etasına eşittir. Minimum sınır ise, deponun OP yılı içinde bir defada depolayabileceği ürün kapasitesine eşittir. O halde, operasyon yılı süresince; her bir depoya taşınacak toplam miktar,

deponun ihtiyaç duyduğu yıllık toplam minimum ve maksimum miktar ile sınırlıdır (Ürün Akış Kısıdı).

$$\sum_p^P \sum_u^U \sum_d^D DTIpMIN_{pud} \leq \sum_b^B \sum_p^P \sum_u^U \sum_r^R Y_{bpr} \leq \sum_p^P \sum_u^U \sum_d^D DTIpMAX_{pud} \quad (33)$$

D = Depoların sayısını temsil eder

$DTIpMIN_{pud} / DTIpMAX_{pud}$ = Depoların minimum ve maksimum talep miktarıdır

Operasyon yılı boyunca depolara taşınacak ürün miktarı, her bir periyot için eşit miktarda dağıtılmamıştır. Nedeni;

- Silvikültürel açıdan ilkbaharda (yani 1. periyotta) tıraşlama bölmelerine girilemez. Bakım bölmelerinin ara hasılat etaları ise düşüktür.
 - İşletmenin para gereksinimi, her dönem için eşit olamayabilir. Yaz ve sonbahar aylarında işletme daha fazla paraya gereksinim duyabilir.
 - Piyasa talepleri daha çok sonbahar ve kış aylarında yükseliyor olabilir.
- ☞ Her bir bölmenin herhangi bir periyotta herhangi bir üretim metodu ve herhangi bir üretim sistemiyle üretilmesi için gerekli olan zaman; söz konusu periyodun çalışılabilir zamanı ile tercih edilecek üretim sisteminin bu zamandaki üretim kapasitesine bağlıdır. Bir bölmede, herhangi bir periyotta, herhangi bir üretim metodu ve herhangi bir üretim sistemi ile yapılacak üretim için, tercih edilecek üretim sisteminin kapasitesi (verim ve sayı) yeterli olmalıdır (Kaynak Kısıdı).

$$\sum_b^B \sum_p^P \sum_u^U \sum_s^S VRM_{bps} * X_{bps} \leq \sum_s^S Ad_s * \sum_p^P PU_p \quad (34)$$

VRM_{bps} = Her bir üretim sisteminin verimidir (saat/m³)

Ad_s = Her bir üretim sisteminin kullanılabilir adedidir.

PU_p = Her bir periyottaki çalışılabilir gün sayısının uzunluğudur (saat)

- ☞ Yukarıdaki üretim sistemi kısıdına paralel olarak; her bir bölmeden her bir depoya ürün akışını sağlayan her bir rotadaki verimlilik; ilgili periyodun çalışma zamanı ve kamyon kapasitesi ile sınırlıdır .

$$\sum_b^B \sum_p^P \sum_u^U \sum_r^R VRM_{b_{pur}} * Y_{b_{pur}} \leq KMYN * \sum_p^P PU_p \quad (35)$$

$VRM_{b_{pur}}$ = Her bir rotanın (yol uzunluğu ve standardı, kamyon verimi, yükleme ve boşaltma verimine bağlı) verimidir (saat/m³)

$KMYN$ = Kullanılabilir kamyon sayısıdır

☞ Ayrıca tüm değişkenler pozitif sayı olmak zorundadır

$$X_{b_{pus}} \geq 0 \quad \text{ve} \quad Y_{b_{pur}} \geq 0 \quad \forall b, p, u, s, r \quad (36)$$

Probleme ait diğer seçeneksiz kısıtlayıcılar ise; modelde doğrudan gösterilemeyen yapısal kısıtlayıcılarıdır. Örneğin, tıraşlama bölmelerinin üretiminin, silvikültürel esaslardan dolayı 1.ve 2. periyotta yapılamayacağı; bakım bölmelerinde hava hattına bağlı üretim sisteminin kullanılmayacağı, tıraşlama bölmelerinde oluk sisteminin önerilmemesi gibi. Buna benzer kısıtlayıcılar, henüz modelin kuruluş aşamasında göz önünde bulundurulmuştur ve buna ilişkin satırlar elenerek, problemin matris boyutu küçültülmüştür.

Bu model kurgusu (30. ve 36. denklemler arası), “Operasyonel Planlamanın” temel modelini oluşturmuştur. Temel model; başkaca zorunlu ve seçeneksiz kısıtlayıcıların, hesap değişkenlerinin ve (amaç fonksiyonuna) karar değişkenlerinin eklenmesiyle çeşitlendirilebilecek (modifikasyon), esnek bir yapıda kurulmuştur. Bu model, çözüm kümesini oluşturacak karar değişkeni değerlerinin, sürekli (kesirli ve tamsayı) sayılarla temsil edilebildiği düzgün (regular) bir doğrusal programlama modelidir. Yani “ $X_{b_{pus}}$ ” karar değişkeni, 0 ila ∞ arasındaki sayılarla temsil edilebilmektedir. Bu model, aynı zamanda OP modelin test edilebilmesi amacıyla kullanılmıştır.

Bununla birlikte, modele aşağıdaki (37 nolu) kısıtlayıcı eklenmiştir. Bunun anlamı; operasyonel planlama yılında üretimine karar verilen her bölme; herhangi bir periyotta herhangi bir üretim metodu ve herhangi bir üretim sistemiyle üretilmek zorundadır. Bu zorunluluk, her bir bölmenin operasyon yılı boyunca yalnızca bir kere üretime açılmasının da koşuludur.

$$\sum_p^P \sum_u^U \sum_s^S X_{b_{pus}} * ETA_b = 1 \quad \forall b \text{ (tüm } b \text{ bölmeleri için)} \quad (37)$$

Bu kısıtlayıcı, sürekli sayılarla temsil edilebilen doğrusal programlama modelinin yapısında değişikliklere neden olmuştur. Yani, " X_{bpus} " karar değişkeninin değeri herhangi bir sayı ile temsil edilebilmekte iken; 37 nolu kısıtlayıcı, bu karar değişkeninin doğrusal programlama modelinde yalnızca 0 ila 1 arasında, yarı sürekli/kesirli $\{0; 0,1; 0,5; \dots; 1\}$ sayılar almasını zorlamaktadır. Buna göre; her bir bölme mutlaka OP yılı içinde üretime açılacak ancak bölmenin etasının bir kısmı p . periyotta s . sistemle üretilebilirken; bir kısmı da $p+1$. periyotta $s+1$. sistemle üretilebilecektir. Yani, her bir bölme; periyoda, üretim yöntemine ve üretim sistemine göre bölümlere ayrılabilir.

Eğer bu karar değişkenine 0 veya 1 değeri alması, yani tamsayı olması koşulu getirilirse doğrusal programlama modeli, tamsayılı programlama modeline dönüşecektir. Bu nedenle, operasyonel karar modelinin hem doğrusal hem de tamsayılı programlamaya göre iki modeli geliştirilmiştir. Ancak, 37 nolu kısıtlayıcı hem doğrusal hem de tamsayılı programlama modeli için kısıtlayıcı olarak modelde yer almıştır. Böylelikle de, doğrusal programlama modelinde üretim karar değişkenleri yarı sürekli sayılarla $\{0, \dots, 1\}$ temsil edilmiştir. Doğrusal programlama modeline, 37 nolu kısıdın eklenmesi, amaç fonksiyonu ve diğer kısıtlayıcıların matematiksel gösteriminde de bazı değişikliklere neden olmuştur. Bu nedenle, düzgün doğrusal programlama modeli; aşağıda açıklanan tamsayılı programlamanın gevşetilmiş modeli (tamsayı olma kısıdının kaldırılması hali) olarak kullanılmıştır.

2.4.1.2. Tamsayılı Programlama Modeli

Doğrusal programlama tabanlı ve yarı sürekli sayılarla temsil edilebilen 30 nolu modelde, 37 nolu kısıtlayıcı karar değişkenlerinin 0 veya 1 değeri ile yani ikili (binary) değişkenlerle temsil edilmesini zorlamaktadır. İkili karar değişkenleri, modelde yalnızca üretim miktarı karar değişkenleri için uygulanmıştır. Bu nedenle, modelde hem ikili değişken hem de taşıma miktarlarını temsil eden karar değişkeninden dolayı sürekli değişkenler bulunmaktadır. Model, bu haliyle "0/1 karma tamsayılı programlama (MIP)" yada "tamsayılı doğrusal programlama (ILP)" formuna dönüşmüştür. Modelin bu yapısı gereği, karar değişkenleri de ;

$$X_{bpus} = \begin{cases} 1 & \text{Eğer } b \text{ bölmesi, } p \text{ periyodunda, } u \text{ üretim metodu ve } s \text{ sistemiyle üretilirse (38)} \\ 0 & \text{Değilse,} \end{cases}$$

biçiminde ifade edilmiştir. Buna göre; 38 nolu bağıntı, LP modeline (30-37) bir kısıt olarak eklenmiş ve MIP modeli oluşturulmuştur.

Bununla birlikte 37 nolu kısıtlayıcı, MIP modelinde; “her bir bölmede alternatif üretim sistemi kombinasyonlarından yalnızca birinin kullanılması, yani her bir bölmeye yalnızca bir üretim sisteminin atanabilir olması” koşulunu da ifade etmektedir.

Öte yandan, odun üretiminde bölmeden çıkarma aşamasında, ürün üzerinde üretim sistemlerinden kaynaklanan kalite ve miktar kayıpları söz konusudur. Bu miktar kayıplarına bağlı olarak, satış yapılabilecek ürün miktarında azalma olmakta ve gelir düşmektedir. Bu durumun ortaya çıkardığı maliyetin de azaltılması gereklidir. Ürün kayıplarından kaynaklanan maliyetin azaltılması amacıyla amaç fonksiyonuna bir karar değişkeni daha eklenmiştir. Ancak, ürün kayıp miktarları, her bir bölmede kullanılan üretim sisteminin fonksiyonudur. Yani, hangi üretim sistemi kullanılıyor ise o sistemle üretilen odun miktarında belirli bir oranda kalite ve miktar kaybı olacağı kabul edilmiştir. Kayıp oranlarının belirlenmesinde Gürtan (1975) ve Acar vd.’nin (2000) kullandığı oranlar dikkate alınmıştır. Toplam kayıp miktarı, üretim karar değişkenine endekslenmiştir.

Sürekli sayılarla ifade edilen düzgün LP modelinde, kayıp miktarı ve buna bağlı maliyetlerin amaç denkleminde gösterilebilmesi için aşağıdaki bağıntı kullanılmıştır;

$$KQ_{bps} = \sum_{p=1}^4 \sum_{u=1}^2 X_{bps} * Oran_s \quad (39)$$

Burada;

KQ_{bps} = Kayıp miktarı (m^3): b bölmesinde p periyodunda u üretim metodu ve s üretim sisteminin kullanılmasından kaynaklanan kayıp miktarıdır.

X_{bps} = b bölmesinde p periyodunda u üretim metodu ve s üretim sisteminin kullanılmasıyla üretilen odun hammaddesi miktarıdır.

$Oran_s$ = Her bir “s” sisteminin kullanılmasının neden olduğu kayıp oranıdır.

Ancak, yarı süreklili sayıların kullanılması durumunda “ X_{bps} ” (üretim karar değişkeni) değeri 0 – 1 arası bir değer olacaktır. Yani, “ X_{bps} ”, bir çeşit katsayı formuna dönüşecektir. Dolayısıyla, amaç denkleminde kayıp miktar ve buna bağlı maliyetin gösterimi için aşağıdaki bağıntıda yer alan ikili karar değişkenleri kullanılacaktır;

$$KQ_{bps} = \sum_{p=1}^4 \sum_{u=1}^2 X_{bps} * Oran_s * ETA_b \quad (40)$$

Bu durumda, “kayıp miktarı karar değişkeni”, “üretim karar değişkeni”ne endekslenmiştir. Eğer, “ b_I ” bölmesinde “ s_I ” üretim sistemi kullanılacak ise “ X_{Ipu} ” ikili değişkeni 0/1 yada 0 – 1 arası bir değer alacak ve KQ_{bpus} (40 nolu) bağıntısı çalışabilecektir. Bu durumda kayıp miktarı, aşağıdaki 41 nolu bağıntıdaki gibi olacaktır.

$$KQ_{bpus} = \begin{cases} Oran_s * ETA_b & \text{Eğer } X_{bpus} = 1 \text{ ise} \\ 0 & \text{Eğer } X_{bpus} = 0 \text{ ise} \end{cases} \quad (41)$$

Toplam kayıp maliyeti ise (1 m³ ürün başına); kayıp ürün miktarının, satışından elde edilecek geliri ile kayıp oranı ve üretilen miktarın çarpımı sonucu elde edilmiştir (842 nolu bağıntı). Satış gelirleri, normal boy ve uzun boy tomruklar için, Isparta OBM’nde 2002 yılı için tahmin edilen satış programı ve gelirleri cetvelinden temin edilmiştir.

$$KM_{bpus} = KQ_{bpus} * SG_{pu}$$

$$KM_{bpus} = \sum_{p=1}^4 \sum_{u=1}^2 Oran_s * ETA_b * SG_{pu} \quad (42)$$

Burada;

KM_{bpus} = b bölmesinde p periyodunda u üretim metodu ve s üretim sisteminin kullanılmasından kaynaklanan kayıp maliyeti (\$/m³)

SG_{pu} = p periyodunda u üretim metoduyla elde edilen ürünün birim satış geliridir (\$/m³)

Kayıp maliyetinin, amaç denkleminde yer alabilmesi ve maliyetin “ X_{bpus} ” karar değişkenine bağlanabilmesi için “ X_{bpus} ” yukarıdaki bağıntıda yer almamıştır. “ KM_{bpus} ” her bir bölme ve her bir sistem için sabit bir sayıya dönüşmüştür. Buna göre; kayıp maliyetine ilişkin bir hesap değişkeni geliştirilmiştir. Bu hesap değişkeni periyotlara göre gösterilmiştir ve örneğin 1. periyotta kayıp maliyeti;

$$\sum_{b \in B} \sum_{u \in U} \sum_{s \in S} KM_{bpus} * X_{bpus} = KPI \quad (43)$$

Böylece, üretim karar değişkeninin 0/1 yada 0-1 arası olmasını zorlayan ve kısıtlayıcılara eklenen 37 ve 38 nolu bağıntı ile amaç fonksiyonuna ürün kayıp maliyetlerine ilişkin karar değişkeninin eklenmesiyle operasyonel karar modeli elde edilmiştir.

2.4.1.3. Operasyonel Karar Modeli

Modelleme yöntemi yukarıda anlatılan, test alanı bilgileri derlenerek katsayıları elde edilen, indis değerleri belirlenen ve kısıtlayıcıları tanımlanan hem LP hem de MIP için kullanılacak matematiksel modelin amaç fonksiyonu, operasyonel kararların kontrolü açısından periyotlara göre üretim maliyetlerinin minimizasyonu şeklinde ifade edilmiştir.

Amaç fonksiyonu;

$$Z_{\min} = \sum (PM_p + T_p + KP_p) \quad \forall p \in P; (p = 1, 2, 3, 4) \quad (44)$$

Amaç fonksiyonu için hesap değişkenleri (satırı);

- Periyotlara göre üretim maliyeti hesap değişkenleri;

$$\sum_{b \in B}^{12} \sum_{u \in U}^2 \sum_{s \in S}^{10} UM_{bpus} * X_{bpus} * ETA_b - PM_p = 0 \quad \forall p \in P \quad (45)$$

- Periyotlara göre taşıma maliyeti hesap değişkenleri;

$$\sum_b^B \sum_u^U \sum_r^R TM_{bpur} * Y_{bpur} - T_p = 0 \quad \forall p \in P \quad (46)$$

- Periyotlara göre kayıp maliyeti hesap değişkenleri;

$$\sum_{b \in B}^{12} \sum_{u \in U}^2 \sum_{s \in S}^{10} KM_{bpus} * X_{bpus} - KP_p = 0 \quad \forall p \in P \quad (47)$$

Kısıtlayıcılar;

- Her bir bölmede üretilecek odun hammaddesi miktarı, bölmenin etası ile sınırlıdır;

$$\sum_{p=1}^4 \sum_{u=1}^2 \sum_{s=1}^{10} X_{bpus} * ETA_{b \in B} - BETA_{b \in B} = 0 \quad \forall b \in B; (b=1, 2, \dots, 12) \quad (48)$$

- OP yılında üretilecek odun hammaddesi miktarı bölme etalarının toplamı kadardır,

$$\sum_{b=1}^{12} BETA_b - TOPETA = 0 \quad (TOPETA \leq 23532) \quad (49)$$

- Her bir bölme OP yılında, herhangi bir periyotta üretime açılmak zorundadır,

$$\sum_{p=1}^4 \sum_{u=1}^2 \sum_{s=1}^{10} X_{bps} * ETA_b = 1 \quad \forall b \in B; (b=1, 2, \dots, 12) \quad (50)$$

- Her bir periyotta üretilecek üretim miktarı; bu periyot için verilen minimum ve maksimum üretim miktarı ile sınırlıdır.

$$1) \sum_{u=1}^2 \sum_{s=1}^{10} X_{bps} * ETA_{b \in B} - BP_{pb} = 0 \quad \forall b \in B; \forall p \in P$$

$$2) \sum_{b=1}^{12} BP_{pb} - HQ_p = 0 \quad \forall p \in P$$

$$3) MinHQ_p \leq HQ_p \leq MaxHQ_p \quad \forall p \in P \quad (51)$$

- Her bir bölmeden her bir periyotta taşınan odun hammaddesi miktarı, aynı bölmede aynı periyotta üretilen odun miktarından fazla olamaz

$$\sum_p^4 \sum_u^2 \sum_s^{10} X_{bps} * ETA_{b \in B} - \sum_p^4 \sum_u^2 \sum_r^8 Y_{bpr} \geq 0 \quad \forall b \in B \quad \text{yada}$$

$$- \sum_p^4 \sum_u^2 \sum_r^8 Y_{bpr} + BP_{pb} \geq 0 \quad \forall b \in B; \forall p \in P \quad (52)$$

- Her bir periyotta taşınacak toplam ürün miktarı, o periyotta üretilecek olan toplam ürün miktarından küçük yada eşit olmalıdır.

$$1) \sum_b^{12} \sum_u^2 \sum_r^8 Y_{bpr} - TRANSP_p \geq 0 \quad \forall p \in P$$

$$2) HQ_p - TRANSP_p \geq 0 \quad \forall p \in P \quad (53)$$

- Her bir periyotta taşınacak miktar, o periyotta piyasa talebinin fonksiyonu olan depo talebinin minimum ve maksimum talep sınırlarına uymalıdır

$$\sum_{u=1}^2 \sum_{d=1}^2 DTlpMIN_{pud} \leq TRANSP_p \leq \sum_{u=1}^2 \sum_{d=1}^2 DTlpMAX_{pud} \quad \forall p \in P \quad (54)$$

- Her bir sistemin üretim kapasitesi (sistemin verimine bağlı olarak), periyot uzunluğu içindeki çalışılabilen süre ve bu sürede çalışabilen sistemin sayısı ile sınırlıdır

$$1) \sum_{b=1}^{12} \sum_{u=1}^2 VRM_{bpus} * X_{bpus} * ETA_b - S_s P_p = 0$$

$$2) S_s P_p \leq Ad_s * PU_p \quad \forall s \in S; (s = 1, \dots, 10) \quad (55)$$

- Her periyotta taşınabilecek ürün miktarı (kamyonla çalışma verimine bağlı olarak), taşıma yapabilecek kamyon sayısına ve çalışılan mevsimin uzunluğuna bağlıdır.

$$\sum_b^B \sum_u^U \sum_r^R VRM_{bpur} * Y_{bpur} - KMYP_p = 0$$

$$KMYP_p \leq Ad_{kamyon} * PU_p \quad \forall p \in P \quad (56)$$

- Taşıma karar değişkenleri, pozitif sayı olmak zorundadır.

$$Y_{bpur} \geq 0 \quad \forall b, p, u, s, r$$

- Üretim karar değişkenleri ikili tamsayı olmak zorundadır (Yalnızca MIP modeli için. Eğer modelden bu kısıt kaldırılırsa MIP modeli, LP modeline dönüşür)

$$X_{bpus} = \begin{cases} 1 & \text{Eğer } b \text{ bölmesi, } p \text{ periyodunda, } u \text{ üretim metodu ve } s \text{ sistemiyle üretilirse} \\ 0 & \text{Değilse,} \end{cases}$$

Kısıtlayıcılar için hesap değişkenleri;

- Her bir sistemin, her bir periyottaki kayıp miktarının maliyeti,

$$1) \sum_{p=1}^4 \sum_{u=1}^2 \sum_{s=1}^{10} X_{bps} * ETA_{b \in B} * SG_{pu} - S_s PKM_p = 0$$

$$2) \sum_{s=1}^{10} S_s PKM_p - KP_p = 0 \quad \forall p \in P \quad (57)$$

- Her bir üretim sistemi kombinasyonunda, operasyon yılı boyunca toplam yararlanılabilir insan, hayvan ve makine gücü miktarı sınırlıdır.

$$\sum_b^B \sum_p^P \sum_u^U \sum_s^S VRM_{bps}^{IG} * X_{bps} * ETA_{b \in B} - IG = 0 \quad (58)$$

$$\sum_b^B \sum_p^P \sum_u^U \sum_s^S VRM_{bps}^{MOTEST} * X_{bps} * ETA_{b \in B} - MOTEST = 0 \quad (59)$$

$$\sum_b^B \sum_p^P \sum_u^U \sum_s^S VRM_{bps}^{HYVN} * X_{bps} * ETA_{b \in B} - HYVN = 0 \quad (60)$$

$$\sum_b^B \sum_p^P \sum_u^U \sum_s^S VRM_{bps}^{TRMTRK} * X_{bps} * ETA_{b \in B} - TRMTRK = 0 \quad (61)$$

$$\sum_b^B \sum_p^P \sum_u^U \sum_s^S VRM_{bps}^{ORMTRAK} * X_{bps} * ETA_{b \in B} - ORTRAK = 0 \quad (62)$$

$$\sum_b^B \sum_p^P \sum_u^U \sum_s^S VRM_{bps}^{OLUK} * X_{bps} * ETA_{b \in B} - OLUK = 0 \quad (63)$$

$$\sum_b^B \sum_p^P \sum_u^U \sum_s^S VRM_{bps}^{HRVSTR} * X_{bps} * ETA_{b \in B} - HRVSTR = 0 \quad (64)$$

$$\sum_b^B \sum_p^P \sum_u^U \sum_s^S VRM_{bps}^{FRWDR} * X_{bps} * ETA_{b \in B} - FRWDR = 0 \quad (65)$$

$$\sum_b^B \sum_p^P \sum_u^U \sum_s^S VRM_{bps}^{HHAT} * X_{bps} * ETA_{b \in B} - HHAT = 0 \quad (66)$$

Bu modelde;

$PM_p = p$. periyottaki üretim maliyetini,

$TP = p$. periyottaki taşıma maliyetini,

$KP_p = p$. periyottaki kayıp maliyetini,

$BETA_b =$ Her bir “b” bölmesinin izin verilebilen yıllık etasıdır (m^3)

$TOPEA =$ OP yılı süresince alınabilir toplam yıllık etadır (m^3)

$BP_{pb} =$ Her bir “p” periyodunda her bir “b” bölmesinde üretilen ürün miktarıdır (m^3)

$HQ_p =$ Her bir “p” periyodundaki üretim miktarıdır (m^3)

$Min/MaxHQ_p =$ Her bir “p” periyodu için minimum ve maksimum üretim miktarıdır (m^3)

$TRANSP_p =$ Her bir “p” periyodunda taşınacak (transport edilecek) ürün miktarı (m^3)

$DTIpMIN/MAX_{pud} =$ “d” deposunda “p” periyodunda “u” ürününe olan talebin Minimum Maksimum miktarıdır (m^3)

$S_sP_p =$ “s” üretim sisteminin “p” periyodundaki çalışma zamanıdır (saat)

$Ad_s =$ “s” sisteminin kullanılabilir toplam adedidir

$Ad_{kmyrn} =$ Her bir periyotta kullanılabilir toplam kamyon adedidir

$PU_p =$ “p” periyodunun uzunluğuna bağlı olarak çalışılabilir zamandır (saat)

$VRM_{bps} =$ “b” bölmesinde “p” periyodunda “u” üretim metodu ile yapılan üretim etkinliğinde kullanılan “s” sisteminin verimidir (saat/ m^3)

$VRM_{bpr} =$ “b” bölmesinde “p” periyodunda “u” üretim metodu ile elde edilen ürünün taşınmasında kullanılan “r” rotasının (“r” rotasının özelliği ile kamyonla çalışma zamanına göre) verimidir (saat/ m^3)

$KMYP_p =$ “p” periyodunda kamyonla taşıma kapasitesine bağlı olarak çalışma zamandır (saat)

$SG_{pu} =$ “p” periyodunda “u” üretim metodu ile üretilmiş ürünlerin depolardaki ortalama satış geliridir ($\$/m^3$)

$S_sPKM_p =$ “s” sisteminin “p” periyodundaki kayıp maliyetidir (\$).

$KP_p =$ “p” periyodunda kullanılan tüm sistemlerden kaynaklanan maliyettir (\$).

Bu matematiksel formülasyonun açılımı ve kısıtlayıcılara ait bazı sağ taraf değeri sınırları (STD) Ek Tablo 1, 2 ve 3’ de verilmiştir.

2.4.2. Operasyonel Karar Modelinin Test Edilmesi

Operasyonel karar modeli, “Materyal” bölümünde tanıtımı yapılan Aşağıgökdere Devlet Orman İşletmesi için hazırlanmış olan operasyonel planlama problemi ile test edilmiştir.

2.4.2.1. Test Probleminin Kapsamı

Planlama alanında, Kızılçam işletme sınıfından 3 adet gençleştirme bölmesinde son hasılat etası; 9 adet bakım bölgesinde de ara hasılat etası olmak üzere 12 bölmede toplam 23 532 m³ odun hammaddesi üretiminin yapılacaktır. Ürünler, Aşağıgökdere ve Yukarıgökdere adları ile anılan 2 depoya taşınacaktır.

Bu koşullar altında; 12 adet bölme için yıllık odun üretiminin operasyonel düzeyde planlanmasında 12 ay olan plan dönemi, 4 periyoda/sezona ayrılmıştır. Odun üretim operasyonlarında tomruk yöntemi tercih edilmesine rağmen alternatif olması bakımından bu problemde uzun boy ve normal boy tomruk üretim yöntemi olmak üzere 2 üretim yöntemi indisine yer verilmiştir.

Üretimde kullanılacak teknolojiler ve kombinasyonlarının tespit edilmiş olup 10 adet üretim sistemi bu yörede odun üretim etkinliğine katılabilecektir. Üretim sistemi alternatiflerinin ağırlıklı ortalamaya göre hesaplanmış maliyet ve üretim kapasiteleri Tablo 20’ de özetlenmiştir. Her bir üretim sisteminin verimi ve maliyeti; bölmeye, periyoda ve üretim metoduna göre değişmektedir.

Tablo 20. Üretim sistemi kombinasyonlarının ortalama verim değeri ve maliyetleri

Üretim Sistemi No	Üretim Sistemi (Kombinasyonu)		Sistem Verimi (saat/m ³)	Sistem Maliyeti (\$/m ³)
	Kesme	Bölmeden Çıkarma		
1	Motormanuel	İnsan Gücü	3,99	9,37
2	Motormanuel	Hayvan Gücü	3,75	7,51
3	Motormanuel	Oluk Sistemi	1,76	7,43
4	Motormanuel	Tarım Traktörü	2,31	8,10
5	Motormotor	İnsan Gücü	3,34	9,15
6	Motormotor	Hayvan Gücü	3,09	7,29
7	Motormotor	Orman Traktörü	1,56	8,45
8	Motormotor	Hava Hattı	0,95	5,36
9	Harvester	Hava Hattı	0,19	9,50
10	Harvester	Forwarder	0,12	13,79

Operasyonel planlama sürecinde, üretim etkinliğinde yer alacak işgücü ve makine gücü kaynaklarının tahsisi konusunda, her bir periyotta 430 çalışabilir işgücü içerisinde, aile bireylerine göre oluşturulmuş en fazla 26 ekibin (4 yada 5 kişiden oluşan) çalışabildiği; 90 adet motorlu testerenin kullanılabilir olduğu; 25 adet hayvanın gücünden yararlanılabildiği; 25 adet tarım traktörünün üretim işlerinde kullanılabildiği ve 30 adet kamyonun taşıma için kullanılabildiği kabul edilmiştir. Bu kabulde, orman köylülerinin istihdam edilme koşulu gözetilmiştir.

Her bir periyotta üretilecek üretim miktarının belirlenmesinde geçen yıllardaki gerçekleştirmeler dikkate alınarak aylık üretim miktarı yerine periyodik üretim miktarları kullanılmıştır. Ayrıca, silvikültürel prensipler dikkate alınarak 1. ve 2. periyotta tıraşlama bölmelerinin üretilemeyecek ve bu yüzden yalnızca bakım bölmelerindeki eta alınacaktır.

Bölmelerde en az 2' şer adet rampa yeri tesis edilmiştir. Her bir rampadan her iki depoya iki farklı güzergah belirlenmiştir. Yükleme, iki alternatif teknikle yürütülmektedir. Yol standartlarına göre yol uzunlukları ve elle yüklemeye göre ortalama verim oranları ile maliyetler Tablo 21' de verilmiştir.

Tablo 21. Tek tip (3 akslı) kamyonla ortalama taşıma verim ve maliyetleri

Bölme No	Depo No	Toplam Yol Uzunluğu (km)	Verim (Saat/m ³)	Maliyet (\$/m ³)
47	2	13,75	0,34	3,25
67	2	10,34	0,31	3,06
203	1	3,90	0,29	2,86
113	1	7,82	0,31	3,05
114	1	5,73	0,30	2,98
115	1	4,12	0,29	2,88
116	1	4,69	0,30	2,92
132	1	1,98	0,29	2,87
135	1	5,68	0,30	2,95
152	1	5,57	0,31	3,00
153	1	3,16	0,29	2,87
154	1	3,26	0,29	2,86

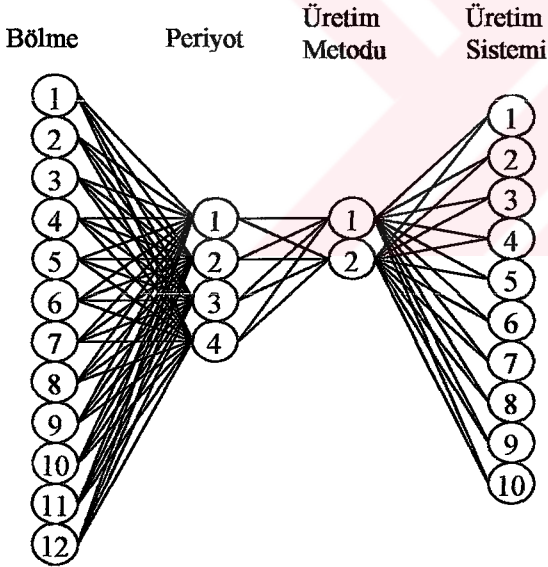
Bu koşullarda, planlama probleminde üretim miktarı karar değişkenleri ile taşıma miktarı karar değişkenlerini bulmaya yarayacak; 12 adet bölme, 4 adet periyot, 2 adet üretim metodu ve 10 adet üretim sisteminden oluşan operasyonel karar modelinin maliyet matrisinde, (12 x 4 x 2 x 10 olmak üzere) 960 adet üretim karar değişkeni; 12 adet

bölmeden 4 adet periyot ve 2 adet üretim yöntemi ile 8 adet rotadan oluşan 768 adet taşıma karar değişkeni bulunmaktadır (Tablo 22).

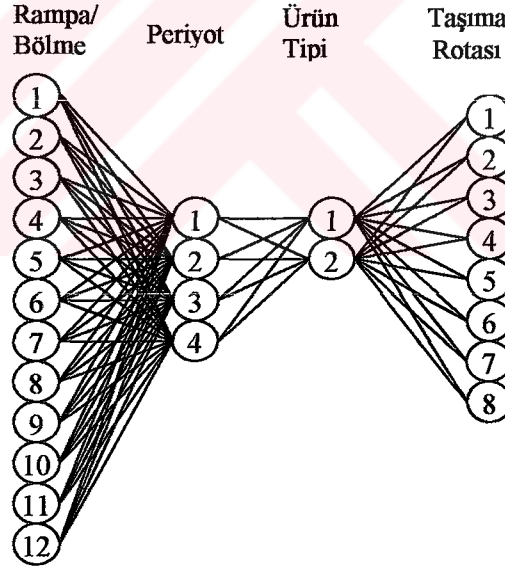
Tablo 22. Problemin matris boyutu

İndis Adı	İndis düzeyi (Temel Model)
Üretim bölmelerinin sayısı	12
Üretim periyotları	4
Üretim metotları	2
Üretim sistemleri	10
Taşıma rotaları	8
Değişkenlerin sayısı	1728

Problem, “960 üretim karar değişkeni (alternatifi) ve 768 taşıma karar değişkeni arasından; amaç fonksiyonunu mevcut kaynak ve kısıtlayıcılara göre optimize edebilen bileşimin ortaya çıkarılması” şekline dönüşmüştür.(Şekil 12 ve 13).



Şekil 12. Üretim Kararları Ağı



Şekil 13. Taşıma Kararları Ağı

2.4.2.2. Çözüm Yöntemleri

Operasyonel karar modeli, hem doğrusal hem de karma tamsayı programlama modeli olabilecek şekilde kurulmuştur. Operasyonel karar modelinde 38 nolu kısıtlayıcının

bulunması durumunda; model, MIP stratejisine göre çözümlenmiş ve yorumlanmıştır. Bu kısıdın eklenmemesi durumunda; model, LP stratejisine göre çözümlenmiştir.

Her iki durum göz önüne alındığında, model yarı sürekli sayılarla ifade edilebilen bir LP modeli konumundayken ticari LINDO programı ile çözümlenmiştir. Ardından, 0/1 tamsayılı doğrusal programlama (karma tamsayılı programlama) modeline dönüştürülüp aynı programın MIP (ILP) modülü ile çözümlenmiştir. Tamsayılı çözümleme sürecinin zaman alıcı olması ve/veya mümkün olan çözüm üretememesi koşulunda, optimizasyon tabanlı sezgisel (heuristic) çözüm yaklaşımı geliştirilmiştir. Bu süreç, LP tabanlı modelin çözümlenmesinden sonra başlatılarak, optimal çözüme yakın tamsayılı çözüm kümelerinin araştırılması biçiminde gerçekleştirilmiştir. Operasyonel karar modelinde temsil edilen problemin LP ve MIP çözüm sonuçları karşılaştırılarak, operasyonel planlama için uygulanabilir model araştırılmıştır.

2.4.2.3. Strateji ve Senaryolar

Modelin çözümü sırasında; maliyet katsayılarının nicel maliyet (çevresel/kurumsal ve periyodik etki katsayılarına bağlı maliyetlerin eklenmediği saf maliyet) veya nitel maliyet (ÇEK ve PEK maliyetlerinin eklendiği yani nitelik maliyetlerinin de eklenmesiyle oluşan yeni maliyet) oluşuna göre 2 strateji uygulanmıştır. Nedeni; (1) modelde amaç katsayılarının değişmesine rağmen, modelin vereceği çözümlerin test edilmesi; (2) nitel maliyetler ile nicel maliyetler karşılaştırıldığında, OP metodolojisinde geliştirilen nitel değerlerin, amaç katsayılarına eklenmesinin temel çözümü değiştirip değiştirmediği ve çözüm kalitesine olan etkisinin araştırılması; (3) amaç katsayılarında kullanılan maliyetlerin hesaplanmasında, paranın yıl içindeki zaman değerinin (periyotlar arası farklılığın) OP modelinde dikkate alınıp alınmamasının temel çözüme etkisinin araştırılmasıdır.

Çözüm yönteminde özetle aşağıdaki adımlar izlenmiştir:

Strateji – I;

Nicel maliyet katsayıları ile iki model oluşturulmuştur. Modellerden biri LP tabanlı, diğeri ise 0/1 MIP tabanlıdır. LP tabanlı model, 2' ye ayrılmıştır. Modellerden birinde (Model – LP2) amaç katsayıları için OP yılı başındaki maliyetlerin \$'a dönüştürülmesi ile oluşturulmuş maliyetler, kullanılmıştır. Diğeri (Model – LP1) ise amaç katsayısı olarak; her periyotta % 13 (ve kış periyodunda % 10 ilave) maliyet artışının dikkate alınmasıyla

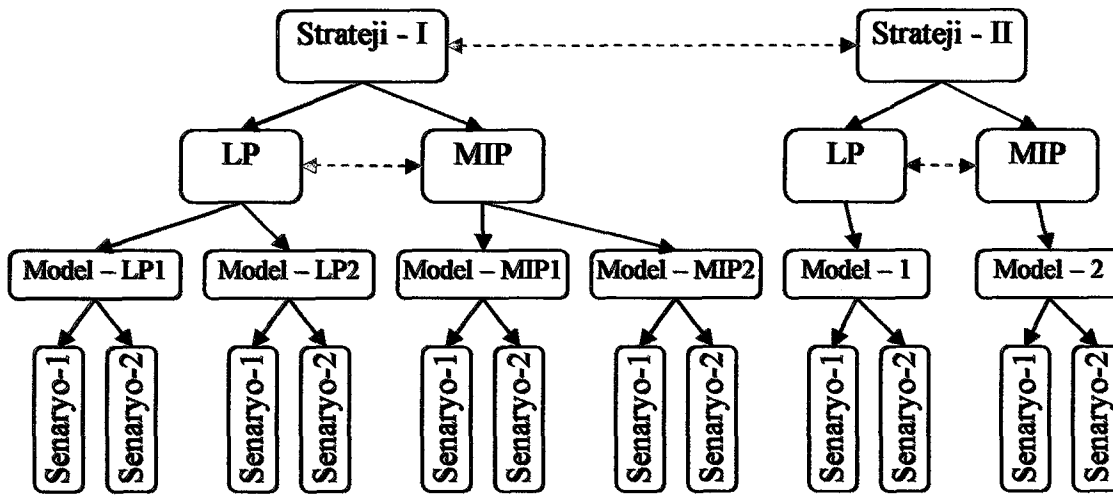
elde edilmiş maliyetleri kullanmıştır. Her iki alt modelde de, teknoloji düzeylerine yada periyodik üretim miktarlarına göre bazı senaryolar denenmiştir.

Aynı şekilde, MIP tabanlı model de, önce 2'ye ayrılmıştır. İlkinde (Model – MIP1) her periyotta % 13 (ve kış periyodunda % 10 ilave) maliyet artışının dikkate alınmasıyla elde edilmiş maliyetleri kullanmıştır. Model – MIP2' de ise amaç katsayıları, OP yılı başındaki maliyetlerin \$' a dönüştürülmesi ile oluşturulmuş maliyetleri kullanmıştır.

Strateji – II;

Nitel maliyet katsayıları ile LP ve MIP tabanlı iki model oluşturulmuştur. Her bir model, kendi aralarında alternatifleri ile karşılaştırılarak uygun olanına karar verilmiştir. Bu bağlamda; LP tabanlı model; “Model – 1” ve MIP tabanlı model ise “Model -2” adıyla anılmıştır. Bu stratejinin en büyük özelliği; OP metodolojisinde, çok kriterli analizler sonucunda geliştirilen nitel maliyet katsayılarının, değişken üretim maliyetlerine sabit katsayı olarak eklenmesidir. Burada hem çevresel ve kurumsal etkiye bağlı bir maliyet, hem de periyotlardan kaynaklanan etkiye bağlı bir maliyet değişimi söz konusudur. Başlangıç maliyetleri ise; OP yılının başlangıcındaki \$ para birimine göre endekslenmiş maliyetlerdir. Modellerin her biri de kendi içinde senaryolara ayrılmıştır.

Her bir stratejide hem LP hem de MIP modelinin kullanılmasıyla; üretim bölmelerinin periyot, üretim yöntemi ve üretim sistemi bakımından bölünebilirliği ve/veya bütünselliği arasındaki farkın irdelenmesi amaçlanmıştır. Yukarıda anlatılan strateji, model ve senaryolar şu şekilde özetlenebilir (Şekil 14)



Şekil 14. Operasyonel karar modelinin belirlenmesi yönteminde izlenen adımlar

2.4.2.4. Çözüm Yöntemlerinin Karşılaştırılması ve Değerlendirme Yöntemi

Planlama modelinin ortaya konulabilmesi amacı ile oluşturulan farklı strateji ve modellerin değerlendirilmesinde; LINDO paket programı ile elde edilen çözümler öncelikle ikili karşılaştırmaya tabi tutulmuştur. Her senaryo ve her model kendi arasında; amaç fonksiyonu değeri, ortalama üretim birim maliyeti, temel çözüme giren karar değişkenleri, toplam ürün kaybı ve kullanılan işgücü oranları yönüyle karşılaştırılmıştır. Daha sonra aşağıdaki karşılaştırma yöntemi yürütülmüştür:

1. Herhangi bir planlama yapılmaksızın varolan sistem yapısına göre;
 - 1.1. Başparmak kuralı (halihazırda işletmelerde uygulanan yönetmelikler vb. kurallar) uygulanarak odun üretim işlerinin gerçekleşmesi durumunda ortaya çıkan sonuçlar bulunmuştur. İnsan gücü ve hayvan gücü kullanılması halindeki maliyetler ve gerekli zaman hesaplanmıştır. Ürün kayıp miktarları da toplam maliyete eklenmiştir. Zamansal plan, silvikültürel esaslara göre düzenlenmiştir.
 - 1.2. Yukarıdaki aynı problem kurgusuna, operasyonel planlamada kullanılan kısıtlar eklenmiştir. Yine insan ve hayvan gücünün kullanılabilir olduğu kabul edilerek, üretim maliyetleri (amaç fonksiyonu) hesaplanmıştır.
 - 1.3. OP yılı olarak karşılaştırılan 2002 yılının sonunda planlama biriminde işletmenin yürüttüğü kurallara göre gerçekleşen üretim sonuçları dikkate alınmıştır.
2. Fiziksel bir plan (transport planı) yapılmasına göre;
 - 2.1. Yalnızca varolan teknoloji (insan gücü, hayvan gücü, tarım traktörü) düşünülerek, ekonomik bir karşılaştırma yapılmaksızın fonksiyonel arazi sınıflandırmasına göre üretim maliyetleri, gerekli zaman ve kayıp miktarları hesaplanmıştır.
 - 2.2. Yöreye getirilebilir teknoloji (orman traktörü, orman hava hattı, oluk sistemi, harvester, forwarder) düşünülerek arazi sınıflandırmasına göre bir plan hazırlanmış ve sonuçları elde edilmiştir.
 - 2.3. Her iki alternatif senaryo için OP modelinde yer alan kısıtlara uyup uymadığı kontrol edilmiştir.
3. Operasyonel planlama için yukarıda denenmiş senaryo sonuçlarına göre;
 - 3.1. Bölme başına yalnızca bir üretim sisteminin atanmasını zorunlu kılan yaklaşım ile,
 - 3.2. Bölme başına birden fazla üretim sisteminin atanmasına izin veren yaklaşım sonuçları sıralanmıştır.

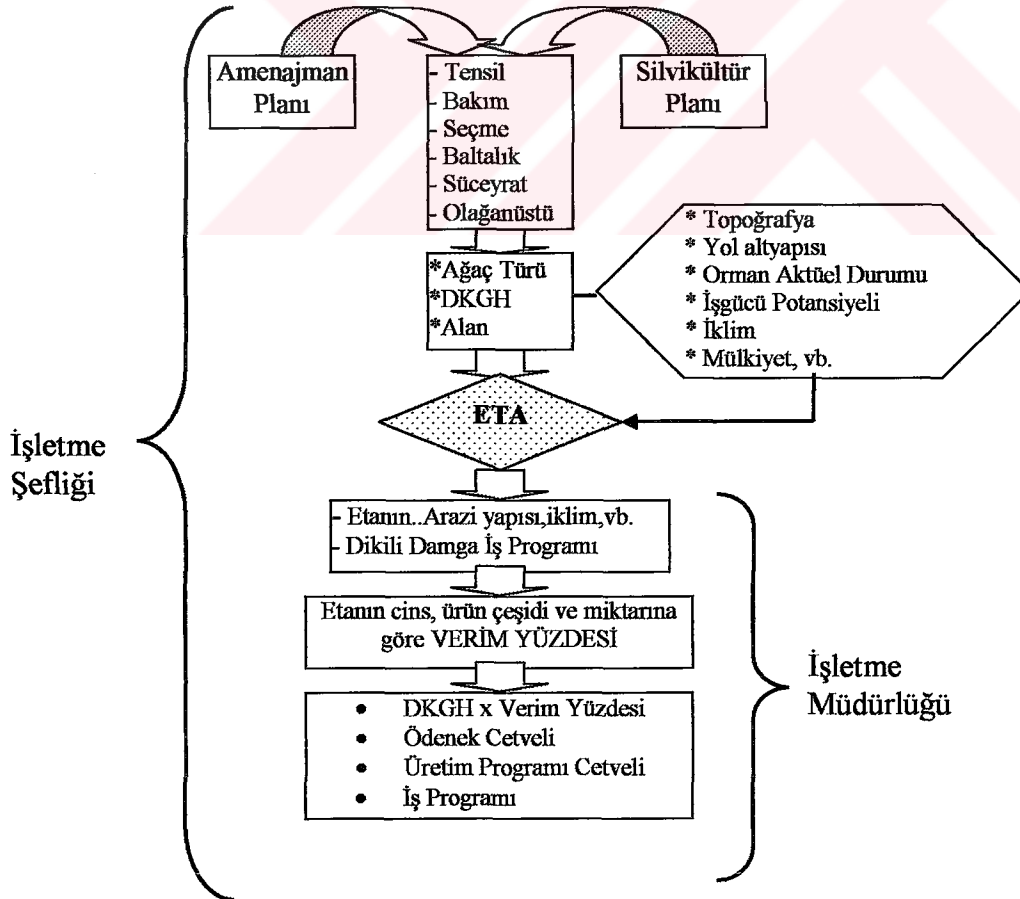
3. BULGULAR

3.1. Sistem Analizine Ait Bulgular

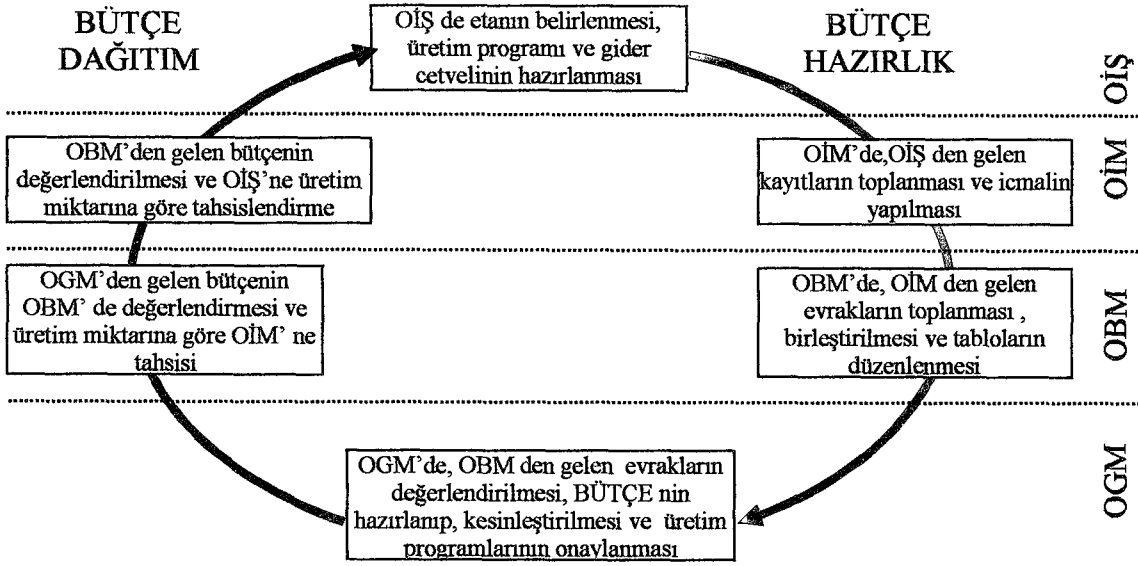
3.1.1. Yönetmel Süreç Analizi

Yönetmel süreç analizi; odun tedarik zinciri içerisinde operasyonel planlamaya ihtiyaç olup olmadığı, ihtiyaç halinde varolan işleyiş sistemiyle nasıl koordine edileceği ve ne gibi yararlılıklar sağlayacağıının belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Buna göre, yönetmel kararların, OGM (1996)' nün yürürlükteki "Asli Orman Ürünlerinin Üretim İşlerine Ait 288 Sayılı Tebliğ" kuralları gereğince alındığı belirlenmiştir (Şekil 15).

Yönetmel süreç (bir bölme hakkında üretim kararının nasıl alındığına ilişkin karar süreci); bütçe teklifi hazırlama çalışmaları ile bütçe kesinleştikten sonra, bütçenin işletme birimlerine dağıtımındaki iş akışından oluşur (Şekil 16).



Şekil 15. Odun Üretiminde Yönetmel Süreç (İşletme Şefliği ve Müdürlüğü Düzeyi)



Şekil 16. Odun Üretiminde (Yıllık)Yönetsel Süreç

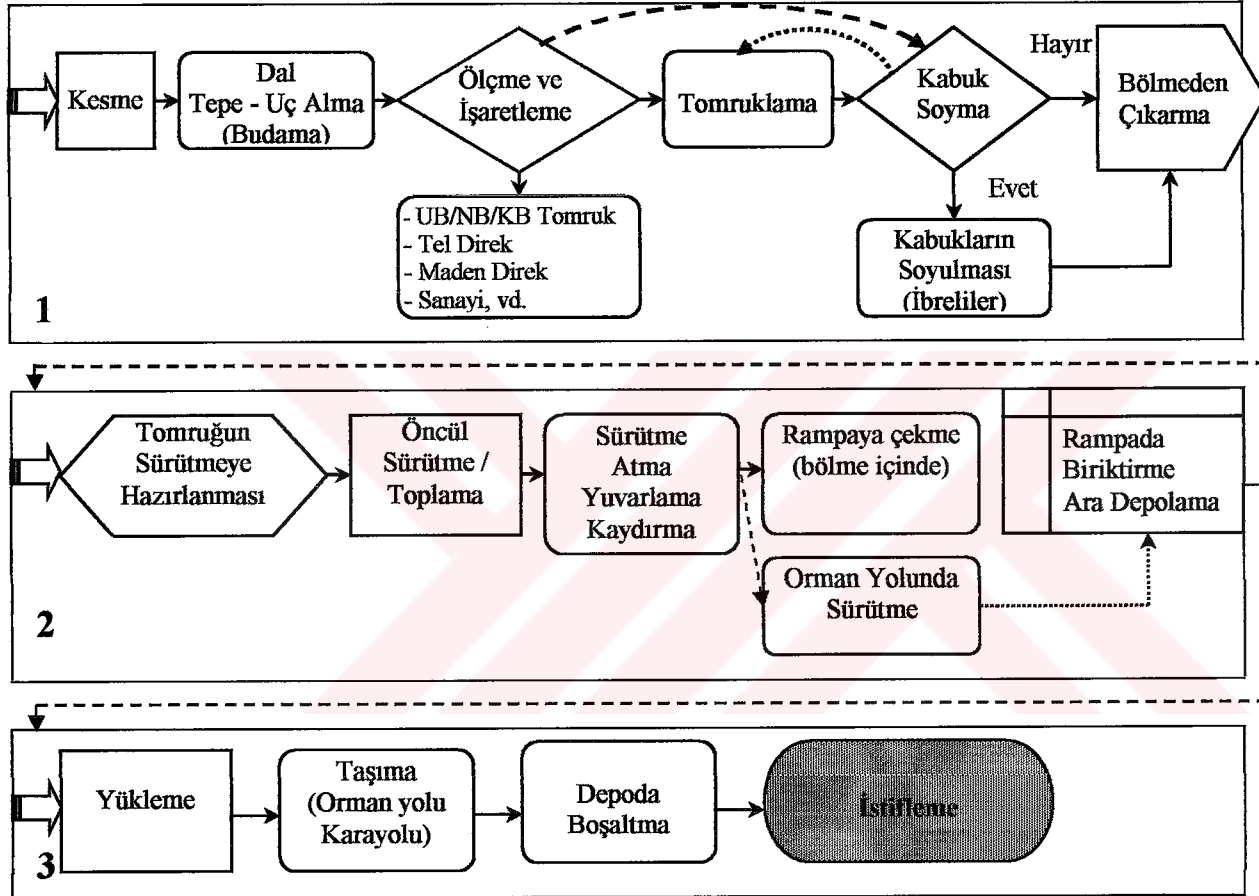
Bütçe teklif hazırlığı, işletme şefliği ve işletme müdürlüğü düzeyinden başlayarak genel müdürlük düzeyine doğru bir seyir izlemektedir. Bütçe hazırlık aşamasında tasarlanan üretim programları, bütçe kesinleştikten sonra uygulanmak üzere kabul edilmektedir. Uygulamada üretim programları, iş programı veya iş planı olarak da anılabilmektedir. Üretim programları, üretim işleri için her ay bir miktar ödeme yapılacak şekilde hazırlanmaktadır. Program, cetveller biçiminde düzenlenmekte ve hangi ayda ne miktarda üretim yapılacağını işaret etmektedir.

Yıllık üretim programının (bütçe) hazırlık aşamasında etanın alınabilmesinde; silvikültürel esaslar, çimlenme zamanı, köylülerin işgücü miktarı, köylülerin gelir durumları, işletmenin gelir durumu, eşit ürün akışı, eşit alanda işlem, depo stoğu vb. özellikler, bu karar mekanizmasına katılmaktadır.

3.1.2. Teknik – Mekanik Üretim Süreci

Sistem analizinin ikinci kısmı ve operasyonel planlama modelinde kullanılacak sistem dinamiklerinin belirlendiği kısım, odun üretiminin teknik sürecidir. Odun üretim operasyonlarının iş evreleri ve operasyonel planlama modelinin maliyet kalemleri bu sürecin analizine dayandırılmıştır. Odun hammaddesi üretiminin teknik süreci; (1) kesme, (2) bölmeden çıkarma ve (3) taşıma olmak üzere 3 ana bileşenden oluşmaktadır. Yükleme, boşaltma ve istifleme işleri de ara bileşen olarak taşıma operasyonları içinde yerini alır.

Kesme, budama, tomruklama (1) ve bölmeden çıkarma işleri (2) bölme içinde gerçekleştirilmektedir. Kabuk soyma işlerinin ise Kızılcıçam ağaç türü için yapılan gözlemlerde, bölme içinde gerçekleştirildiği belirlenmiştir. Ancak, kabuk soyma işlerinin bazen yol kenarında da yapılabildiği görülmüştür. Yükleme işleri orman yolu üzerinde yapılmakta olup taşıma işleri (3) orman yolu ve karayolu üzerinde gerçekleştirilmektedir (Şekil 17).



Şekil 17. Odun Hammaddesi Üretim Sisteminde İş Akışı (Teknik Süreç)

3.1.3. Odun Hammaddesi Üretiminde Kullanılan Teknoloji Düzeyi

Planlama alanında, kesme devirme işleri için motorlu testere kullanılmakta olup yardımcı araç olarak ahşap ve metal kamalar kullanılmaktadır. Budama işlerinde ise motorlu testere, balta ve tahra kullanılmaktadır. Tomruklama için 1 m' lik ölçü demiri ve motorlu testere kullanılmaktadır. Kabukların soyulmasında balta kullanılmakta olup, motorlu testereye monteli kabuk soyma ekipmanının da bu yörede kullanılabilir olduğu belirlenmiştir. Bölmeden çıkarma işleri yörede, halihazırda % 70' in üzerindeki bir oranla

insan gücü ve yerçekiminin etkisinden yararlanılarak yürütülmektedir. Hayvan gücü ve traktör gücünün kullanım oranı % 30 civarındadır. Orman traktörlerinin ise nadiren kiralandığı belirtilmektedir. Yörede hava hattı ve oluk sistemleri ile harvester ve forwarder gibi ileri teknolojinin kullanıldığına rastlanmamakla birlikte; bunların teknik olarak kullanılabilirliği imkan dahilindedir.

Yükleme işlerinde ise, % 50 oranında traktöre monteli çeneli yükleyici; % 50 oranında ise elle yükleme yapıldığı belirlenmiştir. Taşıma işleri ise kamyonla yapılmakta olup, depoya yakın bakım bölmelerinde yol standartlarının uygun olması halinde traktör treylerden yararlanıldığı belirlenmiştir.

3.2. Topoğrafik-Teknik Analize Ait Bulgular

3.2.1. Arazi Sınıflandırması

Operasyonel planlamada her bir bölmenin eğim değerleri fonksiyonel arazi sınıflandırmasına (Tablo 23) göre harita üzerinde işaretlenmiştir (Ek Şekil 1).

Operasyonel planlama modelinin test edilmesi amacıyla seçilen Aşağıgökdere OİŞ' de OP yılı içinde odun üretimi yapılacak bölmelerin çoğunluğu 2 nolu eğim grubu ve dik arazi sınıfı içinde yer almaktadır. OP yılı içinde üretim yapılacak bölme alanlarının % 22'si orta eğimli arazi; %68' i dik arazi; % 10' u çok dik arazi sınıfı içinde yer almaktadır. Öte yandan, OP yılı etasının % 71' inin dik arazi üzerinde yer aldığı belirlenmiştir.

Tablo 23. Fonksiyonel arazi sınıflandırmasına göre bölmelerin eğim değerleri

Bölme No	Alan (ha)	Eta (m ³)	Ağırlıklı Ortalama Eğim (%)	Eğim Grubu	Arazi Sınıfı
47	21,58	4306	33	1	Orta Eğimli Arazi
67	32,73	8625	48	2	Dik Arazi
203	23,59	5026	36	2	Dik Arazi
113	46,69	750	63	3	Çok Dik Arazi
114	51,44	557	38	2	Dik Arazi
115	26,55	270	44	2	Dik Arazi
116	59,32	818	35	2	Dik Arazi
132	42,40	575	42	2	Dik Arazi
135	52,25	656	45	2	Dik Arazi
152	49,83	694	48	2	Dik Arazi
153	46,62	670	30	1	Orta Eğimli Arazi
154	41,15	585	33	1	Orta Eğimli Arazi
Toplam	494,21	23532			

3.2.2. Mevcut Orman Yol Ağı Altyapısı

OP yılındaki bölmelere ulaşılabilirliğin ve işletmeye açma oranının analizi için orman yol yoğunlukları, “itibari yol yoğunluğu”na göre bulunmuştur. Elde edilen bulgulara göre, orman yol yoğunluklarının tüm bölmelerde yüksek ve çok yüksek olduğu; işletmeye açma oranlarının ise çok iyi olduğu bulunmuştur (Tablo 24). Buna göre, OP’ye konu alanda, orman yolları ile işletmeye açma oranı; ideal işletmeye açma oranı olarak bilinen 20 m/ha oranından oldukça yüksek bulunmuştur.

Operasyonel planlamada üretime açılacak alanların çoğunluğunun dik arazide bulunmasından dolayı traktörlerle bölmeden çıkarma faaliyetlerinde 47, 67 ve 203 no’lu gençleştirme bölmelerinde, traktör yollarının yapılmasına karar verilmiştir. Traktör yollarının eklenmesiyle bu bölmelerde lokal bazda (yalnızca bölme yada üretim ünitesi alanı için) yol yoğunluğu sırasıyla; 60,7 m/ha’ a, 108m/ha’ a ve 78 m/ha’ a yükselmiştir. Ayrıca, traktör yollarının yapım maliyetleri, yalnızca yolun yapıldığı bölmelerin operasyon maliyetlerine yüklenmiştir.

Tablo 24. Orman yol yoğunluğu ve yollarla işletmeye açma oranı

Bölme No	Eta (m ³)	Alan (ha)	Orman Yolu* Uzunluğu (m)	Yol Yoğunluğu (m/ha)		İşletmeye Açma Oranı (%)
47	4306	21,58	625,56	28,98	(Yüksek)	Çok İyi
67	8625	32,73	1310,32	40,02	(Çok Yüksek)	Çok İyi
203	5026	23,59	991	42,01	(Çok Yüksek)	Çok İyi
113	750	46,69	1623,96	34,78	(Yüksek)	Çok İyi
114	557	51,44	2545,92	50	(Çok Yüksek)	Çok İyi
115	269	26,5	1523	57	(Çok Yüksek)	Çok İyi
116	818	60,45	2515,53	41,63	(Çok Yüksek)	Çok İyi
132	575	42,41	2224,79	52	(Çok Yüksek)	Çok İyi
135	656	52,25	1625,35	31	(Yüksek)	Çok İyi
152	693	49,83	1457,38	29,24	(Yüksek)	Çok İyi
153	670	46,62	1254,84	26,91	(Yüksek)	Çok İyi
154	585	41,16	1077,05	26,16	(Yüksek)	Çok İyi

* Bölme içi ve/veya kenarında yer alan ve bölmeyi işletmeye açabilen yollardır

3.2.3. Alternatif Odun Üretim Sistemlerinin Belirlenmesi

Alternatif üretim sistemi kombinasyonları, fonksiyonel arazi sınıflandırmasına göre her bölmede eğim grupları dikkate alınarak listelenmiştir. Arazi sınıflandırması aşamasından hemen sonra topoğrafik ve teknik kriterlere göre alternatif üretim sistemleri belirlenebilmiştir.

Son hasılat etasının alınacağı gençleştirme bölmelerinde (47, 67, 203), ürün boyutlarından dolayı (çap ve boy) olukla bölmeden çıkarmanın fonksiyonu olan 3 no'lu sistem kullanılır bulunmamıştır. Öte yandan, bakım bölmelerinde gerek etanın azlığı, gerekse üretimin meşcerenin değişik yerlerinde yürütülmesi hava hattı sisteminin fonksiyonu olan 8 ve 9 no'lu üretim sistemi kombinasyonları açısından uygun görülmemiştir.

Üretim sistemlerinin seçimine yönelik analitik bir değerlendirmeye geçmeden önce topoğrafik ve teknik kriterler dikkate alınarak alternatif sistemler yalınlaştırılmıştır. Buna göre de matematiksel modellemede baz alınacak alternatif sistem kombinasyonları aşağıdaki gibi sıralanmıştır (Tablo 25). Bu bulgular, operasyonel karar verme sürecinde kullanılmıştır.

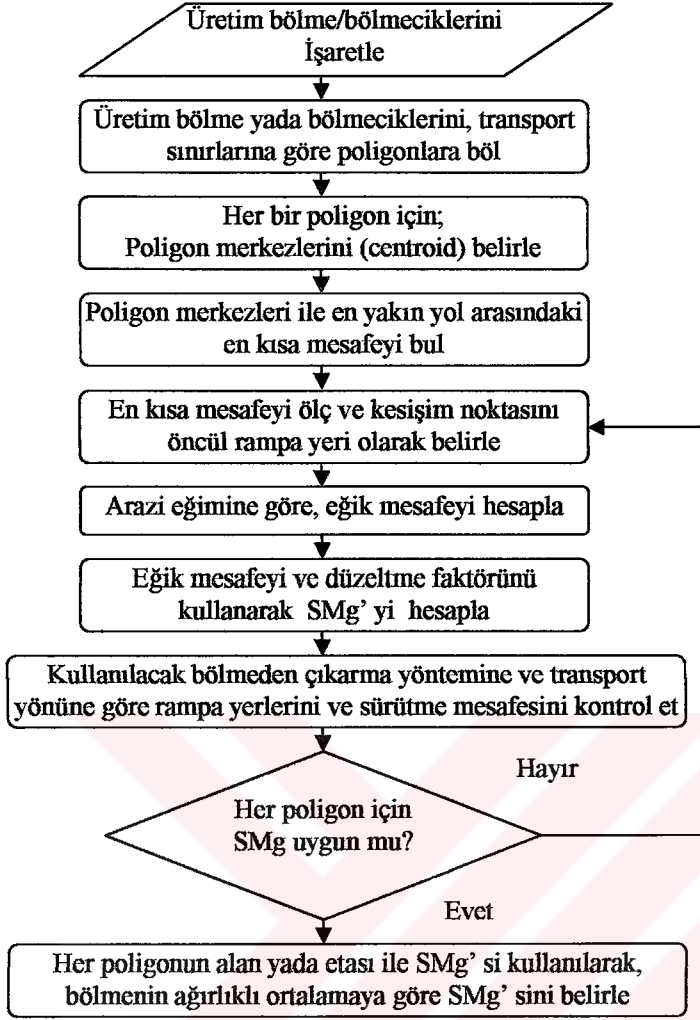
Tablo 25. Topoğrafik ve teknik kriterlere uygun alternatif üretim sistemleri

Bölme No	Eğim (%)	Uygulanabilir Alternatif Üretim Sistemleri (Sistem No)
47	33	(1); (2); (4); (5); (6); (7); (8); (9); (10)
67	48	(1); (4); (5); (7); (8); (9); (10)
203	36	(1); (4); (5); (7); (8); (9); (10)
113	63	(1); (3); (4); (5); (7)
114	38	(1); (3); (4); (5); (7); (10)
115	44	(1); (3); (4); (5); (7); (10)
116	35	(1); (3); (4); (5); (7); (10)
132	42	(1); (3); (4); (5); (7); (10)
135	45	(1); (3); (4); (5); (7); (10)
152	48	(1); (3); (4); (5); (7); (10)
153	30	(1); (2); (3); (4); (5); (6); (7); (10)
154	33	(1); (2); (3); (4); (5); (6); (7); (10)

3.2.4. Sürütme Mesafeleri ve Rampa Yerlerinin Belirlenmesi

Bölmeden çıkarma yöntemi ve muhtemel rampa yerleri dikkate alınarak sürütme mesafesinin hesaplanmasına ilişkin geliştirilen aşağıdaki algoritmanın OP yönteminde kullanılabilirliği uygun bulunmuştur (Şekil 18).

Bu algoritmanın Arcview yazılımında uygulanmasıyla, her bir bölme için ağırlıklı ortalamaya göre SMg'leri ve SMg'lerden hareketle de bölme yada üretim ünitesinin sürütme mesafesi belirlenebilmiştir. Her poligona atanan rampa yerleri kontrol edilerek bölme için ortalama rampa yerleri ve buna bağlı da sürütme mesafeleri yeniden belirlenmiştir (Tablo 26).



Şekil 18. Gerçek Ortalama Sürütme Mesafesinin hesaplanmasında iş akışı

Tablo 26. Bölmeden Çıkarma tekniklerine göre sürütme mesafeleri

Sistem No	Sürütme Mesafesi (SMg)							
	1 & 5	2 & 6	3	4 & 7			8 & 9	10
Bölme No	İnsan Gücü	Hayvan Gücü	Plastik Oluk	TYSM	TKÇM	KAYM	Hava Hattı	Forwarder
47	243	200	220	120	60	70	200	250
67	213	240	215	150	60	40	210	250
203	218	193	190	120	60	70	200	250
113	249	273	250	110	60	100	250	270
114	250	311	250	60	50	80	250	190
115	168	163	180	50	60	50	170	160
116	187	187	185	80	60	120	190	260
132	213	205	200	90	60	150	210	300
135	175	295	175	70	60	130	175	260
152	266	215	215	80	60	110	265	250
153	342	300	300	150	60	150	300	360
154	242	255	245	130	60	150	240	340

3.3. Maliyet Analizlerine Ait Bulgular

3.3.1. Kesme Maliyetlerinin Hesaplanması

Operasyonel planlama modelinde konu edinilen alanda, “motormanuel, motormotor ve harvester” olmak üzere 3 alternatif kesme tekniği kombinasyonunun kullanılabilceği belirlenmiştir.

Motormanuel kesme tekniğinde, motorlu testere ve insan gücünden yararlanılmaktadır (Tablo 27). Dikili ağaç dibinde, motorlu testere kesme hazırlığı (kök şişkinliklerinin giderilmesi ve kesim alanının hazırlanması) ile çalıştırılmaya başlanmakta ve tomruklama sonunda durdurulmaktadır. Hemen ardından insan gücüne bağlı olarak balta ile kabukların soyulmasına başlanmaktadır.

Tablo 27. Motormanuel kesme tekniğinin özellikleri

Kesme Tekniği	İş Aşamaları	Kullanılan Araçlar
Motormanuel	Kesme	Motorlu testere
	Budama ve Tomruklama	Motorlu testere
	Kabukların Soyulması	Elle (balta)

Kesme sürecinde bir operatör ve bir yardımcısı; dalların budanması ve kabukların soyulması sırasında ekip olarak ortalama 4 yada 5 işçi ile çalışıldığı belirlenmiştir. Dikiliden, kabukları soyulmuş 1 m³ odun hammaddesi elde etmede her bir bölmedeki kesme süreci için ortalama verim ve maliyetler, Tablo 28’ deki gibi bulunmuştur.

Tablo 28. Motormanuel kesme tekniğine göre ortalama verim ve maliyet bileşenleri

Bölme No	Eğim (%)	Eta (m ³)	Verim (saat/m ³)	Maliyet (\$/m ³)
47	33	4306	1,16	1,79
67	48	8625	1,24	1,90
203	36	5026	1,24	1,92
113	63	750	4,35	6,47
114	38	557	1,66	2,53
115	44	269	1,73	2,68
116	35	818	1,41	2,17
132	42	575	2,04	3,25
135	45	656	1,51	2,35
152	48	693	2,49	3,53
153	30	670	1,74	2,71
154	33	585	1,65	2,52

Motorlu kesme tekniğinde (motormotor); kesme, budama ve tomruklama işlerinin motorlu testere ile yapılması yanında, kabukların soyulmasında da motorlu testerenin kullanıldığı tekniktir (Tablo 29).

Tablo 29. Motorlu kesme tekniğinin özellikleri

Kesme Tekniği	İş Aşamaları	Kullanılan Araçlar
Motormotor	Kesme	Motorlu testere
	Budama ve Tomruklama	Motorlu testere
	Kabukların Soyulması	Motorlu testere

Motormanuel tekniğe nazaran motormotor teknikte “kabuk soyma aparatı/aleti” olarak bilinen motorlu testereye monte edilen ekipmandan yararlanılmaktadır (Ek Şekil 2). Türkiye’ de imal edilen bu sistem; tomrukların yüzeyinde adeta tıraş bıçağı gibi hareket ettirmek suretiyle kabukların soyulmasını sağlamaktadır. Kısmi etütlere ve bu aleti kullanan operatörlerden alınan bilgilere göre, kabuk soyma zamanında en kötü ihtimalle 1/3 oranında zaman tasarrufu sağlanabildiği belirlenmiştir.

Bu durumda, kabukların soyulması zamanından kaynaklanan toplam sürenin azaltıldığı ve dolayısıyla verimin arttığı; ancak gençleştirme bölmelerinde kesilen ağaç çaplarının kalın olması nedeniyle kabuk soyma yüzeyinin ve motorlu testerenin çalıştırılma süresinin arttığı ve buna göre maliyetin de arttığı belirlenmiştir (Tablo 30).

Tablo 30. Motorlu kesme tekniğine göre ortalama verim ve maliyet bileşenleri

Bölme No	Eğim (%)	Eta (m ³)	Verim (saat/m ³)	Maliyet (\$/m ³)
47	33	4306	0,72	1,94
67	48	8625	0,74	1,99
203	36	5026	0,75	2,03
113	63	750	1,58	4,28
114	38	557	0,86	2,32
115	44	269	0,91	2,45
116	35	818	0,79	2,14
132	42	575	1,05	2,85
135	45	656	0,84	2,27
152	48	693	0,95	2,58
153	30	670	0,92	2,47
154	33	585	0,86	2,31

Harvester ile kesme tekniğinde; kesme, budama ve tomruklama işleri ile kabukların soyulması işlerinin de harvester ile yapılması planlanmıştır (Tablo 31).

Tablo 31. Harvester kesme tekniğine göre ortalama verim ve maliyet bileşenleri

Bölme No	Eğim (%)	Eta (m ³)	Verim (saat/m ³)	Maliyet (\$/m ³)
47	33	4306	0,05	4,52
67	48	8625	0,05	4,57
203	36	5026	0,05	4,64
113	63	750	0,06	5,86
114	38	557	0,05	5,33
115	44	269	0,06	5,54
116	35	818	0,05	5,00
132	42	575	0,07	6,45
135	45	656	0,05	5,28
152	48	693	0,05	5,21
153	30	670	0,06	5,52
154	33	585	0,05	5,17

3.3.2. Bölmeden Çıkarma Maliyetlerinin Hesaplanmasına Ait Bulgular

Operasyonel planlamaya konu olan yörede odun hammaddesinin insan gücüyle bölmeden çıkarılmasında; yerçekiminin etkisinden yararlanılarak veya kuru dere yataklarında ahşap oluklara benzer yapının oluşturulması ile kaydırma, atamaklardan yuvarlamak suretiyle atma ve yamaçta yuvarlama şeklinde, aşağı doğru bölmeden çıkarma tekniği kullanılmaktadır. Bölme içinde arazi eğiminin elverdiği lokal yerlerde ise tomruklar sapın yardımıyla; yamaç aşağı, nadiren yamaç yukarı ve çoğunlukla da eşyükselti eğrilerine paralel şekilde çekilmektedir.

Hayvan gücüyle bölmeden çıkarmada, yörede katır ve at kullanılmaktadır. Her iki hayvan türü hem binek hem de tarımsal faaliyetlerde kullanıldığından yörede kolayca elde edilebilmektedir. Bölmeden çıkarma yönü, eğimin % 33' e kadar olduğu alanlarda her iki yönde gerçekleştirilse de bölme içindeki lokal eğimler, hayvanların kullanılması konusunda belirleyici olmaktadır. Hayvan gücüyle, zeminde sürütmek suretiyle bölmeden çıkarma tekniği uygulanmaktadır. Bu sırada, hayvanlar koşum takımları ile donatılıdır ve tomruklar bir zincir yardımıyla çekilmektedir.

Planlamaya konu olan bölmeler için insan ve hayvan gücüyle bölmeden çıkarma maliyeti hesaplanmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir (Tablo 32 ve Tablo 33).

Tablo 32. İnsan gücüyle bölmeden çıkarma maliyetleri

Bölme No	Ortalama Eğim (%)	Eta (m3)	Sürütme Mesafesi (m)	Verim (saat/m3)	Maliyet (\$/m3)
47	33	4306	243	2,67	5,16
67	48	8625	213	2,34	4,52
203	36	5026	218	2,41	4,65
113	63	751	249	2,74	5,29
114	38	557	250	2,76	5,32
115	44	269	168	1,86	3,58
116	35	818	187	2,07	3,99
132	42	576	213	2,35	4,54
135	45	656	175	1,93	3,72
152	48	693	266	2,93	5,67
153	30	670	342	3,77	7,28
154	33	585	242	2,67	5,16

Tablo 33. Hayvan gücüyle bölmeden çıkarma maliyeti

Bölme No	Ortalama Eğim (%)	Eta (m3)	Sürütme Mesafesi (m)	Verim (saat/m ³)	Maliyet (\$/m3)
47	33	4306	200	1,87	3,09
67	48	8625	240	2,48	3,97
203	36	5026	193	1,80	2,98
113	63	751	273	2,82	4,51
114	38	557	311	3,21	5,14
115	44	269	163	1,52	2,52
116	35	818	187	1,75	2,89
132	42	576	205	2,12	3,39
135	45	656	295	3,05	4,88
152	48	693	215	2,22	3,56
153	30	670	300	3,10	4,96
154	33	585	255	2,64	4,22

Operasyonel planlama alanında, tarım traktörlerinin bölmeden çıkarma faaliyetlerinde etkin olarak kullanıldığına rastlanmamıştır. Ancak, orman yolu ile dere arasında kalan ürünlerin yola çekilmesinde, tarım traktörlerinin kullanıldığı belirtilmiştir. Tarım traktörlerinin tambur donanımlı olarak; kablolu çekim ve traktör ya da orman yolunda zeminde sürütme işinde çalıştırıldığı gözlenmiştir.

Traktörle bölmeden çıkarmanın operasyon maliyetlerine, traktör yolu yapımı maliyetleri de eklenmiştir. Traktör yolu maliyetleri yalnızca bu yollardan taşınacak ürünlere yansıtılmış olup Tablo 34' deki gibi bulunmuştur. Tarım ve orman traktörleriyle bölmeden çıkarma maliyetleri ve çalışma verimleri konusunda aşağıdaki bulgular elde edilmiştir (Tablo 35 ve Tablo 36).

Tablo 34. Traktör yolu inşaat maliyetinin hesaplanması

Bölme No	Planlanan Traktör Yolu Uzunluğu (m)	Traktör Yolunda Taşınacak Hacim (m ³)	Yol Maliyeti (\$/m)	Toplam Maliyet (\$)	Ürüne Yansıyan Maliyet (\$/m ³)
47	685,31	4306	0,7	479,717	0,11
67	2237,7	8625	0,7	1566,39	0,18
203	867,5	5026	0,7	607,2661	0,12

Tablo 35. Tarım Traktörleriyle bölmeden çıkarma maliyeti ve verimi

Bölme No	Planlanan Traktör Yolu Uzunluğu (m)	Yol Yoğunluğu (m/ha)	Traktörle Kablo Çekim Alanı (ha)	Kaydırarak Sürütme Alanı (ha)	Traktörle Yolda Sürütme Mesafesi (m)	Traktörle Kablo Çekim Mesafesi (m)	Kaydırarak Sürütme Mesafesi (m)	Traktörle Bölmeden Çıkarma Maliyeti \$/m ³	Traktörle Bölmeden Çıkarma Verim saat/m ³
47	685	61	0,43	0,57	120	60	70	3,40	0,77
67	2238	108	0,447	0,553	150	60	40	3,47	0,63
203	868	78	0,47	0,53	120	60	70	3,43	0,75
113	-	34,78	0,208	0,792	110	60	100	3,62	1,12
114	-	50	0,344	0,656	60	50	80	2,63	0,78
115	-	57	0,55	0,45	50	60	50	2,35	0,49
116	-	41,63	0,25	0,75	80	60	120	3,54	1,21
132	-	52	0,293	0,717	90	60	150	4,14	1,43
135	-	31	0,3	0,7	70	60	130	3,53	1,21
152	-	29,24	0,21	0,79	80	60	110	3,39	1,16
153	-	26,91	0,162	0,838	150	60	150	5,05	1,70
154	-	26,16	0,157	0,843	130	60	150	4,79	1,67

Tablo 36. Orman traktörüyle bölmeden çıkarma maliyeti ve verimi

Bölme No	Planlanan Traktör Yolu Uzunluğu (m)	Yol Yoğunluğu (m/ha)	Traktörle Kablo Çekim Alanı (ha)	Kaydırarak Sürütme Alanı (ha)	Traktörle Yolda Sürütme Mesafesi (m)	Traktörle Kablo Çekim Mesafesi (m)	Kaydırarak Sürütme Mesafesi (m)	Traktörle Bölmeden Çıkarma Maliyeti \$/m ³	Traktörle Bölmeden Çıkarma Verim saat/m ³
47	685	61	0,43	0,57	120	60	70	3,79	0,68
67	2238	108	0,447	0,553	150	60	40	3,93	0,53
203	868	78	0,47	0,53	120	60	70	3,74	0,65
113	-	34,78	0,208	0,792	110	60	100	3,90	1,05
114	-	50	0,344	0,656	60	50	80	2,64	0,70
115	-	57	0,55	0,45	50	60	50	2,23	0,39
116	-	41,63	0,25	0,75	80	60	120	3,74	1,14
132	-	52	0,293	0,717	90	60	150	4,29	1,35
135	-	31	0,3	0,7	70	60	130	3,63	1,14
152	-	29,24	0,21	0,79	80	60	110	3,60	1,10
153	-	26,91	0,162	0,838	150	60	150	5,53	1,62
154	-	26,16	0,157	0,843	130	60	150	5,21	1,60

Orman hava hatları, operasyonel planlama alanında kullanılmıyor olmasına rağmen, planlama kapsamında bölmeden çıkarma tekniği alternatif olarak kullanılabilirliği topoğrafik ve teknik olarak tespit edilmiştir. Hava hattının komşu OBM'lerden temin edilebileceği düşünülmüş ve URUS-MIII marka ve tipindeki orman hava hattının kullanılması durumunda ortaya çıkacak verim ve maliyetler hesaplanmıştır (Tablo 37).

Tablo 37. Orman hava hattı (URUS MIII) ile bölmeden çıkarma maliyeti ve verimi

Bölme No	Taşıma Mesafesi (m)	Çalışma Zamanı dak/sefer	Taşınan Ürün (m ³ /sefer)	Verim (saat/m ³)	Maliyet (\$/m ³)
47	200	10,89	1,5	0,121	2,01
67	210	11,14	1,5	0,124	2,05
203	200	10,89	1,5	0,121	2,01
113	250	12,16	1	0,203	3,36
114	250	12,16	1	0,203	3,36
115	170	10,12	1	0,169	2,79
116	190	10,63	1	0,177	2,94
132	210	11,14	1	0,186	3,08
135	175	10,25	1	0,171	2,83
152	265	12,55	1	0,209	3,47
153	300	13,45	1	0,224	3,72
154	240	11,91	1	0,199	3,29

Bölmeden çıkarma tekniği olarak Forwarder ile orman yolları üzerinde ve traktör yolları üzerinde taşıma yapılabileceği planlanmıştır. Elde edilen maliyet ve verim bileşenleri Tablo 38' de gösterilmiştir.

Tablo 38. Forwarder ile bölmeden çıkarma maliyeti ve verimi

Bölme No	Eğim (%)	Eta (m ³)	Taşıma Mesafesi (m)	Toplam Ç. Zamanı (saat)	Verim (saat/m ³)	Maliyet (\$/m ³)
47	33	4306	250	14,492	0,071	4,582
67	48	8625	250	14,492	0,071	4,582
203	36	5026	250	14,492	0,071	4,582
113	63	751	270	14,886	0,072	4,660
114	38	557	190	13,311	0,067	4,365
115	44	269	160	12,721	0,066	4,263
116	35	818	260	14,689	0,071	4,621
132	42	576	300	15,476	0,074	4,781
135	45	656	260	14,689	0,071	4,621
152	48	693	250	14,492	0,071	4,582
153	30	670	360	16,657	0,078	5,044
154	33	585	340	16,264	0,076	4,953

Planlama alanında, oluk sistemleri daha önceden kullanılmamış olmasına rağmen Türkiye’ de oluk sistemlerinin imal edilebiliyor ve başarıyla kullanılabilir olması (Acar, 2004) göz önünde bulundurularak bu yörede kullanılması planlanmıştır. Alternatif bir bölmeden çıkarma tekniği olan oluk sistemleri, bakım bölmelerinde hesaplanan orta çaplara göre teknik olarak uygun bir sistem olduğundan, tercih edilebilir bulunmuştur. Oluk sistemiyle bölmeden çıkarma operasyonları için yapılan hesaplamalarda Tablo 39’ daki bulgular elde edilmiştir

Tablo 39. Oluk sistemiyle bölmeden çıkarma maliyetleri ve verim değerleri

Bölme No	Sürütme mesafesi (m)	Olukla Çalışma Zamanı (dak/m ³)	Verim (Saat /m ³)	Maliyet (\$/m ³)
47	220	18,16	0,30	3,82
67	215	17,74	0,30	3,73
203	190	15,74	0,26	3,31
113	250	20,63	0,34	4,34
114	250	20,68	0,34	4,35
115	180	14,91	0,25	3,14
116	185	15,33	0,26	3,23
132	200	16,56	0,28	3,49
135	175	14,46	0,24	3,04
152	215	17,79	0,30	3,75
153	300	24,81	0,41	5,22
154	245	20,28	0,34	4,27

3.3.3. Taşıma (Uzak Nakliyat) Maliyetlerinin Hesaplanmasına Ait Bulgular

Taşıma maliyetleri; yol kenarı yada rampa yerine getirilmiş bulunan odun hammaddesinin orman (satış) deposuna kadar taşınması sürecindeki maliyetleri içermektedir. Bölmenin (rampanın) depo ile uzaklığına, kat edilen yolların kalitesine (asfalt, stabilize, ham/toprak yol), aracın hızına, bir defada taşınabilen odun ürün miktarına bağlı olarak maliyetlerin oluştuğu belirlenmiştir.

Elde edilen bulgular, tabloların kısaltılması ve anlaşılması kolaylığı amacıyla, bölme-depo arasındaki en kısa mesafeye göre bulunan maliyet ve verimleri ifade edecek şekilde aşağıda verilmiştir (Tablo 40).

Tablo 40’da 10 ve 11 nolu sütunlarda makineli ve elle yüklemenin yapılması durumundaki toplam maliyet ifade edilmektedir. Verim miktarları (12 ve 13. sütun) da makineli ve elle yükle halindeki taşıma verimini ifade etmektedir.

Tablo 40. Taşıma verim ve maliyetleri ile bileşenleri

Bölme No	Rampa no	Depo	Rota	YOL UZUNLUĞU (m)				MALİYET (\$/m ³)			VERİM (saat/m ³)	
				Asfalt	Stabilize	Ham/toprak	Toplam	Kamyon Yürütme	f (makinele yük.)	f (elle yükleme)	f (makinele yük.)	f (elle yükleme)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
47	470/1	2	1	9,69	3,19	0,87	13,75	0,54	2,78	3,25	0,21	0,34
	470/1	2	2	12,64	2,24	1,24	16,12	0,62	2,86	3,34	0,22	0,35
67	3	2	1	9,69	0,65	0,00	10,34	0,34	2,58	3,06	0,18	0,31
	4	2	2	9,69	0,32	0,74	10,75	0,40	2,63	3,11	0,19	0,32
203	2031	1	1	3,53	0,00	0,37	3,9	0,15	2,38	2,86	0,15	0,29
	2032	1	2	1,81	3,53	-	5,34	0,22	2,46	2,94	0,16	0,30
113	1134	1	1	1,81	6,01	-	7,82	0,33	2,57	3,05	0,18	0,31
	6	1	2	0,00	6,10	-	6,1	0,28	2,52	3,00	0,17	0,31
	1134	2	1	6,38	7,40	-	13,78	0,55	2,78	3,26	0,21	0,34
114	1142	1	1	0,00	5,73	-	5,73	0,26	2,50	2,98	0,17	0,30
	8	1	2	1,81	6,98	-	8,79	0,38	2,62	3,09	0,19	0,32
	1142	2	1	6,38	7,49	-	13,87	0,55	2,79	3,27	0,21	0,34
115	1154	1	1	1,81	2,31	-	4,12	0,16	2,40	2,88	0,16	0,29
	1154	2	1	6,38	9,78	-	16,16	0,66	2,89	3,37	0,22	0,36
116	1169	1	1	1,81	2,48	0,40	4,69	0,21	2,45	2,92	0,16	0,30
	1169	2	1	6,38	9,62	0,40	16,4	0,69	2,92	3,40	0,23	0,36
132	1321	1	1	0,00	0,51	1,47	1,98	0,16	2,40	2,87	0,16	0,29
	1321	1	2	2,61	5,55	2,36	10,52	0,56	2,79	3,27	0,21	0,34
	1321	2	1	8,04	1,13	1,47	10,64	0,45	2,68	3,16	0,20	0,33
135	1351	1	1	1,81	3,87	-	5,68	0,24	2,47	2,95	0,17	0,30
	1352	1	2	1,81	6,02	-	7,83	0,34	2,57	3,05	0,18	0,31
	1351	2	1	6,38	9,25	-	15,63	0,63	2,87	3,35	0,22	0,36
152	1525	1	1	0,00	4,95	0,62	5,57	0,28	2,52	3,00	0,17	0,31
	1522	1	2	2,61	4,38	1,23	8,22	0,40	2,64	3,11	0,19	0,32
	1525	2	1	6,38	1,05	0,62	8,05	0,31	2,55	3,03	0,18	0,31
	1522	2	2	9,69	15,23	0,62	25,54	1,07	3,31	3,78	0,28	0,42
153	1533	1	1	0,00	2,89	0,27	3,16	0,16	2,40	2,87	0,16	0,29
	1533	1	2	2,61	4,06	1,18	7,85	0,38	2,62	3,09	0,19	0,32
	1533	2	1	6,38	10,15	0,27	16,8	0,70	2,94	3,41	0,23	0,36
	1532	2	2	9,69	15,54	0,27	25,5	1,05	3,29	3,77	0,28	0,41
154	1541	1	1	0,00	3,26	-	3,26	0,15	2,39	2,86	0,15	0,29
	1541	1	2	2,61	4,44	1,45	8,5	0,42	2,66	3,14	0,19	0,33

3.3.4. Çok Kriterli Analizlere Ait Bulgular

3.3.4.1. Çevresel ve Kurumsal Etki Katsayısı

OP' da üretim sistemlerinin seçiminde; nitel olarak ifade edilen ancak, miktarsal olarak ölçülebilse de para değeri ile temsil edilemeyen teknik, ekonomik, ekolojik, sosyo-ekonomik ve ergonomik kriterlerden. her birini temsil eden 17 gösterge faktörün, çok kriterli analizlerle göreceli/görelî önemlilik değerleri, Tablo 11' de verilen sırasına göre aşağıdaki gibi bulunmuştur (17x1 boyutundaki sütun vektörü, yer kaplamaması için 1x17 boyutunda satır olarak ifade edilmiştir);

$$= [0,118; 0,069; 0,09; 0,095; 0,12; 0,06; 0,024; 0,015; 0,057; 0,062; 0,071; 0,025; 0,051; 0,017; 0,04; 0,047; 0,040]$$

Sistem seçiminde etkili olan kriterlerin ağırlıklı değerleri ile alternatif üretim sistemleri, analitik hiyerarşi sürecine göre değerlendirilmiştir. Bu işlemde, 17 kritere göre, her bir kesme ve bölmeden çıkarma tekniğinin sorgulaması ve aralarında kıyaslanması yapılarak her bir tekniğin belirlenmiş kriterlere göre ne kadar uygun olduğu (skor değeri ile) yada uygun olmadığı (etki değeri = ÇEK) tespit edilmiştir (Tablo 41).

Tablo 41. Çevresel ve kurumsal etki katsayısı (ÇEK)

	Sistem	SKOR	Sapma Değeri	Etki Katsayısı
Kesme	Motormanuel	6,261766	2,738234	0,304
	Motormotor	6,044846	2,955154	0,328
	Harvester	3,092698	5,907302	0,656
Bölmeden Çıkarma	Manuel	5,314971	3,685029	0,409
	Hayvan gücü	5,84703	3,15297	0,35
	Tarım Traktör	4,410982	4,589018	0,509
	Orman Traktörü	4,341483	4,658517	0,517
	Hava Hattı	6,503231	2,496769	0,277
	Oluk Sistemi	6,30223	2,69777	0,299
	Forwarder	3,854837	5,145163	0,571

Nitel değerlendirme sonuçlarına göre 17 kriter gözeticilerle yapılan değerlendirmede kesme sistemleri için matormanuel tekniğın en uygun olduğu belirlenmiştir. Bölmeden çıkarma sistemi için orman hava hattı sisteminin en yüksek skora sahip olduğu bulunmuştur. Etki katsayısı açısından ise; tersi durum söz konusu olup, çok kriterli

analizlere göre kesme teknikleri içinden harvester' in; bölmeden çıkarma teknikleri içinden de forwarder' in en yüksek etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Etki katsayısı; olumsuzluk göstergesi gibi düşünüldüğünde; teknoloji seçiminde tercih düzeyi en düşük olan tekniklerin harvester ve forwarder olduğu belirlenmiştir. Öte yandan bölmeden çıkarma tekniği olarak; orman traktörleri ve tarım traktörlerinin hava hattı, oluk sistemi ve hayvan gücüne göre oldukça yüksek ÇEK'e sahip olduğu bulunmuştur.

3.3.4.2. Periyot Etki Katsayısı

OP' de periyotlar arası karşılaştırmaların yapılabilmesi için, Tablo 16' da içeriği tanımlanan iklim elemanlarının mevsimlere göre ortalama değerleri alınarak yapılan puanlama sonucunda aşağıdaki uygunluk değerleri, I., II., III. ve IV. periyot için sırasına göre; 0,160; 0,358; 0,352; 0,128 olarak elde edilmiştir.

Buna göre, 2. periyodun (yaz sezonu) uygunluk değeri en yüksek bulunmuştur. Sıcaklık ve nem değerlerinin yüksek olmasına rağmen yağmur, don, sis, kapalılık, dolu, kuvvetli rüzgar, kar gibi iklim etkilerinin bu periyotta görülmemesi, 2. periyodun yüksek değer almasında etkili bulunmuştur. Uygunluk değerleri, ardışık adımlarda periyotlar arası karşılaştırmaların yapılmasında karar destek mekanizması olarak kullanılmıştır.

Periyotların önemlilik düzeyleri esas alınarak her bir kesme ve bölmeden çıkarma tekniği için AHP yönteminin kullanılmasıyla; her bir periyodun her bir sistemin kullanılması üzerindeki etkisi (PEK) belirlenmiştir (Tablo 42). Elde edilen bu sonuçlara göre, 12 kriter/faktör göz önüne alındığında her bir üretim sisteminin periyotlardan etkilenme düzeyi katsayılarla ifade edilebilmiştir.

Tablo 42. Periyot etki katsayıları (PEK)

	Sistem	I. Periyot	II. Periyot	III. Periyot	IV. Periyot
Kesme	MotorManuel	0,7119	0,1846	0,3264	0,77
	MotorMotor	0,8271	0,1846	0,3264	0,8467
	Harvester	0,8847	0,3658	0,4226	0,77
Bölmeden Çıkarma	Manuel	0,7695	0,4564	0,1339	0,4634
	Hayvan	0,7695	0,547	0,2302	0,6934
	Tartrak	0,8271	0,3658	0,1339	0,77
	Ortrak	0,8271	0,3658	0,1339	0,6934
	Hava hattı	0,7119	0,1846	0,2302	0,6167
	Oluk	0,5966	0,1846	0,1339	0,4634
	Forwarder	0,8847	0,1846	0,1339	0,77

3.3.4.3. Çevresel/Kurumsal ve Periyot Etki Maliyetleri

Operasyonel planlamanın çok kriterli analiz aşamasında elde edilen ÇEK ve PEK katsayıları (nitel değerleri) operasyon maliyetleri (Tablo 43) üzerine yüklenmiş ve çok yönlü nitel (CEM) ve maliyetler de elde edilmiştir (Tablo 44).

Tablo 43. Üretim tekniklerinin nicel operasyon maliyetleri (\$/m³)

Bölime No	Motormanuel	Motomotor	Harvester	Manuel	Hayvan Gücü	Tarım Traktörü	Orman Traktörü	Hava Hattı	Oluk Sistemi	Forwarder
47	1,79	1,94	4,52	5,16	3,09	3,51	3,89	2,01	3,82	4,58
67	1,90	1,99	4,57	4,52	3,97	3,64	4,11	2,05	3,73	4,58
203	1,92	2,03	4,64	4,65	2,98	3,55	3,86	2,01	3,31	4,58
113	6,47	4,28	5,86	5,29	4,51	3,62	3,90	3,36	4,34	4,66
114	2,53	2,32	5,33	5,32	5,14	2,63	2,64	3,36	4,35	4,36
115	2,68	2,45	5,54	3,58	2,52	2,35	2,23	2,80	3,14	4,26
116	2,17	2,14	5,00	3,99	2,89	3,54	3,74	2,94	3,23	4,62
132	3,25	2,85	6,45	4,54	3,39	4,14	4,29	3,08	3,49	4,78
135	2,35	2,27	5,28	3,72	4,88	3,53	3,63	2,83	3,04	4,62
152	3,53	2,58	5,21	5,67	3,56	3,39	3,60	3,47	3,75	4,58
153	2,71	2,47	5,52	7,28	4,96	5,05	5,53	3,72	5,22	5,04
154	2,52	2,31	5,17	5,16	4,22	4,79	5,21	3,29	4,27	4,95

Tablo 44. Üretim tekniklerinin ÇEK' e göre maliyetleri (\$/m³)

Bölime No	Motormanuel	Motomotor	Harvester	Manuel	Hayvan Gücü	Tarım Traktörü	Orman Traktörü	Hava Hattı	Oluk Sistemi	Forwarder
47	2,34	2,58	7,48	7,28	4,17	5,30	5,90	2,56	4,97	7,20
67	2,48	2,64	7,56	6,37	5,36	5,49	6,23	2,62	4,85	7,20
203	2,51	2,70	7,69	6,55	4,03	5,36	5,86	2,56	4,31	7,20
113	8,44	5,69	9,70	7,45	6,09	5,46	5,92	4,29	5,64	7,32
114	3,30	3,08	8,83	7,50	6,94	3,97	4,00	4,29	5,65	6,86
115	3,50	3,26	9,18	5,05	3,40	3,55	3,38	3,57	4,08	6,70
116	2,83	2,85	8,27	5,62	3,90	5,35	5,67	3,75	4,19	7,26
132	4,23	3,78	10,68	6,40	4,58	6,25	6,51	3,93	4,53	7,51
135	3,07	3,02	8,74	5,25	6,59	5,33	5,51	3,62	3,95	7,26
152	4,60	3,43	8,63	7,98	4,80	5,11	5,46	4,43	4,86	7,20
153	3,53	3,29	9,13	10,26	6,70	7,63	8,39	4,74	6,78	7,92
154	3,28	3,07	8,57	7,27	5,69	7,23	7,90	4,20	5,55	7,78

Her bir üretim tekniği için elde edilen periyot etki maliyetleri (PEM), periyot maliyeti olarak aşağıdaki tablolarda (45a, b, c, d) özetlenmiştir.

Tablo 45a. Üretim tekniklerinin I. PERİYOT' a göre maliyeti (\$/m³)

Bölme No	Motormanuel	Motormotor	Harvester	Manuel	Hayvan Gücü	Tarım Traktörü	Orman Traktörü	Hava Hattı	Oluk Sistemi	Forwarder
47	4,00	4,72	14,09	12,87	7,38	9,68	10,78	4,38	7,93	13,57
67	4,25	4,83	14,25	11,28	9,48	10,04	11,39	4,49	7,74	13,57
203	4,29	4,93	14,50	11,59	7,12	9,79	10,70	4,38	6,87	13,57
113	14,45	10,39	18,27	13,19	10,78	9,98	10,82	7,35	9,01	13,80
114	5,65	5,62	16,64	13,27	12,28	7,25	7,31	7,35	9,03	12,92
115	5,99	5,96	17,30	8,93	6,02	6,48	6,17	6,11	6,51	12,62
116	4,84	5,20	15,59	9,95	6,90	9,77	10,37	6,42	6,69	13,68
132	7,25	6,91	20,13	11,32	8,10	11,43	11,89	6,73	7,23	14,16
135	5,25	5,52	16,47	9,28	11,65	9,74	10,06	6,19	6,31	13,68
152	7,87	6,26	16,26	14,13	8,49	9,34	9,97	7,58	7,77	13,57
153	6,05	6,00	17,22	18,15	11,85	13,93	15,33	8,12	10,83	14,93
154	5,61	5,61	16,14	12,86	10,07	13,21	14,44	7,19	8,86	14,67

Tablo 45b. Üretim tekniklerinin II. PERİYOT' a göre maliyeti (\$/m³)

Bölme No	Motormanuel	Motormotor	Harvester	Manuel	Hayvan Gücü	Tarım Traktörü	Orman Traktörü	Hava Hattı	Oluk Sistemi	Forwarder
47	2,77	3,06	10,21	10,60	6,45	7,23	8,06	3,03	5,88	8,53
67	2,94	3,13	10,33	9,28	8,29	7,50	8,52	3,11	5,75	8,53
203	2,97	3,19	10,50	9,54	6,23	7,32	8,00	3,03	5,10	8,53
113	10,00	6,74	13,24	10,86	9,43	7,46	8,09	5,09	6,68	8,67
114	3,91	3,65	12,06	10,92	10,74	5,42	5,46	5,09	6,70	8,12
115	4,15	3,86	12,53	7,35	5,26	4,84	4,61	4,23	4,83	7,93
116	3,35	3,37	11,30	8,19	6,03	7,30	7,75	4,44	4,97	8,60
132	5,01	4,48	14,59	9,32	7,08	8,54	8,89	4,66	5,36	8,90
135	3,63	3,58	11,93	7,64	10,19	7,28	7,52	4,28	4,68	8,60
152	5,45	4,06	11,78	11,63	7,42	6,98	7,45	5,25	5,76	8,53
153	4,19	3,89	12,48	14,94	10,36	10,41	11,46	5,62	8,04	9,39
154	3,89	3,64	11,70	10,58	8,81	9,87	10,80	4,98	6,57	9,22

Tablo 45c. Üretim tekniklerinin III. PERİYOT' a göre maliyeti (\$/m³)

Bölme No	Motormanuel	Motormotor	Harvester	Manuel	Hayvan Gücü	Tarım Traktörü	Orman Traktörü	Hava Hattı	Oluk Sistemi	Forwarder
47	3,10	3,42	10,64	8,25	5,13	6,01	6,69	3,15	5,63	8,16
67	3,29	3,51	10,76	7,23	6,59	6,23	7,07	3,22	5,50	8,16
203	3,32	3,58	10,94	7,43	4,95	6,07	6,64	3,15	4,88	8,16
113	11,20	7,54	13,79	8,45	7,50	6,19	6,71	5,28	6,40	8,30
114	4,37	4,08	12,56	8,51	8,54	4,50	4,53	5,28	6,41	7,78
115	4,64	4,32	13,06	5,72	4,18	4,02	3,83	4,39	4,62	7,59
116	3,75	3,78	11,77	6,37	4,80	6,06	6,43	4,61	4,75	8,23
132	5,61	5,02	15,19	7,25	5,63	7,09	7,38	4,84	5,14	8,52
135	4,07	4,01	12,43	5,95	8,10	6,04	6,24	4,45	4,48	8,23
152	6,10	4,54	12,27	9,05	5,90	5,80	6,19	5,45	5,52	8,16
153	4,69	4,36	12,99	11,63	8,24	8,65	9,51	5,84	7,69	8,99
154	4,35	4,08	12,19	8,24	7,00	8,20	8,96	5,17	6,29	8,82

Tablo 45d. Üretim tekniklerinin IV. PERİYOT' a göre maliyeti (\$/m³)

Bölme No	Motormanuel	Motormotor	Harvester	Manuel	Hayvan Gücü	Tarım Traktörü	Orman Traktörü	Hava Hattı	Oluk Sistemi	Forwarder
47	4,55	5,24	14,56	11,71	7,77	10,31	10,99	4,55	7,99	14,02
67	4,83	5,37	14,72	10,26	9,98	10,69	11,61	4,66	7,81	14,02
203	4,88	5,48	14,98	10,55	7,50	10,43	10,91	4,55	6,93	14,02
113	16,44	11,55	18,88	12,00	11,35	10,63	11,03	7,63	9,08	14,25
114	6,42	6,25	17,19	12,07	12,93	7,72	7,45	7,63	9,10	13,35
115	6,81	6,62	17,87	8,13	6,33	6,90	6,29	6,35	6,56	13,04
116	5,50	5,78	16,11	9,05	7,26	10,41	10,57	6,67	6,75	14,13
132	8,24	7,68	20,79	10,30	8,52	12,18	12,12	6,99	7,29	14,62
135	5,97	6,14	17,01	8,44	12,27	10,38	10,26	6,43	6,37	14,13
152	8,95	6,96	16,80	12,85	8,94	9,95	10,16	7,88	7,83	14,02
153	6,88	6,67	17,78	16,51	12,47	14,85	15,62	8,44	10,92	15,43
154	6,39	6,24	16,68	11,70	10,60	14,08	14,72	7,47	8,93	15,15

Taşıma operasyonu için, herhangi bir çevresel ve kurumsal etki katsayısı hesaplanmamıştır. Ancak, periyot etki katsayısı hesaplanmış ve buna ilişkin periyot maliyet katsayısı da elde edilmiştir (Tablo 46).

Tablo 46. Taşıma operasyonları için hesaplanan periyot etki katsayıları

Periyotlar	I. Periyot	II. Periyot	III. Periyot	IV. Periyot
PEKtaşıma	0,48	0,18	0,13	0,31

3.3.5. Üretim Sistemi Kombinasyonu Maliyet Matrislerine Ait Bulgular

OP modelinde, 10 adet alternatif üretim sistemi kombinasyonuna ait nitel maliyetler, Tablo 47a, b, c, d' de verilmiştir.

Tablo 47a. Üretim sistemlerinin I. Periyotta I. Üretim metoduna göre maliyeti (\$/m³)

Sistem	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Bölme	<i>Xb111</i>	<i>Xb112</i>	<i>Xb113</i>	<i>Xb114</i>	<i>Xb115</i>	<i>Xb116</i>	<i>Xb117</i>	<i>Xb118</i>	<i>Xb119</i>	<i>Xb1110</i>
47	16,87	11,38	11,93	13,68	17,59	12,10	15,50	9,10	18,48	27,66
67	15,53	13,73	11,99	14,28	16,11	14,31	16,22	9,32	18,74	27,82
203	15,88	11,41	11,16	14,08	16,52	12,05	15,63	9,31	18,88	28,06
113	27,64	25,24	23,46	24,43	23,58	21,18	21,21	17,74	25,62	32,07
114	18,92	17,93	14,67	12,89	18,90	17,91	12,93	12,97	23,99	29,57
115	14,92	12,01	12,50	12,47	14,89	11,97	12,13	12,07	23,41	29,92
116	14,79	11,74	11,53	14,61	15,15	12,10	15,57	11,62	22,01	29,27
132	18,57	15,34	14,48	18,67	18,23	15,01	18,80	13,64	26,86	34,28
135	14,53	16,90	11,56	14,99	14,80	17,17	15,58	11,71	22,66	30,15
152	22,00	16,36	15,64	17,21	20,39	14,75	16,23	13,84	23,84	29,83
153	24,20	17,90	16,88	19,98	24,16	17,85	21,33	14,13	25,34	32,15
154	18,47	15,69	14,47	18,82	18,47	15,69	20,06	12,81	23,34	30,81

Tablo 47b. Üretim sistemlerinin II. Periyotta I. Üretim metoduna göre maliyeti (\$/m³)

Sistem	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Bölme	<i>Xb211</i>	<i>Xb212</i>	<i>Xb213</i>	<i>Xb214</i>	<i>Xb215</i>	<i>Xb216</i>	<i>Xb217</i>	<i>Xb218</i>	<i>Xb219</i>	<i>Xb2110</i>
47	13,36	9,22	8,65	10,00	13,65	9,51	11,12	6,09	13,25	18,74
67	12,22	11,23	8,69	10,44	12,41	11,42	11,65	6,24	13,43	18,86
203	12,51	9,20	8,07	10,28	12,74	9,42	11,19	6,23	13,54	19,03
113	20,86	19,43	16,68	17,46	17,59	16,17	14,82	11,82	18,33	21,92
114	14,83	14,65	10,61	9,33	14,57	14,39	9,11	8,73	17,15	20,18
115	11,50	9,40	8,98	8,99	11,21	9,12	8,48	8,09	16,76	20,47
116	11,53	9,38	8,31	10,65	11,56	9,41	11,12	7,82	15,74	19,90
132	14,33	12,09	10,38	13,56	13,80	11,56	13,37	9,14	19,24	23,48
135	11,27	13,82	8,32	10,91	11,22	13,77	11,10	7,86	16,22	20,53
152	17,08	12,87	11,21	12,43	15,69	11,48	11,51	9,31	17,03	20,31
153	19,13	14,55	12,22	14,60	18,83	14,25	15,35	9,51	18,10	21,86
154	14,47	12,69	10,46	13,76	14,22	12,45	14,44	8,62	16,68	20,92

Tablo 47c. Üretim sistemlerinin III. Periyotta I. Üretim metoduna göre maliyeti (\$/m³)

Sistem	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Bölme	<i>Xb311</i>	<i>Xb312</i>	<i>Xb313</i>	<i>Xb314</i>	<i>Xb315</i>	<i>Xb316</i>	<i>Xb317</i>	<i>Xb318</i>	<i>Xb319</i>	<i>Xb3110</i>
47	11,35	8,23	8,73	9,11	11,67	8,55	10,11	6,57	13,79	18,80
67	10,52	9,88	8,79	9,52	10,73	10,10	10,58	6,73	13,98	18,92
203	10,75	8,28	8,21	9,40	11,01	8,53	10,22	6,73	14,09	19,11
113	19,65	18,70	17,60	17,39	16,00	15,04	14,26	12,83	19,08	22,10
114	12,88	12,92	10,79	8,87	12,59	12,62	8,62	9,36	17,84	20,34
115	10,37	8,82	9,27	8,66	10,05	8,51	8,15	8,72	17,45	20,65
116	10,12	8,55	8,50	9,81	10,15	8,57	10,21	8,39	16,38	20,00
132	12,87	11,24	10,75	12,71	12,27	10,65	12,40	9,85	20,03	23,71
135	10,02	12,17	8,55	10,11	9,95	12,11	10,25	8,45	16,88	20,66
152	15,15	12,00	11,62	11,90	13,60	10,45	10,73	9,99	17,72	20,44
153	16,32	12,93	12,38	13,33	15,99	12,60	13,87	10,20	18,83	21,98
154	12,59	11,35	10,64	12,55	12,32	11,08	13,04	9,25	17,36	21,01

Tablo 47d. Üretim sistemlerinin IV. Periyotta I. Üretim metoduna göre maliyeti (\$/m³)

Sistem	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Bölme	<i>Xb411</i>	<i>Xb412</i>	<i>Xb413</i>	<i>Xb414</i>	<i>Xb415</i>	<i>Xb416</i>	<i>Xb417</i>	<i>Xb418</i>	<i>Xb419</i>	<i>Xb4110</i>
47	16,26	12,32	12,54	14,86	16,95	13,01	16,23	9,80	19,11	28,58
67	15,09	14,81	12,64	15,53	15,63	15,35	16,98	10,03	19,39	28,74
203	15,43	12,38	11,81	15,31	16,03	12,98	16,38	10,03	19,53	28,99
113	28,44	27,79	25,52	27,07	23,55	22,91	22,58	19,19	26,51	33,13
114	18,50	19,35	15,52	14,15	18,33	19,18	13,70	13,89	24,83	30,54
115	14,94	13,15	13,38	13,72	14,75	12,95	12,91	12,97	24,22	30,91
116	14,55	12,77	12,25	15,91	14,83	13,05	16,35	12,45	22,78	30,24
132	18,54	16,77	15,53	20,42	17,98	16,21	19,80	14,67	27,78	35,42
135	14,41	18,24	12,34	16,35	14,58	18,40	16,39	12,57	23,44	31,14
152	21,81	17,89	16,78	18,91	19,81	15,90	17,12	14,84	24,67	30,82
153	23,40	19,36	17,80	21,73	23,19	19,15	22,30	15,11	26,22	33,21
154	18,09	16,99	15,31	20,46	17,94	16,85	20,97	13,72	24,15	31,83

Yukarıdaki tablolarda gösterilen maliyet katsayısı bulguları, “normal boy tomruk üretim yöntemi”ne ilişkindir. Ancak, operasyonel karar modelinde belirtildiği gibi, üretim

metodu alternatifleri için 2 indis belirlenmiştir. Bu bakımdan “uzun boy tomruk üretimi” konusundaki alternatif maliyetler bulunmuştur Tablo 48a, b, c, d’ de verilmiştir.

Tablo 48a. Üretim sistemlerinin I. Periyotta II. Üretim metoduna göre maliyeti (\$/m³)

Sistem	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Bölme	<i>Xb121</i>	<i>Xb122</i>	<i>Xb123</i>	<i>Xb124</i>	<i>Xb125</i>	<i>Xb126</i>	<i>Xb127</i>	<i>Xb128</i>	<i>Xb129</i>	<i>Xb1210</i>
47	13,95	9,56	10,00	11,40	14,28	9,88	12,60	7,48	15,01	22,35
67	12,91	11,47	10,08	11,91	13,10	11,66	13,19	7,66	15,25	22,51
203	13,19	9,61	9,41	11,74	13,43	9,85	12,71	7,66	15,41	22,76
113	23,84	21,92	20,50	21,27	19,32	17,39	17,42	14,64	21,56	26,72
114	15,79	15,00	12,39	10,97	15,36	14,57	10,59	10,62	19,93	24,39
115	12,61	10,28	10,67	10,65	12,17	9,84	9,96	9,91	19,59	24,80
116	12,38	9,94	9,78	12,24	12,34	9,91	12,68	9,52	18,14	23,94
132	15,64	13,06	12,37	15,73	14,88	12,31	15,34	11,21	22,92	28,86
135	12,21	14,11	9,84	12,58	12,08	13,98	12,70	9,61	18,82	24,82
152	18,61	14,10	13,52	14,78	16,58	12,07	13,26	11,34	19,73	24,52
153	20,04	15,00	14,18	16,67	19,59	14,54	17,32	11,56	21,12	26,57
154	15,43	13,20	12,22	15,71	15,02	12,79	16,29	10,49	19,31	25,28

Tablo 48b. Üretim sistemlerinin II. Periyotta II. Üretim metoduna göre maliyeti (\$/m³)

Sistem	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Bölme	<i>Xb221</i>	<i>Xb222</i>	<i>Xb223</i>	<i>Xb224</i>	<i>Xb225</i>	<i>Xb226</i>	<i>Xb227</i>	<i>Xb228</i>	<i>Xb229</i>	<i>Xb2210</i>
47	11,01	7,69	7,24	8,32	11,06	7,74	9,03	5,01	10,76	15,16
67	10,12	9,32	7,29	8,69	10,07	9,27	9,45	5,12	10,93	15,27
203	10,34	7,69	6,79	8,56	10,33	7,68	9,09	5,12	11,05	15,45
113	17,88	16,74	14,54	15,16	14,37	13,22	12,15	9,75	15,43	18,30
114	12,32	12,17	8,94	7,91	11,81	11,67	7,44	7,14	14,25	16,68
115	9,66	7,99	7,65	7,66	9,14	7,46	6,95	6,64	14,04	17,00
116	9,61	7,89	7,03	8,90	9,39	7,67	9,04	6,40	12,97	16,30
132	12,01	10,22	8,85	11,39	11,23	9,44	10,89	7,50	16,43	19,82
135	9,43	11,46	7,06	9,14	9,13	11,17	9,03	6,44	13,48	16,93
152	14,36	10,99	9,66	10,64	12,73	9,36	9,39	7,62	14,10	16,73
153	15,77	12,11	10,25	12,15	15,24	11,57	12,45	7,78	15,09	18,11
154	12,02	10,60	8,81	11,46	11,54	10,11	11,71	7,05	13,80	17,19

Tablo 48c. Üretim sistemlerinin III. Periyotta II. Üretim metoduna göre maliyeti (\$/m³)

Sistem	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Bölme	<i>Xb321</i>	<i>Xb322</i>	<i>Xb323</i>	<i>Xb324</i>	<i>Xb325</i>	<i>Xb326</i>	<i>Xb327</i>	<i>Xb328</i>	<i>Xb329</i>	<i>Xb3210</i>
47	9,43	6,94	7,34	7,64	9,49	6,99	8,24	5,41	11,20	15,21
67	8,79	8,28	7,41	7,99	8,74	8,23	8,61	5,54	11,38	15,33
203	8,98	6,99	6,94	7,89	8,96	6,98	8,33	5,54	11,50	15,51
113	17,06	16,30	15,42	15,25	13,12	12,36	11,73	10,59	16,06	18,48
114	10,81	10,84	9,14	7,60	10,25	10,28	7,07	7,67	14,83	16,82
115	8,82	7,58	7,93	7,45	8,23	6,99	6,71	7,16	14,61	17,17
116	8,53	7,27	7,23	8,28	8,28	7,02	8,33	6,88	13,50	16,40
132	10,91	9,61	9,21	10,78	10,03	8,73	10,13	8,10	17,10	20,05
135	8,47	10,19	7,30	8,55	8,14	9,86	8,37	6,94	14,03	17,06
152	12,90	10,38	10,07	10,30	11,08	8,56	8,78	8,19	14,68	16,85
153	13,58	10,87	10,43	11,19	12,98	10,27	11,28	8,35	15,71	18,22
154	10,58	9,58	9,01	10,54	10,03	9,04	10,61	7,57	14,36	17,29

Tablo 48d. Üretim sistemlerinin IV. Periyotta II. Üretim metoduna göre maliyeti (\$/m³)

Sistem	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Bölme	Xb421	Xb422	Xb423	Xb424	Xb425	Xb426	Xb427	Xb428	Xb429	Xb4210
47	13,53	10,37	10,55	12,41	13,79	10,64	13,21	8,06	15,52	23,09
67	12,63	12,40	10,67	12,98	12,74	12,51	13,82	8,26	15,77	23,26
203	12,89	10,45	10,00	12,80	13,06	10,62	13,34	8,26	15,94	23,51
113	24,71	24,20	22,38	23,62	19,34	18,83	18,57	15,85	22,31	27,60
114	15,54	16,23	13,16	12,06	14,93	15,62	11,23	11,38	20,62	25,19
115	12,72	11,28	11,47	11,74	12,09	10,65	10,62	10,66	20,27	25,62
116	12,27	10,84	10,43	13,36	12,12	10,69	13,33	10,21	18,77	24,74
132	15,73	14,31	13,32	17,23	14,72	13,30	16,18	12,07	23,71	29,81
135	12,20	15,26	10,54	13,75	11,93	14,99	13,38	10,32	19,48	25,64
152	18,59	15,46	14,57	16,27	16,15	13,02	14,00	12,17	20,42	25,33
153	19,49	16,26	15,01	18,15	18,84	15,61	18,13	12,38	21,86	27,45
154	15,21	14,33	12,99	17,11	14,62	13,75	17,04	11,24	19,98	26,12

Taşıma maliyetlerine ilişkin maliyet katsayısı matrisleri de Ek Tablo-4' de yer almaktadır.

Kesme ve bölmeden çıkarma maliyetlerini temsil eden üretim maliyetleri ile taşıma maliyetlerine ilişkin elde edilen bu bulgularla, maliyet matrisleri oluşturulmuştur. Böylelikle, OP karar modelinde gerekli olan iki temel karar değişkeninin katsayıları üretilebilmiştir. Ancak, modelde üretim sırasındaki kalite ve miktar kayıplarından kaynaklanan maliyetlerin de minimizasyonu amaçlanmıştır. Kayıp maliyetleri karar değişkeni, bağımlı değişken olarak modele sokulmuştur. Bu nedenle kayıp maliyetlerine ilişkin hesaplamalar da yapılmış aşağıdaki bulgular elde edilmiştir.

Odun üretim operasyonları sırasında meydana gelen kalite ve miktar kayıplarını belirlemek amacıyla; planlama alanında 2001 yılı programına dahil olan bölmeler ile 2002 yılı içinde üretim yapılan bazı bölmelerin bölme kayıt dosyalarından "Dikili Ağaç Ölçü Tutanağı" ile mesaha işlemleri sonucu üretilen "kesme-sürütme raporları" ve "yuvarlak odun ölçü tutanağı" kayıtlarının karşılaştırmasıyla Tablo 49'daki bulgular elde edilmiştir.

Tablo 49. Üretim operasyonu sonuçlarına göre bölmeden çıkarmada kayıp oranları

Bölme No	Silvikültürel Müdahale Şekli	Dikili Ağaç Tutanağı (m ³)	Bölme Teslim Tutanağı (yakacak odun dahil) (m ³)	Gerçekleşme Başarısı	Kayıp Oranı
47	Gençleştirme	4936	4565	% 92	% 8
203	Gençleştirme	4115	3457	%84	% 16
231	Gençleştirme	2352	2061	%87	% 13
204	Gençleştirme	5454	4874	%89	% 11
135	Bakım	656	446	% 68	% 32
113	Bakım	751	698	%93	% 7
116	Bakım	817	759	%92	% 8
115	Bakım	269	235	%87	% 13
Ağırlıklı ortalamaya göre; Toplam Kayıp Oranı					%13

Buna göre, yörede insan gücüyle gerçekleştirilen bölmeden çıkarma operasyonlarında ortalama kayıp oranı % 13 olarak bulunmuştur. Diğer üretim sistemlerine ait kayıp oranları ise literatürden elde edilmiş ve tüm sistemler için kayıp miktarlarının aşağıdaki Tablo 50' de belirtilen oranlarda gerçekleşeceği dikkate alınmıştır.

Tablo 50. Üretim sistemlerine göre üretim operasyonları sırasındaki kayıp oranları

Üretim Sistemi No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kayıp Oranı (%)	0,13	0,05	0,02	0,04	0,13	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01

Öte yandan üretim kayıp miktarlarının maliyet olarak ifade edilmesi ve matematiksel model denkleminde ilave edilebilmesi için satış maliyetleri belirlenmiştir. Yöredeki her iki depo kayıtlarının incelenmesi sonucunda operasyon yılı ve her bir periyot için satış gelirlerinin aşağıdaki gibi olması beklenmektedir (Tablo 51).

Tablo 51. Operasyonel planlama yılında tahmin edilen satış geliri

	Satış Geliri (\$/m ³)	
	Normal Boy Tomruk	Uzun Boy Tomruk
I. Periyot	56,87	68,244
II. Periyot	62,55	75,06
III. Periyot	68,8	82,56
IV. Periyot	75,68	90,816

Buna göre; her bir periyotta, her bir depoda, her bir üretim yöntemine göre üretilmiş ürünlerin satış gelirleri farklı bulunmuştur (Tablo 52).

Tablo 52. Periyot, üretim metodu ve sistemi farklılığına göre kayıp maliyetleri (\$/m³)

Periyot	Üretim Metodu	ÜRETİM SİSTEMLERİ									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I	NB	7,39	2,84	1,14	2,27	7,39	2,84	1,71	1,14	0,57	0,57
I	UB	8,87	3,41	1,36	2,73	8,87	3,41	2,05	1,36	0,68	0,68
II	NB	8,13	3,13	1,25	2,50	8,13	3,13	1,88	1,25	0,63	0,63
II	UB	9,76	3,75	1,50	3,00	9,76	3,75	2,25	1,50	0,75	0,75
III	NB	8,94	3,44	1,38	2,75	8,94	3,44	2,06	1,38	0,69	0,69
III	UB	10,73	4,13	1,65	3,30	10,73	4,13	2,48	1,65	0,83	0,83
IV	NB	9,84	3,78	1,51	3,03	9,84	3,78	2,27	1,51	0,76	0,76
IV	UB	11,81	4,54	1,82	3,63	11,81	4,54	2,72	1,82	0,91	0,91

3.4. Operasyonel Karar Modellerinin Çözümüne Ait Bulgular

Operasyonel planlama yaklaşımında, operasyonel kararların modellenmesi için yarı sürekli ve sürekli sayılarla temsil edilebilen karar değişkenlerinin kullanıldığı doğrusal programlama (LP) ve ikili tamsayılı karar değişkenlerinden oluşan 0/1 karma tamsayılı programlama (MIP) kullanılmış; her iki karar modelinin çözümü için iki strateji geliştirilmiştir. İlk stratejide nicel maliyet katsayıları; ikinci stratejide ise nitel maliyet katsayıları kullanılmıştır ve aşağıdaki bulgular elde edilmiştir.

3.4.1. Strateji - 1: Nicel Maliyet Katsayılarıyla Oluşturulan Modeller

Bu stratejide maliyet katsayıları, nicel/ham maliyetler üzerinden hesaplanmıştır. Hem LP hem de MIP için iki farklı model kurgusu denenmiştir. İlkinde maliyet katsayılarına periyot farkı bindirilmiştir. İkincisinde ise periyot farkı eklenmeksizin OP yılı başındaki maliyetler üzerinden katsayı hesaplanmıştır.

3.4.1.1. Doğrusal Programlama Modeli

3.4.1.1.1. Model - LP1

Bu modelde, üretim karar değişkenleri yarı-sürekli sayılarla $\{0, 0 - 1, 1\}$; taşıma değişkenleri ise sürekli sayılarla temsil edilmiştir. Maliyet katsayılarının hesaplanmasında, her bir periyotta gerçekleşecek operasyonlara bir önceki periyot maliyetlerine göre, % 13 periyot farklılığı zammı ve ilaveten % 10 kış periyodu zammı eklenmiştir.

Model - LP1' in belirtilen koşullarda (Tablo 53a), LINDO paket programında çözülmesi sonucunda amaç fonksiyonu değeri (Zmin), 347 285,3 \$ ve ortalama üretim maliyeti 14,92 \$/m³ bulunmuştur. Temel çözüm setini oluşturan üretim ve taşıma karar değişkenleri belirlenmiştir (Tablo 53b, c). OP yılında 23 532 m³ alınabilir etanın tümü üretilebilmiş ve 22 463,04 m³' ü taşınabilmiştir. Modelde herhangi bir işgücü kısıdı konulmamıştır. Yani, yöredeki potansiyel işgücüne koşut, alternatif üretim teknolojileri de doğrusal programlama denklemine dahil edilmiştir. Buna rağmen, bu kurguda orman traktörü (1056 saat); orman hava hattı (624 saat); oluk sistemi (720 saat) ve tarım traktörünün (5357,14 saat) kullanılması gereği ortaya çıkmıştır.

Tablo 53a. Model – LP1'e ait koşullar

Periyodik Limitler	Üretim; 1764 ≤ HQ1 ≤ 2353 2353 ≤ HQ2 ≤ 3787 3222 ≤ HQ3 ≤ 13632 4300 ≤ HQ4 ≤ —	Taşıma; - 0.95 HQ1 + TRANSP1 ≥ 0 - 0.95 HQ2 + TRANSP2 ≥ 0 - 0.95 HQ3 + TRANSP3 ≥ 0 - 0.95 HQ4 + TRANSP4 ≥ 0
İşgücü Kısıdı	YOK	

Tablo 53b. Model-LP1 Üretim karar değişkeni çözüm değerleri

I. PERİYOT		II. PERİYOT		III. PERİYOT		IV. PERİYOT	
X4127	0,50	X4217	0,24	X1312	1,00	X2411	0,07
X5114	0,62	X4227	0,26	X2321	0,08	X2428	0,36
X10123	0,59	X5214	0,38	X2328	0,49	X3428	0,12
X11113	1,00	X6221	1,00	X3314	0,77		
X12111	0,95	X7213	0,30	X3317	0,11		
		X7221	0,70				
		X8213	1,00				
		X9221	1,00				
		X10213	0,41				
		X12213	0,05				

Tablo 53c. Model-LP1 taşıma karar değişkeni çözüm değerleri

I. PERİYOT		II. PERİYOT		III. PERİYOT		IV. PERİYOT	
Y4116	375,92	Y12221	32,02	Y1313	3623,40	Y2413	3493,86
Y5121	347,96	Y6221	270,00	Y2313	4915,89	Y3411	595,89
Y11121	670,00	Y10211	125,76	Y3311	4430,11		
Y10111	288,49	Y9211	656,00				
Y12111	552,98	Y7211	818,00				
		Y8221	575,00				
		Y4226	375,08				
		Y5211	209,04				

Kurulan odun üretim sisteminde, bu üretim teknolojilerinin tercih edilmesiyle 1068,96 m³ ürün kaybı meydana gelmesi beklenmektedir. Ürün kaybının bu oranı; IG' nün 39 706,9 saat kullanılmasından kaynaklandığı belirlenmiştir.

Temel çözüme giren karar değişkenlerine göre; örneğin, 1 (47) nolu bölmenin tamamı 3. periyotta işletmeye açılacak, normal boy tomruk yöntemiyle yapılacak üretimde, kesme operasyonu için motormanuel teknik, bölmeden çıkarma için ise hayvan gücünden yararlanılacağı belirlenmiştir. Taşıma karar değişkenlerinde de, 47 nolu bölme örnek alınırsa; 3. periyotta taşıma yapılacak, taşınan ürün normal boylu tomruk olacak ve 3 nolu güzergah takip edilecektir. Buna göre; üretilen ürünlerin bu bölmeden 2 nolu depoya taşınacağı, yüklemenin ise makine ile gerçekleştirileceği ortaya çıkmıştır.

3.4.1.1.2. Model – LP2

Bu modelde, her periyotta operasyon maliyetlerine uygulanan % 13' lük artış ile kış periyodunda uygulanan % 10' luk artış, dikkate alınmamıştır. Tüm değerlendirmeler, operasyon yılının başlangıcında hesaplanan temel maliyetlere göre yapılmıştır. Böylece herhangi bir zamanda, üretim sistemleri seçiminin, program tarafından nasıl sonuçlandırıldığı gözlemlenmiştir. Model – LP2 için, Tablo 53a' daki koşullar geçerlidir.

Model - LP2' nin çözümü sonucunda, amaç fonksiyonu değeri, $Z_{min} = 270\ 881,3$ \$ ve ortalama üretim maliyeti $11,64$ \$/m³ bulunmuştur. Temel çözüm kümesinde yer alan üretim ve taşıma karar değişkenleri periyot, üretim yöntemi ve üretim sistemi açısından farklılık göstermektedir (Tablo 54a, b). OP yılında $23\ 532$ m³ alınabilir etanın tümü üretilmiş ve $22\ 466,1$ m³ ü taşınmıştır. Bu kurguda, orman traktörünün 1056 saat; orman hava hattının 624 saat; oluk sisteminin 684,18 saat ve tarım traktörünün 3957,44 saat kullanılması gereği ortaya çıkmıştır. Kurulan odun üretim sisteminde, bu üretim teknolojilerinin tercih edilmesiyle $1065,91$ m³ ürün kaybının meydana gelmesi beklenmektedir. Ürün kaybının bu oranı; IG' nün $35\ 747,46$ saat kullanılmasına bağlanmaktadır.

Tablo 54a. Model - LP2' ye ait çözüm sonuçları

$Z_{min} = 270\ 881,3$						
PERİYOT	Üretim Maliyeti (\$)		Taşıma Maliyeti (\$)		Kayıp Maliyeti (\$)	
I	PM1	19772,26	T1	4835,89	KP1	2402,28
II	PM2	24335,01	T2	6897,74	KP2	3429,78
III	PM3	76516,59	T3	38283,02	KP3	38514,63
IV	PM4	33464,84	T4	15761,99	KP4	6667,28

Tablo 54b. Model-LP2 üretim karar değişkeni çözü değerleri

I. PERİYOT		II. PERİYOT		III. PERİYOT		IV. PERİYOT	
X4127	0,50	X4227	0,12	X1322	0,95	X1428	0,05
X7121	0,33	X5227	1,00	X2321	0,09	X2421	0,11
X9121	0,77	X6221	1,00	X2328	0,49	X2428	0,31
X10123	0,77	X7221	0,67	X3324	0,82	X3428	0,15
X11123	1,00	X8223	1,00	X3327	0,03		
		X9221	0,23	X4327	0,38		
		X10223	0,23				
		X12223	1,00				

Birinci periyotta 5 farklı bakım bölmesinde; ikinci periyotta 7 farklı bakım bölmesinde üretim operasyonlarının yürütüleceği belirlenmiştir. Gençleştirme bölmeleri doğal olarak 3. ve 4. periyotta işlem görecektir. Temel çözüme giren karar değişkenleri incelendiğinde; örneğin, 67 (2) nolu bölme, 3. ve 4. periyotlarda işletmeye açılacak, uzun boy tomruk üretim yöntemi kullanılacak, kesme operasyonu (üretilen miktarın % 20'si) için motormanuel ve motorlu teknik (motormotor, % 80); bölmeden çıkarma için % 20 oranında hayvan gücünden ve % 80 oranında ise orman hava hattından yararlanılacağı belirlenmiştir.

Taşıma karar değişkenleri incelendiğinde; örneğin 67 no' lu bölmede 3. ve 4. periyotta taşıma yapılacak, taşınan ürün uzun boylu tomruk niteliğinde olacak ve 3. güzergah takip edilecektir. Bunun anlamı; üretilen ürünlerin bu bölmeden 2 no'lu depoya taşınacağı, yüklemenin ise makine ile gerçekleştirileceğidir.

3.4.1.2. Karma Tamsayılı (Doğrusal) Programlama Modeli

Operasyonel planlama yaklaşımında LP denklemleri yanında, MIP denklemlerinin de nicel operasyon maliyet katsayıları ile çözümü sağlanmıştır. Bu düzenlemeden amaç, hazırlanan operasyon maliyet katsayılarının periyotlara göre değişmesi durumunda, üretim sistemlerinin seçimi üzerindeki etkisinin kavranabilmesidir. Nicel maliyetlerle temsil edilen MIP modellerinin, amaç katsayılarına bağlı olarak Model-MIP1 ve Model-MIP2 olmak üzere iki farklı yapıda denklemleri türetilmiştir.

3.4.1.2.1. Model – MIP1

Bu modelde, saf operasyon maliyet katsayılarına her periyotta, bir önceki periyoda göre % 13 oranında ve ilaveten kış periyodu için de % 10 daha zam uygulanmıştır.

Periyodik maliyet farklarından etkilenen denklemin çözümü için 2 ayrı yol izlenmiştir. Bunlar;

- i. LINDO paket programının MIP (ILP) çözücüsü ile mümkün olan (feasible) yada olmayan (infeasible) herhangi bir çözüm sağlanamadığından; programın içeriğinde bulunan ve bu tür katı problemlerin çözümünde bir çare olduğu söylenen (LINDO, 2004) "optimalite toleransı" kullanılmıştır. Optimalite

- toleransı, optimal sonuçtan belirli bir oranda uzaklaşarak çözüm bulunmasını sağlamıştır. Bu problem için % 2 optimalite toleransı kullanılmıştır (Çözüm -1).
- ii. Her ne kadar optimalite toleransı ile çözüm sağlanmışsa da; diğer MIP çözümleme yöntemlerinden biri olan ve katı kısıtlayıcı yada çözümleme zamanı uzun olan problemlerde yaklaşık optimayı verebilen sezgisel/heuristic yaklaşım kullanılmıştır (Çözüm - 2).

Çözüm – 1 : Model –MIP1’ in Optimalite Toleransı ile Çözümü

MIP modelinin, LINDO programı ile tam çözümünün sağlanamamasından dolayı %2 optimalite toleransı kullanılmıştır. Elde edilen sonuca göre temel çözüme giren karar değişkenleri ile aşağıdaki üretim çizelgesi hazırlanmıştır (Tablo 55).

Tablo 55. MIP’ in % 2’lik optimalite toleransına göre bulunmuş üretim çizelgesi

Bölme No	Arazi Eğimi (%)	Eta (m3)	Üretim Zamamı (Periyot)	Üretim Metodu (UB/NB)	Üretim Sistemi No	Yol Güzergahı No
47	33	4306	3	UB	8	3
67	48	8625	3	UB	4	3
203	36	5026	4	UB	4	1 ve 2
113	63	751	2	NB	4	6
114	38	557	2	UB	7	1
115	44	270	1	NB	7	1
116	35	818	2	UB	1	1
132	42	575	1	NB	1	1
135	45	656	1	NB	1	1
152	48	693	1	UB	3	1
153	30	670	3	NB	3	1
154	33	585	2	NB	3	1

Tam optimal değeri garanti etmeyen ancak, defalarca denemelere karşı mümkün olan tamsayılı çözümü vermeyen MIP’ in nicel maliyetle temsil edilen denklemi % 2 optimalite toleransı ile çözüldüğünde amaç fonksiyonu değeri (Zmin) 389 603,3 \$ ve ortalama üretim maliyeti 16,71 \$/m³ bulunmuştur (Tablo 56).

Bu sonuçlara göre; 35176,64 saat işgücü, 28920,5 saat motorlu testere, 449,85 saat orman traktörü, 331,56 saat hava hattı, 602,48 saat oluk sistemi ve 16106,24 saat tarım traktörüne gereksinim duyulacağı belirlenmiştir.

Tablo 56. MIP' ın % 2'lik optimalite toleransına göre bulunmuş maliyet değerleri

Periyotlar	Üretim Miktarı	Üretim Maliyeti	Taşıma Miktarı	Taşıma Maliyeti	Kayıp Miktarı	Kayıp Maliyeti
	m ³	\$/m ³	m ³	\$/m ³	m ³	\$/m ³
I	2194	21641,7	2084,3	5797,953	181,99	1401,48
II	2711	32335,17	2575,45	7701,696	164,79	3862
III	13601	118608,8	12920,95	48943,26	444,52	36485,3
IV	5026	76897,8	4774,7	20749,69	201,04	15178,52
Toplam	23532	249483,5	22539,66	83192,6	992,34	56927,3
Toplam Ortalama Birim Maliyet (Kayıp maliyet dahil)					16,71 \$/m ³	

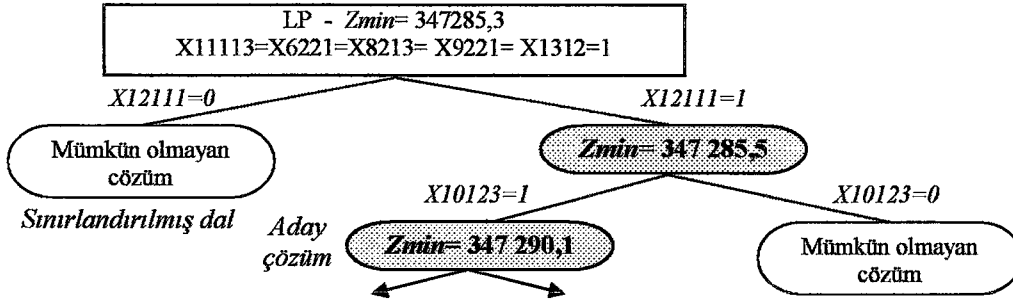
Çözüm – 2: Model – MIP1' in Sezgisel (Heuristic) Yaklaşım ile Çözümü

0/1 Karma tamsayılı programlama denklemi olan Model-MIP1' de çözüme ulaşılamamış ve MIP denklemi gevşetilerek LP haline dönüştürülmüş ve sezgisel yaklaşımla çözülmeye çalışılmıştır.

Sezgisel yaklaşımın başlangıcında LP çözümlenmiş ve amaç fonksiyonu değeri (Zmin =) 347.285,3 \$ bulunmuştur (Tablo 57). Dal-sınır algoritmasına göre yürütülen arama sürecinde yalnızca dallanmaya açık olan seçeneklerin incelenmesi için 56 iterasyon gerçekleştirilmiştir. Her bir iterasyonda LP programı koşturularak fizibil/optimal sonuç alınıp alınmadığına bakılarak, temel çözüme girmeye aday olan karar değişkenlerinin değerleri 0 yada 1 değeri ile bağlanmıştır. Hangi değer ile çözüm devam ediyorsa dallanma bu karar değişkenine göre yapılmıştır. Böylelikle bir karar ağacı elde edilerek optimize olmuş amaç fonksiyonuna erişilmiştir (Şekil 19).

Tablo 57. Nicel maliyet katsayılarına göre sezgisel yaklaşımla elde edilen sonuçlar

Periyotlar	Üretim Miktarı	Üretim Maliyeti	Taşıma Miktarı	Taşıma Maliyeti	Kayıp Miktarı	Kayıp Maliyeti
	m ³	\$/m ³	m ³	\$/m ³	m ³	\$/m ³
I	1812,00	18769,85	1667,36	4715,11	111,73	2021,49
II	3763,00	43789,20	3465,21	10850,74	206,00	5555,75
III	9332,00	82632,53	8599,10	32635,18	416,34	28634,14
IV	8625,00	134808,80	7945,01	37527,38	1121,25	84783,75
Toplam	23532,00	280000,38	21676,68	85728,41	1855,32	120995,13
Toplam Ortalama Birim Maliyet (Kayıp maliyeti dahil)					20,99 \$/m ³	



Şekil 19. Sezgisel yaklaşımda dal sınır algoritmasına göre arama ağacı

Sezgisel yaklaşımla; her bir bölmenin, hangi periyotta, hangi üretim metodu ve üretim sistemiyle işletmeye açılacağına ilişkin üretim çizelgesi aşağıdaki gibi bulunmuştur (Tablo 58). Her bir bölme için belirlenen üretim zamanı, yöntemi ve tercih edilecek üretim sistemine ilaveten 76 489,17 saat işgücü, 24 110,34 saat motorlu testere, 7053,23 saat hayvan gücü, 564,25 saat oluk sistemi ve 10696,13 saat tarım traktörü gücünün gerekli olduğu belirlenmiştir.

Tablo 58. Nicel maliyetlere göre sezgisel yaklaşımla hazırlanmış üretim çizelgesi

Bölme No	Arazi Eğimi (%)	Eta (m3)	Üretim Zamanı (Periyot)	Üretim Metodu (UB/NB)	Üretim Sistemi No	Yol Güzergahı No
47	33	4306	3	NB	2	3
67	48	8625	4	NB	5	3
203	36	5026	3	NB	4	1
113	63	751	2	NB	4	6
114	38	557	1	NB	4	1
115	44	270	2	UB	2	1
116	35	818	2	UB	3	1
132	42	575	2	NB	3	1
135	45	656	2	UB	1	1
152	48	693	2	NB	4	1
153	30	670	1	NB	3	1
154	33	585	1	NB	1	1

3.4.1.2.2. Model – MIP2

Bu model, MIP Modelinde operasyon yılının başlangıcındaki nicel maliyet katsayılarının kullanılması ile oluşturulmuştur. Operasyon yılının başlangıcında, birim maliyetler Amerikan Doları para birimi cinsinden belirlenmiştir. Tüm operasyon yılı boyunca, Türk Lirası'ndaki muhtemel değişimler dolara endekslenmiştir. Böylelikle, bu

çalışmada kullanılan maliyet katsayılarının her iki durumda davranışı ve üretim sistemlerinin seçimi konusunda ne tür değişikliğe sebep olduğu belirlenebilmiştir.

Bu yaklaşımla çözümlenen denklemin sonucuna göre üretim çizelgesi Tablo 59a' da verilmiştir. Toplam ortalama birim maliyet ise 12,87 \$/m³ olarak belirlenmiştir. Bunun yanında 23 532 m³ odun hammaddesinin üretilmesi etkinliğinde, 1088 m³ üretim kaybı yaşanmıştır (Tablo 59b). Bu modelde; 34942,27 saat işgücü, 23537,67 saat motorlu testere, 303,73 saat orman traktörü, 331,56 saat hava hattı, 548,76 saat oluk sistemi ve 12523,28 saat tarım traktörü gücü gerekli görülmüştür.

Tablo 59a. Model-MIP2' ya ait çözüm değerleri

Bölme No	Arazi Eğimi (%)	Eta (m3)	Üretim Zamanı (Periyot)	Üretim Metodu (UB/NB)	Üretim Sistemi No	Yol Güzergahı No
47	33	4306	3	UB	8	3
67	48	8625	3	UB	4	3
203	36	5026	4	UB	4	1 ve 2
113	63	751	1	UB	1	6
114	38	557	2	UB	7	1
115	44	270	1	UB	1	1
116	35	818	2	UB	3	1
132	42	575	2	UB	1	1
135	45	656	1	UB	3	1
152	48	693	1	UB	3	1
153	30	670	3	UB	3	1
154	33	585	1	UB	1	1

Tablo 59b. Model-MIP2' ya ait maliyet sonuçları

Periyotlar	Üretim Miktarı m ³	Üretim Maliyeti \$/m ³	Taşıma Miktarı m ³	Taşıma Maliyeti \$/m ³	Kayıp Miktarı m ³	Kayıp Maliyeti \$/m ³
1	2299	23493,6	2184,05	4591,654	222,64	942,48
2	2606	20917,16	2475,7	6199,222	219,83	2115,75
3	13601	79323,4	12920,95	39197,7	444,52	36672,9
4	5026	51426,03	4774,7	16591,46	201,04	18244,38
Toplam	23532	175160,2	22355,4	66580,04	1088,03	57975,51
Toplam Ortalama Birim Maliyet (Kayıp maliyet dahil)					12,87 \$/m³	

3.4.2. Strateji - 2: Nitel Maliyet Katsayıları ile Oluşturulan Modeller

Strateji-2' de, odun üretim faaliyetlerini etkileyen kriterlerin nitel değerleri, çok kriterli analiz yöntemleri kullanılarak elde edilen katsayılarla, nicel maliyetlere yansıtılmıştır. Bu katsayılara göre, hem LP hem de MIP tabanlı modellerle optimal ve tam

çözümler elde edilebilmiştir. Ancak MIP yapılı modelin bazı senaryolarının çözümlenmesinde; kullanılan bilgisayar kapasitesine, modelin katı kısıtlayıcılar içermesine ve çözüm süresinin çok uzun olmasına bağlı olarak sezgisel yaklaşımdan yararlanılmıştır.

3.4.2.1. Doğrusal Programlama Modeli (Model – 1)

Yapılan bir çok ön denemede, sürekli sayılarla düzgün doğrusal programlama modeli oluşturularak, optimal çözümler elde edilmiştir. Ancak, özellikle odun üretim karar değişkenlerinin kesirli sayılarla temsil edilmesi; hem teorik hem de uygulama açısından fonksiyonel bulunmamıştır. Bu yüzden, odun üretim karar değişkenlerinin 0 ile 1 arasındaki yarı sürekli sayılarla temsil edilmesi, taşıma karar değişkenlerinin ise sürekli sayılarla temsil edilmesi operasyonel karar modeli açısından uygun bulunmuştur.

Bu kapsamda, çevresel ve kurumsal etki maliyetlerinin yer aldığı bir çok alternatif model arasından LP tabanlı Model-1'in, henüz çözüm sonuçları görülmeden model hazırlık aşamasında, modelin içeriği yönüyle operasyonel planlama yaklaşımı için uygun olduğuna karar verilmiştir.

Temel modelde bir çeşit yapısal değişiklik uygulanmış; yani teknik kısıt dolaylı olarak modelin yapısı içinde gerçekleştirilmiştir. Ayrıca bu modelde, her periyotta üretilen ürünlerin % 95' inin depolara taşınması koşulu getirilmiştir. Üçüncü periyotta üretilen odun hammaddesi miktarının üst limiti (HQ3) 13652 m³'dür. Bu modele, yararlanılabilir işgücünün (IG) 35000 saat ile sınırlandırılması koşulu da eklenmiştir.

Bu modelde, insan gücüyle çalışma kapasitesinin 35000 saat ile sınırlandırılması sonucu amaç fonksiyonu değeri (Zmin) 299 582,6 (\$) olarak elde edilmiştir. Eğer "IG≤35000" kısıdı kaldırılırsa, amaç fonksiyonu değeri (Zmin) 299 515,7 \$ ve ortalama üretim maliyeti, işgücü kullanım miktarının artmasından dolayı 12,98 \$/m³ olarak bulunmuştur.

Üretim karar değişkenlerine göre (Tablo 60a); 6, 7, 9, 11 ve 12 nolu bölmeler için, her bir bölme bir periyotta işletmeye açılacak ve bölme başına bir üretim sistemi atanacaktır. Diğer bölmelerde ise periyot, üretim yöntemi ve üretim sistemi bakımından bölünebilir bir tablo ortaya çıkmıştır. Taşıma güzergahları ve taşınacak üretim miktarları Tablo 60b' de görülmektedir. Modelin tercih ettiği üretim sistemlerinin kullanılması durumunda 1018,2 m³ ürün kaybının olacağı beklenmektedir (Tablo 60c). Buna göre, ortalama üretim maliyeti 12,96 \$/m³ olarak bulunmuştur. İnsan gücü kısıdı, 35000 saat

olarak üst sınırdaki (tam kapasite) kullanılmıştır. Bununla birlikte, 13420,14 saat motorlu testere, 5347,91 saat hayvan gücü, 975,86 saat orman traktörü, 624 saat hava hattı, 720 saat oluk sistemi, 4252,7 saat tarım traktörü ve 4006,9 saat kamyon gücüne ihtiyaç olduğu belirlenmiştir.

Tablo 60a. Model-1'in temel çözüm kümesindeki üretim karar değişkenleri

I. PERİYOT		II. PERİYOT		III. PERİYOT		IV. PERİYOT	
<i>X7123</i>	1,00	<i>X4227</i>	0,55	<i>X1322</i>	0,95	<i>X4327</i>	0,26
<i>X5127</i>	0,41	<i>X5224</i>	0,59	<i>X2321</i>	0,09	<i>X1428</i>	0,05
<i>X10127</i>	0,02	<i>X6221</i>	1,00	<i>X2328</i>	0,46	<i>X2421</i>	0,09
<i>X4127</i>	0,19	<i>X8221</i>	0,77	<i>X3324</i>	0,80	<i>X2428</i>	0,36
<i>X10123</i>	0,81	<i>X8223</i>	0,23	<i>X3327</i>	0,07	<i>X3428</i>	0,07
		<i>X9221</i>	1,00	<i>X3328</i>	0,06		
		<i>X10223</i>	0,17	<i>X4327</i>	0,26		
		<i>X11223</i>	1,00				
		<i>X12223</i>	1,00				

Tablo 60b. Model-1'in temel çözüm kümesindeki taşıma karar değişkenleri

I. PERİYOT		II. PERİYOT		III. PERİYOT		IV. PERİYOT	
<i>Y4126</i>	142,27	<i>Y6221</i>	270,00	<i>Y1323</i>	3398,53	<i>Y3421</i>	359,90
<i>Y5121</i>	137,62	<i>Y4226</i>	416,26	<i>Y3321</i>	4666,10	<i>Y2423</i>	3912,69
<i>Y7121</i>	818,00	<i>Y8221</i>	575,00	<i>Y2323</i>	4712,31		
<i>Y10121</i>	577,90	<i>Y9221</i>	656,00	<i>Y4326</i>	192,47		
		<i>Y12221</i>	585,00				
		<i>Y5221</i>	265,35				
		<i>Y11221</i>	670,00				

Tablo 60c. Model-1 modelinde üretim, taşıma ve kayıp ürün miktarları

PERİYOT	Üretim Miktarı (m ³)	Taşıma Miktarı (m ³)	Kayıp Miktarı (m ³)
I	<i>HQ1</i> 1764,00	<i>TRANSP1</i> 1675,80	<i>KQP1</i> 39,09
II	<i>HQ2</i> 3618,53	<i>TRANSP2</i> 3437,61	<i>KQP2</i> 233,48
III	<i>HQ3</i> 13652,00	<i>TRANSP3</i> 12969,40	<i>KQP3</i> 566,78
IV	<i>HQ4</i> 4497,47	<i>TRANSP4</i> 4272,59	<i>KQP4</i> 178,90
Toplam	23 532	22 355,4	1018,24

3.4.2.1.1. Model -1' in Bazı Senaryolara Göre Sınanması

Model-1' de, çeşitli senaryolarda bazı kısıtlayıcıların STD'si değiştirilerek; odun üretiminde kullanılan teknoloji düzeyi, işgücü kaynaklarının alt ve üst sınır değerleri ve

periyodik üretim miktarı sınırları açısından bu modelin davranışı ve operasyonel planlama alanı için uygun model yapısının araştırılması amaçlanmıştır.

Senaryo – 1:

Bu senaryoda, Model-1 için insan gücü haricindeki tüm işgücü kaynakları kısıtlanmıştır. Burada, temel teknolojinin ara ve ileri teknoloji karşısındaki durumu sınanmıştır. Senaryo-1'in özellikleri ve çözüm sonuçları aşağıdaki özet tabloda yer almaktadır (Tablo 61).

Tablo 61. Senaryo-1' in koşulları ve çözüm özeti

Koşullar: <i>HYVN=0; TRMTRK=0; ORTRAK=0; OLUK=0; HHAT=0; HRVSTR=0; FRWDR=0</i>					
Sonuçlar:					
<i>Zmin</i> (\$)	Ortalama Üretim Maliyeti (\$/m ³)	<i>TOPKQ</i> (m ³)	<i>IG</i> (saat)	<i>MOTEST</i> (saat)	
485455,6	20,98	3059,16	101360,6	8805,87	

Eğer, OP alanında insan gücü haricinde, bu çalışma kapsamında alternatif olarak sunulan üretim sistemlerinin kullanılması tercih edilmezse amaç fonksiyonu değeri, Model-1'e göre % 62 oranında artmaktadır. Yalnızca insan gücüne bağlı basit teknolojinin kullanılması ile toplam kayıp miktarının 3059,16 m³ olduğu ve buna bağlı olarak kayıp maliyetinin artmasıyla, ortalama üretim maliyetinin arttığı gözlenmiştir.

Senaryo – 2:

Bu senaryoda, Model-1 için, insan ve hayvan gücü haricindeki tüm işgücü kaynakları kısıtlanmıştır. Senaryo-2'nin özellikleri ve çözüm sonuçları aşağıdaki özet tabloda yer almaktadır (Tablo 62).

Tablo 62. Senaryo-2' nin koşulları ve çözüm sonuçları özeti

Koşullar: <i>TRMTRK=0; ORTRAK=0; OLUK=0; HHAT=0; HRVSTR=0; FRWDR=0</i>					
Sonuçlar:					
<i>Zmin</i> (\$)	Ortalama Üretim Maliyeti (\$/m ³)	<i>TOPKQ</i> (m ³)	<i>IG</i> (saat)	<i>MOTEST</i> (saat)	<i>HYVN</i> (saat)
439 680	18,84	2614,28	85 102,27	8528,26	8127,87

Buna göre, 2. senaryonun amaç fonksiyonu değeri, Model- 1'den % 45 daha fazla bulunmuştur. Üretim operasyonları sırasındaki ürün kayıp miktarı da 2614,3 m³ olarak yüksek bir değerde bulunmuştur. Bunun nedeni, insan gücünün 85102,27 saat çalıştırılacak olmasından kaynaklanmaktadır. Bu senaryo, varolan koşullarda yalnızca insan ve hayvan gücüne dayalı 1, 2, 5 ve 6. üretim sistemlerinin kullanılmasını zorlamaktadır. Çevresel ve kurumsal maliyetlere rağmen temel (yöresel) teknolojiyle odun üretim işlerinin yürütülecek olmasının maliyeti, % 45 oranında artmaktadır.

Senaryo – 3:

Operasyonel planlamada, amaç fonksiyonunu en küçükleyen üretim sistemlerinin yörede kullanılabilirliği olması ve elde edilebilirliği de önemlidir. Bu nedenle ara teknolojileri yansıtması açısından tarım traktörü kaynak kısıdı kaldırılmıştır. Çözüm sonuçları aşağıda yer almaktadır (Tablo 63).

Operasyonel planlama alanında, insan ve hayvan gücü yanında yörede kullanılabilir nitelikteki tarım traktörlerinin de odun üretim etkinliklerinde kullanılmaya başlamasıyla amaç fonksiyonu değeri, 1. ve 2. senaryoya göre sırasıyla % 28 ve % 21 daha azalmıştır. Ancak, Model-1' de elde edilen amaç fonksiyonundan % 16 daha yüksek bir amaç fonksiyonu değerine ulaşılmıştır. Öte yandan, ürün kayıpları miktarı 1376,47 m³ bulunmuştur.

Tablo 63. Senaryo-3' ün koşulları ve çözüm sonuçları özeti

Koşullar: <i>ORTRAK</i> =0; <i>OLUK</i> =0; <i>HHAT</i> =0; <i>HRVSTR</i> =0; <i>FRWDR</i> =0						
Sonuçlar:						
<i>Zmin</i> (\$)	Ortalama Üretim Maliyeti (\$/m ³)	<i>TOPKQ</i> (m ³)	<i>IG</i> (saat)	<i>MOTEST</i> (saat)	<i>HYVN</i> (saat)	<i>TRMTRK</i> (saat)
348 437,7	14,92	1376,47	44 649,7	28 524,48	5638,17	16 232,25

Senaryo – 4:

Planlama alanında tarım bölmeden çıkarma işlerinde orman traktörleri de DOI' den kiralanabilmektedir. Bu nedenle, temel teknolojiyen ara teknolojiye geçişin simgelenmesi (mekanizasyon seviyesinin artırılması) açısından orman traktörü kaynak sınırı da kaldırılmıştır. Çözüm sonuçları, Tablo 64' de yer almaktadır.

Tablo 64. Senaryo-4' ün koşulları ve çözüm sonuçları özeti

Koşullar: <i>OLUK=0; HHAT=0; HRVSTR=0; FRWDR=0</i>							
Sonuçlar:							
<i>Zmin</i> (\$)	Ortalama Üretim Maliyeti (\$/m ³)	<i>TOPKQ</i> (m ³)	<i>IG</i> (saat)	<i>MOTEST</i> (saat)	<i>HYVN</i> (saat)	<i>TRMTRK</i> (saat)	<i>ORTRAK</i> (saat)
344 475,2	14,72	1339,85	42744,86	24425,91	5628,2	13 152,47	1344

Orman traktörü, tarım traktörü, hayvan ve insan gücünün kullanıldığı odun üretim teknolojisine göre amaç fonksiyonunun değeri, Senaryo-3' e göre yalnızca % 1 oranında azalmıştır. Bununla birlikte, orman traktörlerinin kullanılmasıyla tarım traktörlerine göre, ürün kayıplarında yaklaşık % 37 oranında tasarruf sağlanmıştır.

Senaryo - 5:

Bu senaryoda, ileri teknolojinin kullanılması durumu test edilmiştir. Uygulamada, azalan işgücü kaynakları, standartlaştırılmış ve uzmanlaşmış işçi grupları, devamlı işçilik ve mekanizasyon düzeyinin artırılması gibi eğilimlerin sonuçlarını görebilmek açısından, insan gücü, 4500 saat ile kısıtlanmıştır (Tablo 65).

Planlama alanında, odun üretim faaliyetlerinde orman hava hattı, harvester ve forwarder' in yani tamamen ileri teknolojinin kullanılmasıyla birlikte, amaç fonksiyonu değeri 445 607 \$ bulunmuştur. Bu değer, ara teknolojiyi simgeleyen senaryolara göre yüksek iken, temel teknolojiye göre düşük bulunmuştur. Bununla birlikte, Model-1' e göre ileri teknolojiyi tercih etmenin bedeli, amaç fonksiyonu değerindeki % 33' lük artışla temsil edilebilir. Buna karşın, ürün kayıp miktarlarında, Model-1' e göre % 70' lik bir tasarrufta bulunulduğu belirlenmiştir.

Tablo 65. Senaryo - 5' ün koşulları ve çözüm sonuçları özeti

Koşullar: <i>IG<=4500;</i>								
Sonuçlar:								
<i>Zmin</i> (\$)	Ortalama Üretim Maliyeti (\$/m ³)	<i>TOPKQ</i> (m ³)	<i>IG</i> (saat)	<i>MOTEST</i> (saat)	<i>ORTRAK</i> (saat)	<i>HHAT</i> (saat)	<i>HRVSTR</i> (saat)	<i>FRWDR</i> (saat)
445 607	19,28	310,8	4500	2149,9	801,25	473,52	846,73	283,15

3.4.2.1.2. Model – 1' in Uygulanabilirlik Analizi ve Operasyonel Plan Taslağı

Operasyonel planlama yönteminde, karar destek sistemi sağlayabilmesi amacıyla doğrusal programlama denklemi olan Model-1' in, operasyonel karar modeli olabileceği belirginleŖmiŖtir. Teorik açıdan uygunluğu denetlenen bu modelin, arazide uygulanabilirliği operasyonel plan taslağı hazırlanarak analiz edilebilmiŖ ve aŖađıdaki bulgular elde edilmiŖtir. Burada, aynı zamanda doğrusal programlama modeline dayanılarak hazırlanmiŖ plan taslağı yer almaktadır. Bu taslak, planın sözel ve teknik yönünü içermektedir.

Model - 1' e göre, üretim karar deđiŖkenlerinin yorumlanabilmesi için Model-1' in çözüm sonuçları tablosundan özetlenen aŖađıdaki 3 boyutlu Tablo 66 elde edilmiŖtir. Bu tablo, hangi bölmede ne zaman ve hangi üretim sisteminin ne oranda kullanılacağını ifade etmektedir. Her bir karar deđiŖkenini temsil eden 4 indis bulunmasına karŖın, üretim yöntemini temsil eden diğer indis bu tabloda yer almamaktadır. Ancak, operasyonel planın hazırlanması sırasında ilgili tablolar yardımıyla üretim yöntemi de analizde dikkate alınabilecektir.

Temel çözümde yer alan ve bölmelerdeki üretim miktarlarını temsil eden üretim karar deđiŖkenleri, doğrusal programlamanın bölünebilirlik özelliğinden dolayı, 0 ila 1 arasındaki rasyonel sayılardan herhangi bir değer alabilmiŖlerdir.

Modelin zm sonucuna göre, birinci periyotta 5, 7 ve 10 no'lu bölmeler iŖletmeye açılacaktır. Bölme-7' de bulunan etanın (828 m³) tamamının oluk sistemiyle bölmeden çıkarmanın fonksiyonu olan 3 nolu üretim sistemiyle, birinci periyotta üretilmesi nerilmiŖtir. Bölme-5' in 557 m³ olan bakım etasının % 68'i, insan gücünden yararlanılarak 1. periyotta üretilecektir. Aynı Ŗekilde, 10 nolu bölmenin etasının (693 m³) % 81'i, oluk sistemiyle bölmeden çıkarmanın fonksiyonu olan 3. sistemle iŖletmeye açılacaktır.

Tablo 66, uygulamaya yada uygulayıcılara (müteahhit, kooperatif başkanı, posta başı, operatör ve/veya işçi) aktarılması açısından, plan anlayışı çerçevesinde kısaca şu yordamı içermektedir:

“Operasyon yılının 1. periyodunda öncelikle 7 (116) nolu bölme işletmeye açılacaktır. Birinci periyot ilkbahar periyodu olmasından dolayı araziye ulaşılabilirlik, toprak nemliliği vb. unsurlar dikkate alınarak sezonun ilk zamanlarında bu bölmeye girilecektir. Kesme, budama ve tomruklama için motorlu testere; kabukların soyulması için ise balta kullanılacaktır. Bölmeden çıkarmada plastik oluk sistemlerinden yararlanılacaktır. Sonra, 5 (114) nolu bölmeye geçilecek; kesme, budama ve tomruklama ile kabuk soyma işlerinin tümünde motorlu testere kullanılacaktır. Uzun boy tomruk üretim metoduna göre elde edilen ürünlerin bölmeden çıkarma operasyonlarında ise orman traktörü kullanılacaktır. Bu bölmedeki ürünlerin tamamıyla hasat edilmesinin ardından 10 nolu bölmeye girilecektir. Ancak bu bölmedeki 693 m³ DKGH’ nin % 81’ i hasat edilecektir. Bölme içinde % 81’lik periyodik üretim dilimi belirlenecek ve arazide işaretlenecektir. Alınacak bu üretim miktarı için oluk sistemlerinin kullanılması önerilmektedir.

Birinci periyotta gerekli olan üretim miktarı sınırı böylelikle sağlamış olacaktır. Ardından, ikinci periyotta, 10 (152) nolu bölme etasının yarım kalan % 19’ luk kısmı alınacaktır. Bu bölmede birinci periyotta tesis edilmiş oluk sistemi kullanılmaya devam edilecek ve bölmeden çıkarma oluk sistemiyle yürütülecektir. Ardından, birinci periyottan sarkan ve sistem gereği ikinci periyotta üretilecek 5 nolu bölmenin % 32’si tarım traktörleriyle işletmeye açılacaktır.

İkinci periyotta, ayrıca 6, 9, 11 ve 12 nolu bölmeler de tabloda gösterilen biçimde üretime açılacaklardır. Bu bölmelerin ardından aynı periyotta 8 nolu bakım bölgesine girilecektir. Bölmedeki alınabilir etanın % 79’ u 1 nolu üretim sistemiyle üretilecektir. Kalan % 21’ i ise 3 nolu üretim sistemi ile üretime açılacaktır. Bu bölmedeki etanın tamamı ikinci periyotta hasat edilmiş olacaktır. Bu periyotta son olarak 4 nolu bakım bölgesine girilecektir. Bu bölmenin bakım etası 751 m³ olup bunun %55’ inde 7 nolu sistemle 2. periyotta üretim yapılacaktır. Böylelikle ikinci periyotta alınması gerekli eta tamamlanmış olacaktır.

Ancak, üretim etkinliği kesintiye uğratılmaksızın 3. periyot için 4 nolu bölmede kalınarak ve 7 nolu üretim sisteminin aracı olan orman traktörü bölmede çalıştırılarak etanın geri kalan % 45’ lik bölümü üretilecektir. Dolayısıyla, tüm bakım bölmelerinin üretimi 3. periyodun başlangıcında sona erecektir.

Gençleştirme bölmelerinin üretime başlandığı 3. periyotta öncelikle 1 nolu (4306 m³) bölmeye girilecek; kesme ve tomruklama motorlu testere, kabukların soyulması ise elle (balta kullanılarak) yapıldıktan sonra bölmeden çıkarmada hayvan gücü kullanılacaktır. Bu bölmenin üretiminin tamamlanmasının ardından 3 nolu bölmeye gidilecektir.

Bu bölme etasının (5026 m³) % 78' i tarım traktörünün fonksiyonu olan 4. sistemle, % 1' i (50,26 m³) orman traktörünün fonksiyonu olan 7. sistemle ve % 14' ü de orman hava hattının fonksiyonu olan 8. sistemle üretilecektir. Bu bölmede her bir sistemin payına düşen DKGH miktarı bölüştürülecektir.

Bir sonraki üretim bölmesi olan 2 nolu gençleştirme bölmesine girilecek ve etanın (8625 m³) % 9' u 1. üretim sistemiyle % 41' i ise 8. üretim sistemiyle üretime açılacaktır. Bu bölmede, üretim kesilmeksizin 4. periyoda geçilmiş olacaktır. Üretimde kullanılan 8 nolu sistem, orman hava hattı olduğundan hava hattının bu bölmede çalıştırılması devam ettirilerek % 39' luk eta payı da üretilmiş olacaktır. Sonra, orman hava hattı yörede 1 adet olduğundan sökülerek 3 nolu bölmeye taşınacaktır. Bu bölmede de orman hava hattı, % 7'lik DKGH (352 m³) ürünün bölmeden çıkarılması için kullanılacaktır”.

Doğrusal programlama sistemi, yukarıda anlatılan önermelerde bulunmuştur. Ayrıca bu etkinlik için yaklaşık 35 853 saat insan gücü, 13 067 saat motorlu testere, 7051 saat hayvan gücü, 922 saat orman traktörü, 624 saat hava hattı, 384 saat oluk sistemi ve 397 saat tarım traktörünün çalıştırılmasına gereksinim duyulmaktadır.

Bu doğrusal programlama modelinin uygulanmasıyla bazı bölmelerin aynı yada farklı periyotlarda farklı üretim sistemleriyle üretilmesi zorunluluğu ortaya çıkmıştır. Örneğin, 10 nolu bölmede aynı periyotta iki farklı üretim sistemi, 3 nolu bölmede ise aynı periyotta 3 farklı üretiminin farklı oranlardaki DKGH' nin üretimi için kullanılması gerekmiştir. Teorik olarak, bu operasyonel kararların uygulanması amaç fonksiyonunu minimize eden bir yıllık operasyonel faaliyet dizilimini sunmaktadır. Ancak, arazide bölmelerin belirtilen oranlardaki ürün hacmine bölünmesi uygulanabilirlik açısından tartışma konusu olarak belirlenmiştir. Bu noktada, her bir bölme için yalnızca bir üretim sisteminin atanması koşulunda, teknik yönden kazanılacak avantaj ile ekonomik yönden kaybedileceklerin kıyaslanması gerektiği bulunmuştur.

Üretim karar değişkenleri analiz tablosuna bağlı kalınarak, taşıma karar değişkenleri için de bir tablo hazırlanmıştır (Tablo 67). Buna göre, örneğin 5 nolu bölmenin toplam etasının (557 m³) tamamı 1. periyotta üretildiğinden, hemen aynı

3.4.2.2. Karma Tamsayı Doğrusal Programlama Modeli (Model-2)

Model-2' de (0/1 karma tamsayı doğrusal programlama modelinde) çevresel - kurumsal ve periyot etki maliyetleri, operasyon maliyet katsayılarına eklenmiştir. Üretim karar değişkenleri, ikili değişken $\{0,1\}$ ile; taşıma karar değişkenleri ise sürekli (reel) sayılarla temsil edilmiştir. Kayıp miktarı maliyet katsayıları da üretim karar değişkenlerine endekslediğinden 0/1 tamsayı değerler alması sağlanmıştır. Bu stratejide, her bir bölme yalnızca bir kere üretime açılmalı, bir periyotta açılmalı, bir üretim sistemi kombinasyonu kullanılmalıdır. Bu bakımdan LP tabanlı modellerdeki bölünebilirliğe burada izin verilmemiştir.

Model-2, temel model üzerinde çok sayıda ve farklı yapıdaki modifikasyonların denenmesi ile elde edilmiştir. Bu modelin, tamsayı programlama tekniğine göre çözümlenmesi sonucunda, amaç fonksiyonu değeri; 333 846,9 \$ bulunmuştur (Tablo 68a).

Tablo. 68a. Model-2' ye ait temel çözüm sonuçları

Zmin = 333846,9						
MALİYETLER (\$)						
PERİYOT		Üretim		Taşıma		Kayıp
I	<i>PM1</i>	19460,85	<i>T1</i>	4932,62	<i>KP1</i>	2810,44
II	<i>PM2</i>	32937,46	<i>T2</i>	6605,67	<i>KP2</i>	4777,50
III	<i>PM3</i>	99154,25	<i>T3</i>	30773,79	<i>KP3</i>	36672,90
IV	<i>PM4</i>	64282,54	<i>T4</i>	13194,54	<i>KP4</i>	18244,38
TOPLAM		215835,10		55506,61		62505,22

Model-2' de temel çözüme giren üretim karar değişkenleri aşağıdaki Tablo 68b' de görülmektedir. Her bir bölme için tamsayı ile ifade edilen yalnızca bir karar değişkeni değeri bulunmaktadır. Örneğin, *X5127*; 5 nolu bölmedeki tüm bakım etasının, 1. periyotta 2 nolu (uzun boy tomruk) üretim metoduyla, kesme-tomruklama-kabuk soymada motorlu testere ve bölmeden çıkarmada orman traktörünün kullanılarak üretilmesini dikte etmektedir.

Tablo 68b. Model-2/Temel çözümde yer alan üretim karar değişkenleri

I. PERİYOT		II. PERİYOT		III. PERİYOT		IV. PERİYOT	
<i>X5127</i>	1	<i>X4224</i>	1	<i>X1328</i>	1	<i>X3424</i>	1
<i>X8123</i>	1	<i>X6227</i>	1	<i>X2324</i>	1		
<i>X9123</i>	1	<i>X7221</i>	1	<i>X11323</i>	1		
		<i>X10223</i>	1				
		<i>X12223</i>	1				

Tamsayılı değerlerle ifade edilen üretim karar değişkenleri yanında, taşıma karar değişkenleri sürekli sayılarla temsil edilmiştir. Aşağıda temel çözümde yer alan üretim karar değişkenlerinin değeri yer almaktadır (Tablo 68c). Buna göre, örneğin 1 ve 2 nolu (47 ve 67 nolu) gençleştirme bölmelerinin ürünleri, 3 nolu güzergahı takip ederek 2 nolu depoya taşınmaktadır.

Tablo 68c. Model-2/Temel çözümde yer alan taşıma karar değişkenleri (m³)

I. PERİYOT		II. PERİYOT		III. PERİYOT		IV. PERİYOT	
Y5121	540,29	Y6221	261,9	Y1323	4219,88	Y3421	348,70
Y8121	563,5	Y4226	720,96	Y2323	8280	Y3422	4476,26
Y9121	642,88	Y10221	679,14	Y11321	656,6		
		Y12221	573,3				
		Y7221	711,66				

Model-2, her bir bölme için uygun periyodu ve uygun üretim sisteminin atamasını yaparak, periyot sınırlarına göre üretim miktarlarını ve depo taleplerine göre de taşıma miktarlarını düzenlemiştir (Tablo 68d.). Model, üretilen miktar ile taşınan miktar arasında, yaklaşık 857 m³ ürün zayıtının olduğunu belirtmektedir.

Tablo 68d. Model-2' ye göre üretim, taşıma ve kayıp ürün miktarları (m³)

PERİYOT		Üretim	Taşıma		Kayıp	
I	HQ1	1788,00	TRANSP1	1746,67	KQP1	41,33
II	HQ2	3117,00	TRANSP2	2946,96	KQP2	170,04
III	HQ3	13601,00	TRANSP3	13156,48	KQP3	444,52
IV	HQ4	5026,00	TRANSP4	4824,96	KQP4	201,04
Toplam		23532	22675,07		856,93	

Operasyonel planlamada, harcanacak işgücü zamanının da bilinmesi gerekmektedir ve Model-2, Tablo 68e'deki sonuçları türetmiştir. Buna göre, OP yılı boyunca 29642 saat insan gücüne ihtiyaç duyulacaktır. İnsan gücü, birim miktardaki odun hammaddesini üretmek için gereken ekip saatini ifade ettiğinden OP yılı boyunca 22 ekibe ihtiyaç olduğu belirlenmiştir. Yani 80 – 100 adet orman köylüsünün istihdamı söz konusudur.

Tablo 68e. Model-2 'de kullanılacak işgücü kaynakları (saat)

IG	MOTEST	ORTRAK	HHAT	OLUK	TRMTRK	KAMYON
29641,80	26245,60	416,37	331,56	819,65	14509,52	4063,71

3.4.2.2.1. Model – 2' nin Bazı Senaryolara Göre Sınanması

Operasyonel karar problemini temsil edecek ve en uygun çözümler üretebilecek model yapısının aranması sürecinde, kaynaklardaki yada katsayılardaki bazı değişikliklerin amaç fonksiyonuna olan etkisi duyarlılık analizi yardımıyla açıklanmaktadır. Ancak, bazı kaynak kısıtlarının farklı değerde olması durumunda karar değişkenlerinin değişimini izlemek için LP tabanlı modelde olduğu gibi bir takım senaryolar denenmiştir.

Yukarıda çözüm sonuçları verilen Model-2; karşılaştırmalarda kolaylık olabilmesi açısından, Senaryo-1 olarak adlandırılmıştır.

Senaryo – 2:

Operasyonel karar modelinde, plan yılında öncelikle varolan üretim teknolojilerin tercih edilmesi analiz edilmiştir. Kullanılabilirliği ve elde edilebilirliği yüksek oranda olduğundan ilk senaryoda insan ve hayvan gücü fonksiyonuna bağlı 1, 2, 5, ve 6 nolu üretim teknolojilerini kullanımı analiz edilmiştir.

Temel teknolojinin kullanılması koşulunun sınıdığı bu senaryo için 10 denemede diğer tüm çözümlerde kullanılan masaüstü bilgisayar (1,6 GHZ / 256 RAM bellek) ile çözüm elde edilememiştir. Ancak, modelin doğrusal programlama çözümünün olmasından dolayı tamsayı programlama ile de çözülebileceği bilindiğinden, % 1 optimalite toleransı ile yeniden çözüm aranmış ve Tablo 69a' daki sonuçlara erişilmiştir. Temel çözüme giren üretim karar değişkenleri de Tablo 69b' de olduğu gibi bulunmuştur.

Tablo 69a. Model-2/senaryo-2 çözüm sonuçları

Koşullar	<i>TRMTRK=0; ORTRAK=0; OLUK=0; HHAT=0; HRVSTR=0; FRWDR=0</i>
Sonuçlar	
Amaç fonksiyonu (\$)	MIP → Zmin = 473 857.7
Amaç fonksiyonu (\$)	LP → Zmin = 436 483
Çözüm süresi (sn)	00:03:57 / 347309 iterasyon
TOPKQ (m ³)	2614,28
IG (saat)	82421,67
MOTEST (saat)	8691,2
HYVN (saat)	8470,73

Tablo 69b. Model-2/Senaryo-2’de temel çözüme giren üretim karar değişkenleri

I. PERİYOT		II. PERİYOT		III. PERİYOT		IV. PERİYOT	
<i>X11116</i>	1	<i>X4225</i>	1	<i>X2325</i>	1	<i>X1422</i>	1
<i>X7121</i>	1	<i>X8221</i>	1	<i>X3325</i>	1	<i>X5421</i>	1
<i>X9121</i>	1	<i>X10221</i>	1			<i>X6421</i>	1
		<i>X12226</i>	1				

Amaç fonksiyonu değeri, 1. senaryoya göre % 42 oranında artmıştır. Buna karşın, ara ve ileri teknoloji kullanımı kısıtlandığından insan gücüyle çalışma miktarı olağan biçimde artmıştır. Ancak, senaryo-1’den farklı olarak bu modelin çözümü için % 1’lik optimalite toleransı kullanılmıştır. Temel çözüme giren üretim karar değişkenlerinde, 1. senaryoya göre üretim sistemlerinin değişmesine bakılmaksızın, üretim görece bölmelerin zamansal sırası değişmiştir. Öte yandan, modelin MIP formülasyonu ile çözümü yani her bir bölmenin bir periyotta yalnızca bir üretim sistemiyle işletmeye açılmasının zorlanması sonucu; bölmelerin aynı yada farklı periyotlar içinde, farklı üretim sistemleri tarafından işletmeye açılmasına olanak tanıyan LP tabanlı formülasyonun amaç fonksiyonu değerine göre % 8 fazla bulunmuştur.

Senaryo – 3:

Yöresel işgücü ve kullanılabilir teknoloji göz önüne alındığında planlama alanında en az 25 adet tarım traktörünün bulunduğu belirlenmiştir. Buna göre tarım traktörlerinin de üretim operasyonlarına katılımı düşünülmüştür. Aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir (Tablo 70a).

Tablo 70a. Model-2/Senaryo-3 çözüm sonuçları

Koşullar	<i>ORTRAK=0; OLUK=0; HHAT=0;</i> <i>HRVSTR=0; FRWDR=0</i>
Sonuçlar	
Amaç fonksiyonu (\$)	MIP → Zmin = 361 475,2
Amaç fonksiyonu (\$)	LP → Zmin = 348 437
Çözüm süresi (sn)	00:06:20 / 527125 iterasyon
TOPKQ (m ³)	1313,29
IG (saat)	41341,25
MOIEST (saat)	27428,41
HYVN (saat)	5624,58
TRMTRK 8SAAT)	15531,62

Bu senaryonun çözümü içinde % 1'lik optimalite toleransı kullanılmıştır. Çözüm zamanı 2. senaryoya göre daha da uzamıştır. Tarım traktörünün de alternatif üretim sistemleri arasına sokulmasından dolayı, üretim sırasındaki kayıp miktarı azalmıştır. Buna paralel olarak gerekli olacak insan gücü zamanı da azalmıştır. İlaveten, temel çözümde yer alan karar değişkenlerinin periyot ve üretim sistemlerine göre aşağıdaki sonucu verdiği gözlemlenmiştir (Tablo 70b).

Tablo 70b. Model-2/ Senaryo-3' de temel çözüme giren üretim karar değişkenleri

I. PERİYOT		II. PERİYOT		III. PERİYOT		IV. PERİYOT	
<i>X712I</i>	1	<i>X422I</i>	1	<i>X1322</i>	1	<i>X3424</i>	1
<i>X912I</i>	1	<i>X5224</i>	1	<i>X2324</i>	1	<i>X842I</i>	1
<i>X1212I</i>	1	<i>X10224</i>	1	<i>X632I</i>	1		
		<i>X11224</i>	1				

Bu senaryoda amaç fonksiyonu değeri, 1. senaryoya göre % 8 oranında, fazla bulunmuştur. İkinci senaryodan ise % 24 oranında daha az bulunmuştur. Öte yandan, bölmelerin periyot ve üretim sistemlerine göre bölünebilirliğine izin verilmesi ile verilmemesi halinde % 4'lük bir maliyet farklılığı bulunmuştur.

Yukarıda verilen senaryo örnekleri yanında, düşünülebilecek her türlü alternatife karşı da başkaca sınamalar yapılmıştır. Ancak, diğer senaryolarda 1. senaryoya göre daha üstün değerler elde edilmemesi ve bir çoğunun kısıtlayıcıların katılığına bağlı olarak çözülememesinden dolayı bunlara, tez kapsamında yer verilmemiştir.

3.4.2.2.2. Model-2' nin Uygulanabilirlik Analizi ve Operasyonel Plan Taslağı

Karma tamsayı programlamada üretim karar değişkenleri ikili (0/1) değişken değeri almışlardır. Bu, her bir bölmenin herhangi bir periyotta yalnızca bir üretim sistemi kullanılarak üretime açılması kararını desteklemektedir. MIP tabanlı operasyonel karar modeli olan Model-2' nin çözümünden elde edilen bulgulara göre operasyon plan taslağı tablosu oluşturulmuştur (Tablo 71a).

Buna göre, “Başlangıç sırası, bölmenin özel hallerine (meşcere özellikleri, yol durumu, bölmenin uzaklığına, vb.) yada karar verici ve/veya uygulayıcıya bırakılmak üzere üretim için 5 nolu bölmeye girilecektir. Kesme, budama-tomruklama ve kabukların soyulması için motorlu testere kullanılacaktır. Uzun boy tomruk metodunun tercih edildiği bu bölmede, bölmeden çıkarma için orman traktörleri kullanılacaktır. Bölmede bulunan etanın tamamı alınarak 8 nolu bölmeye geçilecektir. Bu bölme etasının tamamı için kesme, budama ve tomruklamada motorlu testere; bölmeden çıkarmada ise oluk sistemi kullanılacaktır. Benzer şekilde, 9 nolu bölmede de üretim operasyonları yürütülerek, henüz operasyonel planlamanın başlangıcında belirlenen bölme etalarının tamamı alınacaktır”.

Ardışık periyotta da tabloda verilen sistemler kullanılarak işlemler sürdürülecektir. Her bir bölmeye, bir periyot ve bir üretim sistemi atandığından (tahsis edildiğinden) uygulama açısından anlaşılabilir bir plan taslağı oluşturulduğu belirlenmiştir.

Bu planın gerçekleştirilebilmesi için 29641,80 saat insan; 26245,60 saat motorlu testere; 416,37 saat orman traktörü; 331,56 saat orman hava hattı; 819,65 saat (plastik) oluk sistemi; 14509,52 saat tarım traktörü ve 4063,71 saat kamyon gücüne ihtiyaç duyulduğu tespit edilmiştir. Operasyon yılı boyunca bu koşullarda yapılan üretimin toplam maliyetinin (çevresel ve kurumsal etki maliyetleri de dahil olmak üzere) 333 847 \$ olacağı bulunmuştur.

Öte yandan, taşıma karar değişkenlerine göre de hangi depoya hangi rotadan taşıma yapılacağı plan taslağında gösterilebilmiştir (Tablo 71b).

Tablo 71b. Model-2 Temel çözümünde yer alan taşıma karar değişkenlerinin analizi

BÖLMELER												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
GÜZERGAH	1				540,3			563,5	642,9			
	2											
	3											
	4											
	5											
	6											
	7											
	8											
GÜZERGAH	1					261,9	711,7			679,1		573,3
	2											
	3											
	4											
	5											
	6				720,9							
	7											
	8											
GÜZERGAH	1										656,6	
	2											
	3	4219,9	8280									
	4											
	5											
	6											
	7											
	8											
GÜZERGAH	1			348,7								
	2			4476,3								
	3											
	4											
	5											
	6											
	7											
	8											

3.4.2.3. Tamsayılı Programlama Çözümünde Sezgisel (Heuristic) Yaklaşım

Operasyonel karar modellerinde; aynı matematiksel denklemde, aynı katsayı ve aynı kısıtlayıcılarla; yarı sürekli değişkenler kullanılarak LP yöntemiyle birkaç saniyede çözülebilen operasyonel karar probleminin, tamsayılı (ikili) karar değişkeni ile dakika veya saat biriminde çözüme ulaşabildiği belirlenmiştir. Örneğin, 1415 değişkeninden 684 adedi (0/1) tamsayılı olan Model-2' nin çözüm sonuçları, 33 dakika 9 saniye sonra elde edilebilmiştir. Bazı senaryolar için ise tamsayılı çözümlere ulaşamamıştır. Kullanılan

bilgisayarın kapasitesi bunda etkili olabilirken, çözüm arama zamanının 13 saat kadar sürdükten sonra programın herhangi bir rapor vermeden kendini kapatması; MIP çözücüsünün problem için daha fazla kapasite ve zamana ihtiyacını olduğunu göstermiştir.

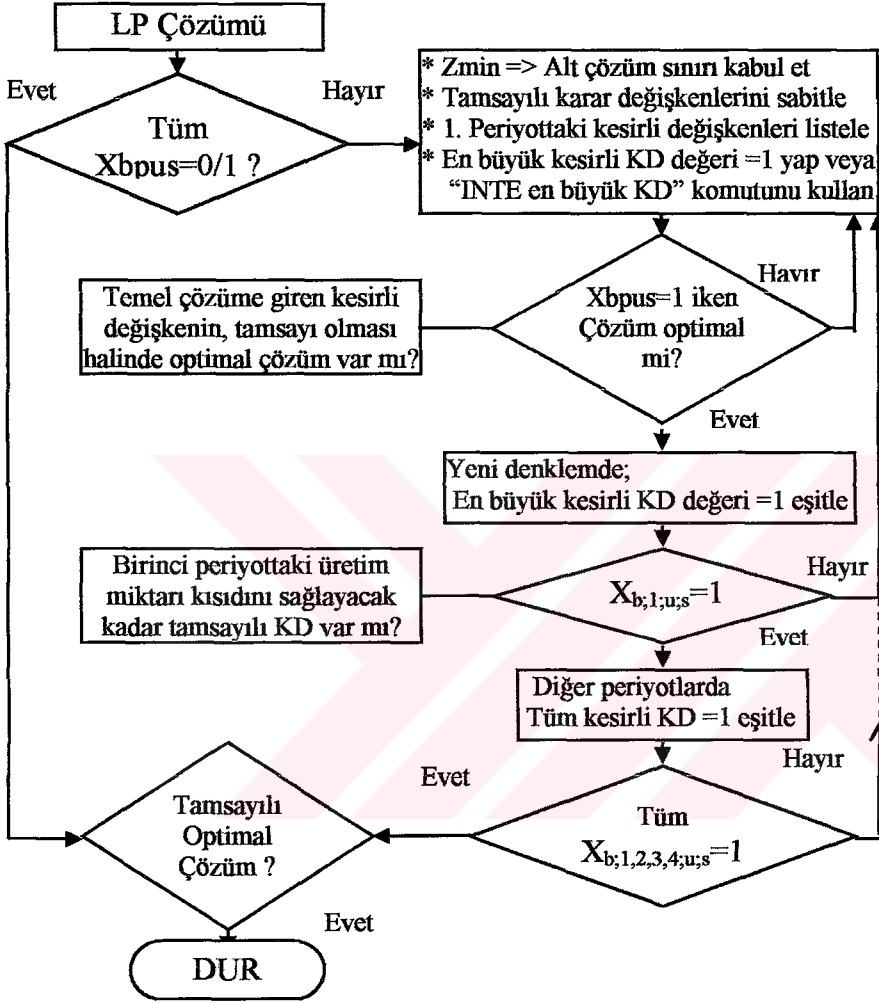
Bu çalışmada operasyonel planlama ve içerdiği operasyonel karar modelleri ile bunların çözümüne ilişkin kavramsal çerçevenin verilmesinden dolayı; MIP çözücüsüyle temel model için bir çözüm sağlanmasına rağmen, MIP ile çözülemeyen problemler için kullanılabilen sezgisel yaklaşım ile de aynı problem için elde edilen bulgular sunulmuştur. Çalışma kapsamında, sezgisel yaklaşım bir bilgisayar programı ile koordine edilememiştir. Ancak, sezgisel programlamanın kavramsal çerçevesinin verilmesi, bu yaklaşımın operasyonel planlama problemlerinde kullanılabilirliği açısından yararlı görülmüştür.

Sezgisel yaklaşımın kullanılması için problemin LP tabanlı çözüm raporu kullanılmıştır. MIP tabanlı model olan "Model-2"nin başlangıç çözümü yani doğrusal programlama hali (tamsayı kısıtların eklenmemiş hali) sezgisel yaklaşımın kullanılması için başlangıç olmuştur.

Sezgisel yaklaşım, iteratif (birbirine bağlı ardıl işlemler) bir süreç ve tekrarlanan çözüm arama işlemleri dizininden ibarettir. Bu çalışmada, operasyonel planlama modeli için geliştirilen tamsayılı programlamaya dayalı sezgisel yaklaşımın, dal sınır algoritmasıyla aşağıdaki adımlara göre gerçekleştirilmesi uygun bulunmuştur (Şekil 20):

1. Model, doğrusal programlama (LP) formülasyonu ile çözülmüştür. LP çözüm raporuna göre, optimal yada fizibil çözüm olup olmamasına bakılmıştır. Çözüm olması halinde, çözüm setine giren karar değişkenleri kontrol edilerek tamsayı değerler alıp alamayacakları sınanmıştır. Bu sınamada; eğer LP tabanlı optimal sonuçlar var ise LP' de yarı sürekliliği $\{0 \dots 1\}$ değerler alan karar değişkenlerinin 0 yada 1 ikili değişkenlerini de alabileceği varsayımı desteklenmiştir. Yani, OP probleminde en az bir bölmenin en azından bir periyotta en az bir üretim metodu ve en az bir üretim sistemiyle üretilecek olması belirgin olmalıdır. Nitekim LP temel çözümünde 0; 0 – 1; 1 değerleri almış karar değişkenlerinin olduğu görülmüştür.
2. Bu durumda, optimal bir sonucun yer aldığı LP denklemi; karma tamsayı programlama probleminin gevşetilmiş denklemi olarak kabul edilmiştir. Bu denklemin amaç fonksiyonu değeri, sezgisel yaklaşımla çözüm arama stratejisinde "Zmin" için alt sınır olarak adlandırılmıştır. LP çözümünde temel çözüme giren (0/1 ikili tamsayı değer alan) üretim karar değişkenlerinden 1 değeri alanlar, modelin sonuna kısıt olarak eklenmiştir. Kısacası, karar değişkeni değeri 1 olanlar,

bağlanmıştır. Örneğin, $X_{7123} = 1$ gibi. Çünkü, bu karar değişkeni LP' nin temel çözümünde kullanılmıştır ve bu nedenle optimal çözüm için tarafımızdan aranan koşulu sağlamıştır.



Şekil 20. Sezgisel (heuristic) çözüm yönteminin iş akış şeması

3. Birinci periyottan başlamak üzere, kesirli değer alan karar değişkenleri işaretlenmiştir. En büyük kesirli değeri olan karar değişkeni belirlenmiştir. Bu aşamadan sonra 2 yordam denenmiştir.
- 3.1. İlkinde, LINDO paket programı içinde, en büyük kesirli karar değişkeninin "INTE" komutuyla, 0/1 değerlerinden hangisini alabileceği analiz edilmiştir. Yani kesirli karar değişkeni iki dala ayrılmıştır. Böylece, çözüm arama süresi kısaltılmıştır.

- 3.2. İkincisinde ise, literatürde sıkça rastlanan bir yöntem olan (Weintraub vd., 2000b; Karlsson, 2002; Gunnarson, 2001), “en büyük kesirli (fraksiyonel) sayının 1’ e eşitlenmesi” yöntemi denenmiştir. Bu strateji tercih edildiğinde, karar değişkeninin 0 olması durumunda, amaç fonksiyonunun alacağı değer de yeniden analiz edilmiştir.
4. Bir önceki adımda tamsayılı sonuç veren çözüm stratejileri birden fazla ise, yani kesirli karar değişkeni hem 0 hem de 1 değeri aldığıda optimal olan iki sonuca erişilebiliyorsa; alt sınır olarak belirlenen gevşetilmiş çözüm değerine en yakın (en küçük amaç fonksiyonu değerinde sahip) olan dal, çözüm kabul edilmiş ve sınırlandırılmıştır. Yani bu karar değişkeni, bağlanmıştır. Nihayetinde, çözüm tamsayılı sonuçlar verdiği için ve bu durumunun bir sonraki adımda bozulmaması için bu karar değişkeninin değeri kısıt olarak denkleme eklenmiştir.
5. Böylelikle algoritmanın 1. döngüsü tamamlanmıştır. İkinci döngüde, birinci periyotta en büyük kesirli değere sahip diğer bir karar değişkeni arama sürecine sokulmuştur. Buradaki adımlarda birinci periyotta üretilecek üretim miktarının alt ve üst sınırları, döngünün kesilmesini sağlamaktadır. Birinci periyotta üretilecek üretim miktarının alt ya da üst sınırlarına erişilmişse, ikinci periyottaki kesirli değişkenlerin tamsayıya dönüştürülmesine devam edilmiştir. Ancak, 1. periyotta hala çok küçük değerlere sahip kesirli değişkenler var ise bunların yine INTE komutuyla hangi değerleri alabileceği aranmıştır. Eğer, bunlar ardışık periyotlar için de bir temel çözüm değişkeni değillerse değeri atanarak hiçbir zaman çözüme girmemeleri sağlanmıştır.
6. Böylelikle birinci periyotta temel çözüme giren tamsayılı karar değişkenleri elde edilmiş ve ikinci periyot için rutin işletilmiştir.
7. Tüm periyotlar için tamsayılı değer alan karar değişkenleri sağlanmışsa arama rutini tamamlanmıştır.

Sezgisel yaklaşımın test edilmesi ve ileride karşılaşılabilecek farklı büyüklükteki operasyonel planlama problemlerinin tam çözümlü matematiksel programlamalardan farkını ortaya koyabilmek için tamsayılı doğrusal programlama yöntemiyle çözülmüş Model-2’ nin gevşetilmiş denklemine uygulanan sezgisel yaklaşımla aşağıdaki bulgular elde edilmiştir (Tablo 72a ve b):

Aşağıdaki temel çözümde, 1. periyotta en yüksek kesirli değer olan X_{10123} (0,81) karar değişkeninin 0 veya 1 değerlerinden hangisini alacağı ile başlayan çözüm arama

süreci sonunda; X_{812} ; X_{5127} karar değişkenlerinin tamsayı sonuçlar olarak temel çözüme girmesi ile 1. periyotta arama kesilerek 2. periyoda geçilmiş ve tüm süreç sonunda aşağıdaki tabloda yer alan karar değişkeni değerlerinin temel çözüme girdiği görülmüştür.

Tablo 72a. MIP'in gevşetilmiş (LP) denkleminin temel çözüm sonuçları

Zmin = 299 582,6							
I. PERİYOT		II. PERİYOT		III PERİYOT		IV. PERİYOT	
X_{7123}	1	X_{4227}	0,55	X_{1322}	0,95	X_{1428}	0,05
X_{5127}	0,41	X_{5224}	0,59	X_{2321}	0,09	X_{2421}	0,09
X_{10127}	0,02	X_{6221}	1,00	X_{2328}	0,46	X_{2428}	0,36
X_{4127}	0,19	X_{8221}	0,77	X_{3324}	0,80	X_{3428}	0,07
X_{10123}	0,81	X_{8223}	0,23	X_{3327}	0,07		
		X_{9221}	1,00	X_{3328}	0,06		
		X_{10223}	0,17	X_{4327}	0,26		
		X_{11223}	1,00				
		X_{12223}	1,00				

Sezgisel çözümlenmede, her bir iterasyon için LINDO programı koşturulmuş ve 33 iterasyon sonunda tüm periyotlarda en az bir bölmenin ve sonuçta tüm bölmelerin üretime açılabilirdiği optimal çözüm elde edilmiştir. Ancak, amaç fonksiyonu değerinin başlangıç LP çözümüne göre % 47 oranında arttığı görülmüştür.

Tablo 72b. Heuristic yaklaşımla (HIP) elde edilen temel çözüm sonuçları

Zmin = 442662,1							
I. PERİYOT		II. PERİYOT		III. PERİYOT		IV. PERİYOT	
X_{8123}	1	X_{4224}	1	X_{1322}	1	X_{2425}	1
X_{7123}	1	X_{6221}	1	X_{3324}	1		
X_{5127}	1	X_{9221}	1				
		X_{10224}	1				
		X_{11223}	1				
		X_{12223}	1				

3.4.2.4. Operasyonel Karar Modellerinin (LP&MIP) Karşılaştırılması

Operasyonel kararların alınmasında; her bir bölmenin hangi sezonda hangi üretim metodu ve hangi üretim sistemi ile işletmeye açılacağı; hangi orman yolunu takip ederek hangi depoya taşınacağı kararları analiz edilmektedir.

Tablo 73' de modellerin her biri için çevresel/kurumsal ve periyot etki maliyetleri kullanılarak hesaplanmış olan amaç fonksiyonu değerleri ve ortalama üretim maliyetleri

verilmiştir. LP tabanlı Model -1; amaç fonksiyonu bakımından MIP tabanlı Model-2'den % 11 daha düşük amaç fonksiyonu değerine sahip olduğu, ortalama üretim maliyetleri bakımından ise % 10 daha düşük olduğu bulunmuştur.

Tablo 73. Model -1 ve Model – 2' nin maliyetler yönünden karşılaştırılması

Modeller	Amaç Fonksiyonu Değeri (\$)	Ortalama Üretim Maliyeti (\$/m ³)
Model – 1 (LP)	299 515,7	12,98
Model - 2 (MIP)	333 846,9	14,27

Model-1, yarı sürekli ve sürekli sayılarla temsil edilen doğrusal programlama denklemdir. Model – 1, üretim bölmelerini hem periyotlara hem de üretim sistemlerine bölmüştür. Aşağıda, Tablo 74' de yıllık etanın bölmelere göre yalnızca üretim sistemlerine bölünmesi gösterilmiştir.

Tablo 74. Model- 1' de yıllık etanın üretim metodu ve üretim sistemine göre dağılımı

Eta (m ³)	Bölme No		Üretim metodu	Hayvan gücü	İnsan gücü	Oluk sistemi	Tarım traktörü	Orman traktörü	Hava hattı
4306	1	47	2 (UB)	1					
8625	2	67	2 (UB)		0,2				0,8
5026	3	203	2 (UB)				0,78	0,01	0,21
750	4	113	2 (UB)					1	
557	5	114	2 (UB)				0,32	0,68	
269	6	115	2 (UB)		1				
818	7	116	2 (UB)			1			
575	8	132	2 (UB)		0,79	0,21			
656	9	135	2 (UB)		1				
693	10	152	2 (UB)			1			
670	11	153	2 (UB)			1			
585	12	154	2 (UB)			1			

MIP denkleminde; üretim karar değişkenleri 0/1 karma tamsayı değişkenlerle temsil edilmiştir. Temel çözümde her bir bölme; bir periyoda, bir üretim metoduna ve bir üretim sistemine atanmıştır (Tablo 75).

Model-1 (LP modeli), etanın üretim sistemlerine dağılımı açısından; örneğin, etanın % 35' inin hava hattı sistemiyle alınmasını önermiştir. Ancak, alınacak bu etanın % 86' sı 2 nolu bölmeden ve 3. periyotta; kalan % 14' ü ise 3 nolu bölmeden 4. periyotta alınacaktır. Buna karşın, Model-2 'de hava hattı yalnızca bir bölme için tahsis edilmiştir ve

bir periyotta bu bölmede üretimi yaptıktan sonra başkaca bölme yada işletmeler için kullanılabilir. Model-2' de tarım traktörü kullanımı, Model-1' e göre fark edilebilir derecede fazla bulunmuştur.

Tablo 75. Model-2' de etanın periyoda, üretim yöntemine sistemine dağılımı

Eta (m ³)	Bölme No		Üretim Periyodu	Üretim Metodu	Üretim Sistemi
4306	1	47	3	2 (UB)	8 (Hava hattı)
8625	2	67	3	2 (UB)	4 (Tarım traktörü)
5026	3	203	4	2 (UB)	4 (Tarım traktörü)
750	4	113	2	2 (UB)	4 (Tarım traktörü)
557	5	114	1	2 (UB)	7 (Orman traktörü)
269	6	115	2	2 (UB)	7 (Orman traktörü)
818	7	116	2	2 (UB)	1 (İnsan gücü)
575	8	132	1	2 (UB)	3 (Oluk sistemi)
656	9	135	1	2 (UB)	3 (Oluk sistemi)
693	10	152	2	2 (UB)	3 (Oluk sistemi)
670	11	153	3	2 (UB)	3 (Oluk sistemi)
585	12	154	2	2 (UB)	3 (Oluk sistemi)

Üretim miktarının üretim sistemlerine dağıtılma oranları kullanılarak çok kriterli analizlerle yapılan işlemler sonucunda elde edilmiş göreceli önemlilik değerlerini gösteren skor değerleri dikkate alınarak Model-1 ile Model-2' nin tercih ettiği üretim sistemlerinin uygunluk değerine bakılmıştır. Model-1; 5,6; Model-2' nin 8,06 değerine sahip olduğu bulunmuştur. Toplam ürün kayıp miktarlarının da karşılaştırılması sonucunda, Model-1'de 1038,2 olan ürün kayıp miktarı, Model-2'de 856,93 m³ olarak bulunmuştur.

3.4.3. Operasyonel Planlamada Alternatif Yaklaşımların Üretim Maliyetlerine Göre Karşılaştırılmasından Elde Edilen Bulgular

Operasyonel planlama modelinin sonuçları ile (1) odun üretim faaliyetlerinin herhangi bir plan yapılmaksızın sağduyu kurallarına göre yürütülmesi hali, (2) fiziksel koşullara göre bir plan yapılması hali, (3) çevresel ve kurumsal maliyetlerin eklenmediği ve yalnızca nicel maliyetlere göre bir plan yapılması hali; ortalama birim maliyetler, amaç fonksiyonu değerleri, tercih edilen üretim sistemleri, ürün kayıpları ve işgücü miktarları bakımından karşılaştırmalar yapılmıştır.

3.4.3.1. Plansız Üretim Operasyonlarına Ait Bulgular

Halihazır odun üretim operasyonları için yürürlükte olan yönetmelikler ve bütçe hazırlık çalışması ile bütçe dağıtımına yönelik hazırlanan üretim programlarının, üretim planlaması kavramıyla tam olarak bağdaşmadığı anlaşılmıştır. Bu bakımdan aktüel işleyiş, plansız odun üretim eylemleri olarak kabul edilmiş ve bu durumda aşağıdaki uygulama sonuçları ile karşılaşılmıştır.

Yaklaşım - 1:

Operasyonel planlamaya konu alanda; yalnızca insan gücü kullanımının ve hayvan gücü kullanımının fonksiyonu olan iki odun üretim sistemi kombinasyonu oluşturulabilmektedir. Tarım traktörleri yörede mevcut olmasına rağmen, işgücünün bol ve yılın genelinde işlendirilebilmesi gerekçesiyle, kullanılmamaktadır. DOI, herhangi bir planlama yapmaksızın üretim programlarını, silvikültürel işlemleri ve işletmenin para gereksinimini esas alarak ve üretim programlarına bağlı olarak odun üretim işlerini orman köylülerine resmi işleyişe göre yaptırmaktadır (Bakım bölmeleri 1. ve 2. periyotta; gençleştirme bölmeleri 3. ve 4. periyotta). Orman köylüleri de yapacakları bu odun üretim etkinliğini, en yüksek ekonomik getiriyi sağlayacak biçimde herhangi bir kaynak planlaması yapmadan bitirmek istemektedir.

Bu durumda operasyon yılının başlangıcındaki birim fiyatlara göre, herhangi bir sınırlandırıcı faktör olmaksızın operasyonların maliyetleri hesaplanmıştır (Tablo 76).

Tablo 76. Planlama olmaksızın gerçekleşmesi beklenen insan gücüne bağlı üretim sistemlerinin operasyon maliyetleri

Bölme No	Üretim Miktarı m ³	Üretim Maliyeti \$	Taşınan Miktar m ³	Taşıma Maliyeti \$	Kayıp Miktarı m ³	Kayıp Maliyeti \$	Toplam Maliyet \$	Gerekli İşgücü Saat
47	4306	53674,164	3746,22	22441,198	559,78	33586,8	109702,16	16879,52
67	8625	99311,74	7503,75	41181,896	1121,25	67275	207768,64	31567,5
203	5026	59223,533	4372,62	22429,217	653,38	39202,8	120855,55	18696,72
113	750	12726,352	652,5	2824,4709	97,5	5850	21400,823	5429,73
114	557	6308,995	484,59	2083,6558	72,41	4344,6	12737,251	2512,07
115	269	2429,752	234,03	972,52181	34,97	2098,2	5500,4738	988,2
116	818	7270,5848	711,66	2998,4078	106,34	6380,4	16649,393	2903,9
132	575	6463,0964	500,25	2071,5932	74,75	4485	13019,69	2576
135	656	5745,5004	570,72	2429,296	85,28	5116,8	13291,596	2302,56
152	693	9199,3341	602,91	2609,8111	90,09	5405,4	17214,545	3832,29
153	670	9657,7425	582,9	2413,8556	87,1	5226	17297,598	3772,1
154	585	6482,6476	508,95	2100,2765	76,05	4563	13145,924	2579,85
TOPLAM	23532	278493,4	20471,1	106556,2	3058,9	183534	568583,6	94 040,4

Operasyonlar için herhangi bir özel kısıtlayıcı bulunmaksızın 23532 m³ DKGH' nin dikili bulunduğu alandan kesilip en yakın depoya taşınması için toplam 868 583,6 \$ ödeme beklenmektedir. Kesim işlerinin motorlu testere, kabuk soymanın ise elle balta kullanılarak yapılmaktadır. Bölmeden çıkarma işleri ise insan gücünden yararlanarak kaydırma, atma, itme veya yuvarlama şeklinde gerçekleştirilmektedir. Taşıma işlemlerinde; yükleme elle yapılmakta ve taşıma en yakın depoya en yakın yoldan ve bir seferde ortalama 13 m³ ibreli odun taşımaya uygun, 3 akslı kamyonlarla yapılmaktadır.

İnsan gücüne dayalı üretim sisteminin seçilmesi koşulunda, bölmeden çıkarma operasyonları sırasında çeşitli nedenlerden dolayı toplam 3059 m³ ürün kaybı meydana gelmesi beklenmektedir. Bu miktarın satılmamasından dolayı oluşacak gelir kaybı da maliyetler üzerine eklendiğinde kızılçam ağaç türünden 1 m³ odun hammaddesi üretmek için toplam 24,84 \$/m³ masraf ödenmiş olacaktır. Bu maliyet, toplam 20 471,1 m³ ürün için ödenecek üretim bedelini temsil etmektedir.

Buna karşın, günlük ortalama 8 saat çalışılacağı düşünülerek 5 kişiden oluşan bir üretim ekibinin 94040,4 saat çalışması gerektiği belirlenmiştir. Yıllık çalışılabilir gün sayısı için de herhangi bir sınır konulmamasına karşın silvikültürel prensipler, yağışlı günler, bayram ve hafta tatilleri dikkate alındığında 220 gün çalışılabileceği kararlaştırılmıştır. Bu durumda 5 kişiden oluşan yaklaşık 53 üretim ekibinin (265 adam/yıl) gerektiği ortaya çıkarılmıştır. Eğer, operasyonel planlama yaklaşımındaki iş günü sınırı konulursa; ki bu, 192 gün ve 1344 saat ile sınırlıdır, odun üretimi için bu yörede, bu uygulama yılında 70 üretim ekibinin (350 adam/yıl) çalıştırılması gerekli bulunmuştur.

Öte yandan, operasyonel planlama alanında hayvan gücünün de kullanılabilir olduğu bilindiğinden; ortalama arazi eğimi % 33 ve bundan daha düşük olan bölmeler için (% 36 ve % 35 arazi eğimine sahip 203 ve 116 bölmelerde bu gruba dahil edilerek) hayvan gücü kullanılacağı diğer bölmelerde ise yine insan gücü kullanılacağı düşünülerek Tablo 77' deki bulgular elde edilmiştir.

Tablo 77. Planlama olmaksızın gerçekleşmesi beklenen insan ve hayvan gücüne bağlı üretim sistemlerinin operasyon maliyetleri

Bölme No	Üretim Miktarı	Üretim Maliyeti	Taşınan Miktar	Taşıma Maliyeti	Kayıp Miktarı	Kayıp Maliyeti	Toplam Maliyet	Gerekli İşgücü
	m ³	\$	m ³	\$	m ³	\$	\$	Saat
47	4306	34261,598	4090,7	22277,063	215,3	12918	69456,662	13305,54
67	8625	90283,4	7503,75	37438,087	1121,25	67275	194996,49	31567,5
203	5026	40154,326	4774,7	22265,161	251,3	15078	77497,486	15580,6
113	750	14380,777	652,5	3191,6521	97,5	5850	23422,429	5429,73
114	557	7129,1643	484,59	2354,5311	72,41	4344,6	13828,295	2512,07
115	269	2745,6197	234,03	1098,9496	34,97	2098,2	5942,7694	988,2
116	818	6748,6607	777,1	3699,7598	40,9	2454	12902,421	2625,78
132	575	7303,2989	500,25	2340,9003	74,75	4485	14129,199	2576
135	656	6492,4155	570,72	2745,1045	85,28	5116,8	14354,32	2302,56
152	693	10395,248	602,91	2949,0865	90,09	5405,4	18749,734	3832,29
153	670	8011,1201	636,5	2978,4758	33,5	2010	12999,596	3309,8
154	585	8378,8408	555,75	2591,5481	29,25	1755	12725,389	2556,45
TOPLAM	23532	236284,47	21383,5	105930,32	2146,5	128790	471004,8	86586,52

Tablo 77'ye göre tüm bölmeler için toplam operasyon maliyetinin, 471 004,8 \$ olarak gerçekleşeceği bulunmuştur. Bölmelerden bazılarında (47, 203, 116, 153 ve 154) topoğrafik koşulların uygun olmasından dolayı hayvan gücünden yararlanılacaktır. Toplam birim maliyetin ortalama 20,46 \$/m³ olacağı belirlenmiştir. Toplamda ise 21383,5 m³ ürünün depolara girişi sağlanacaktır.

Bununla birlikte, 49208,35 saat insan gücüne; 37378,17 saat de hayvan gücüne gereksinim duyulacağı belirlenmiştir. Yıllık 220 işgünü ve günlük 8 saat çalışılabildiği dikkate alındığında insan gücüne dayalı 28 üretim sistemi ekibine (140 kişi) ve 21 hayvanla çalışma ekibine (4 yada 5 kişilik hasat ekibi ile 1 katır ile 1 işçiden oluşan bölmeden çıkarma ekibine) ihtiyaç olacağı tespit edilmiştir.

Yaklaşım – 2:

Yaklaşım-1' deki problem yapısına bu kez, operasyonel planlama stratejilerinde kullanılan kaynak kısıtlayıcıları eklenmiştir. Burada da yine bir plan yapılmaması durumu düşünülmüş ancak, bu kez operasyonel kısıtların konulmasıyla değişen yeni sonuç denetlenmiştir.

Doğrusal programlama denklemi kullanılarak, modelde insan gücüne bağlı üretim sistemleri dışındaki üretim sistemi alternatiflerinin STD' si, 0' a eşitlenmiş ve çözüm kümesine dahil edilmemiştir. Plansız odun üretim faaliyetlerinin düzenlenecek olması halinde aşağıdaki tabloda belirtilen bulgular elde edilmiştir (Tablo 78).

Tablo 78. Kısıtlı kaynaklarla, planlama yapılmadan gerçekleştirilen üretim operasyonları

Üretim Miktarı	Üretim Maliyeti	Taşınan Miktar	Taşıma Maliyeti	Kayıp Miktarı	Kayıp Maliyeti	Toplam Maliyet	Gerekli İşgücü
m ³	\$	m ³	\$	m ³	\$	\$	Saat
23532	291562,1	20473	82551,7	3059	146696,7	520810,6	119972,25

Bir planlama yaklaşımı uygulanmaksızın, odun üretiminin gerçekleştirilmesi halinde toplam 520810,6 \$ üretim maliyetinin oluşacağı; ortalama birim üretim maliyetinin ise 25,44 \$/m³ olacağı bulunmuştur. Öte yandan sınırlanan zaman çerçevesinde, insan gücüyle üretim yapmak için gerekli işgücü saatinin, 119972,25 saat olduğu ve bir önceki yaklaşıma göre yaklaşık % 27 arttığı belirlenmiştir.

Yaklaşım – 3:

Planlama alanı olan (Aşağıgökdere) orman işletme şefliğinde operasyonel planlama yılında (2002), mevcut yönetmelik ve yörede kullanılan üretim sistemlerine göre gerçekleştirilmiş odun üretim maliyetlerine ilişkin elde edilen gerçekleşme sonuçları burada verilmiştir. Amaç; uygulamadaki aktüel sonuçlar ile operasyonel planlama sonuçlarının karşılaştırılabilmesidir.

Planlama alanının ait olduğu, Isparta Orman Bölge Müdürlüğü' nün 2002 yılı çalışma programında, üretim giderlerinin 19 450 000 TL/m³ (13,41 \$/m³) olarak tahmin edildiği anlaşılmıştır.

Muhasebe kayıtlarından alınan bilgilere göre ise, Eğirdir OİM' de 26 413 m³ odun üretiminin gerçekleştirildiği ve bu gerçekleştirmelere göre 1m³ yapacak odununun mal oluş fiyatının 19 508 000 TL (13,45 \$/m³) olduğu belirlenmiştir.

Eğirdir OİM muhasebe kayıtlarına göre 2002 yılı tomruk üretiminde fiili masrafların 26 900 000 TL/m³ (18,55 \$/m³) ve 2. sınıf normal boylu tomruğun maliyet bedelinin ise 109 130 000 TL olduğu anlaşılmıştır.

Planlama alanında odun üretim işlerini yürüten kooperatif temsilcileriyle yapılan görüşmelerden 2002 yılında kesme, bölmeden çıkarma ve taşıma işleri için orman idaresinin kendilerine toplam 26 800 000 TL/m³ (18,48 \$/m³) ödediği belirlenmiştir.

Bununla birlikte, 2002 yılında planlama alanında üretimi yapılan bölmelerin (operasyonel planlama modelinde konu edilen bölmeler), "bölme üretim dosyaları"

incelenmiştir. Birim fiyat (vahidi fiyat) kararları ve metraj cetveline göre, bölmelerdeki üretim maliyetlerinin aşağıdaki gibi gerçekleştiği bulunmuştur (Tablo 79).

Tablo 79. Uygulamada gerçekleşen birim fiyatlara göre bölmelerin üretim maliyetleri

Bölme No	Eta (m ³)	Sürütme Mesafesi (m)	Toplam Birim Maliyet (\$/m ³)	Toplam Bölme Maliyeti (\$)	Toplam Üretim Suresi (saat)	Toplam Kayıp Miktarı (m ³)
1	2	3	4	5 (2*4)	6	7 (2*0,13)
47	4936	395	16,08	79381,09	29376,6	641,68
67	6121	305	11,41	69813,17	30730,48	795,73
203	3997	220	8,69	34738,06	15592,3	519,61
113	665	225	10,12	6727,05	2993,83	86,45
114	557	185	9,02	5026,44	2199,315	72,41
115	245	160	8,93	2187,60	921,6083	31,85
116	695	195	9,01	6261,23	2662,198	90,35
132	556	130	8,76	4868,26	2065,911	72,28
135	536	270	9,93	5321,93	2515,001	69,68
152	693	240	10,21	7074,34	3241,739	90,09
153	625	200	9,57	5978,45	2630,208	81,25
154	498	160	8,69	4329,17	1829,984	64,74
Toplam	20124			231706,78	96759,17	2616,12
(11. sütun dahil) Ortalama Birim Maliyet				18,24 \$/m ³		

Tablo 79' da, 5 nolu sütundaki değerler itibarıyla bölmelerin ortalama toplam üretim birim maliyetleri 11,51 \$/m³ (16 695 231 TL/m³)' e karşılık gelmektedir. Bu maliyet değeri, birim fiyatlara göre hesaplanmıştır ve üretim sonrası primleri içermemektedir. Maliyetler, insan gücüne dayalı üretim sistemi maliyetlerinin fonksiyonudur. Yani üretim etkinliği, 1. üretim sistemi olarak tanımlanan insan gücüyle kesme, tomruklama ve kabuk soyma ile insan gücüyle bölmeden çıkarma sisteminin kullanılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Sürütme mesafeleri, arazide yola en yakın ve en uzak ağaçların, yolla aralarındaki mesafelerinin ölçülüp aritmetik ortalamasının alınmasıyla elde edilmiş, ortalama sürütme mesafesidir. Operasyonel planlama yaklaşımında kullanılan eta miktarları ile burada kullanılan eta miktarı arasındaki farklılık; dikili ağaç tutanakları ile bölme teslim tutanakları arasındaki farklılığa bağlanmaktadır. Bu farklılığın oranı hesaplama yoluyla yaklaşık olarak % 14 bulunmuştur. İlaveten, amenajman ve silvikültür planları ile dikili ağaç ölçü tutanaklarında belirtilen etanın bazen zamanında alınamadığı anlaşılmıştır. Örneğin, 2001 yılında işgücü eksikliğinden dolayı tamamı alınamayan bir bölmenin bir kısmı 2002 yılına sarkıtılmıştır. Bu nedenle de, etalar arasındaki tutarsızlıklar meydana gelebilmektedir.

Uygulamada, üretim etkinlikleri sonunda, insan gücüne dayalı üretim sistemi kullanıldığından % 13' lük bir kalite ve miktar kaybının olduğu da düşünülürse, bunun maliyetler (giderler) üzerindeki etkisinin de hesaplanması gereklidir. Ancak, uygulamada bu kayıplar çeşitli miktarlarda olduğu halde, maliyet hesaplamalarında gösterilmemektedir. Bu nedenle, kayıp maliyetlerinin üretim maliyetlerine etkisi belirlenmiş ve eklenmiştir. Yeni ortalama birim maliyetin, 18,24 \$/m³ (26 445 231 TL/m³) olduğu ortaya çıkmıştır. Bununla birlikte, 20 124 m³ odun hammaddesinin elde edinimi için (yalnızca insan gücüne bağlı üretim sisteminden yararlandığından) 96 759,17 saat insan gücünün çalıştırıldığı hesaplanmıştır.

3.4.3.2. Transport Planlamasına Ait Bulgular

Operasyonel odun üretim planları transport planları ile iç içedir. Ancak OP, mikro transport planlarının (Acar, 1994) genişletilmiş ve üretim sistemlerinin seçiminde matematik-istatistik yöntem yerine, matematiksel programlama yönteminin uygulanmış olduğu, halidir. OP' nin operasyonel karar modeli aşaması hariç diğer aşamaları; ki bunlar fiziksel planın oluşum aşamasıdır, transport planlarından farklı değildir. Transport planları ile OP arasındaki farkın maliyetler üzerindeki etkisini görebilmek için, transport planlaması mantığıyla hazırlanan plana göre maliyetler hesaplanmıştır.

Bölmelerin her biri için uygulanacak transport metodunun seçiminde arazinin eğimi, yol yoğunluğu ve kullanılabilir transport araçlarının durumu, taşınacak ürün miktarı ve transport maliyeti dikkate alınmıştır. Kantitatif bir karar verme tekniği kullanılmaksızın elde edilen bulgular aşağıda özetlenmiştir:

Transport planlamasında, operasyonel planlamada sunulan üretim sistemleri seçenekleri arasından teknik ve topoğrafik faktörlere uygun olanları seçilmiş ve üretimin bu sistemlerle gerçekleştirileceği kabul edilmiştir. Buna göre, operasyonlar sırasındaki ürün kayıp miktarının maliyetleri de yansıtılarak toplam ortalama birim maliyetlerin 16,84 \$/m³ olarak gerçekleştirilebileceği hesaplanmıştır (Tablo 80).

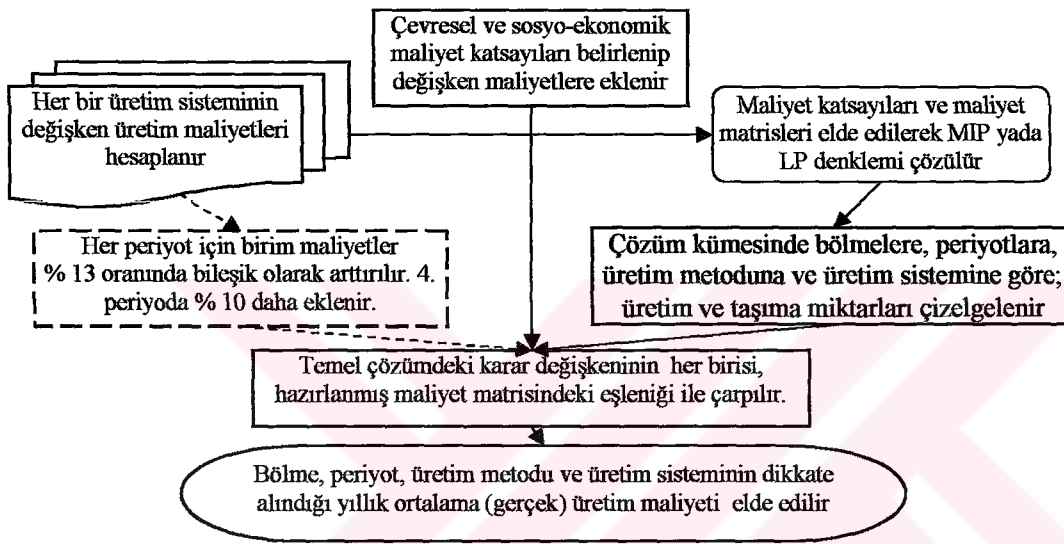
Tablo 80. Transport planlamasına göre üretim maliyetlerinin beklenen sonuçları

Bölme No	Arazi Eğimi (%)	Eta (m3)	Yol Yoğunluğu (m/ha)	Üretim Sistemi No	Üretim Birim Maliyeti (\$/m ³)	Taşıma Birim Maliyeti (\$/m ³)	Kayıp Miktar (m ³)	Toplam Bölme Maliyeti (\$)	Toplam Üretim Süresi (Saat)
47	33	4306	29	7	12,89	16754,28	129,18	55483,11	6157,58
67	48	8625	40	8	12,30	31465,90	172,5	106118,15	7590
203	36	5026	42	8	9,61	16914,57	100,52	48298,32	4473,14
113	63	751	35	1	18,54	2091,27	97,5	13905,44	5422,5
114	38	557	50	3	12,28	1742,52	11,14	6842,06	1141,85
115	44	270	57	4	9,79	794,33	10,76	2644,33	610,63
116	35	818	42	4	10,72	2446,65	32,72	8768,61	2184,06
132	42	575	52	4	11,33	1497,02	23	6513,74	2035,5
135	45	656	31	3	9,15	1794,34	13,12	6004,37	1174,24
152	48	693	29	3	12,82	2185,33	13,86	8884,31	1968,12
153	30	670	27	2	13,16	1942,46	33,5	8816,16	3309,8
154	33	585	26	2	10,58	1494,63	29,25	6190,73	2556,45
Toplam		23532				16754,28	667,05	278469,36	38623,87
Toplam Ortalama Birim Maliyet (Kayıp maliyet Dahil)						16,84 \$/m ³			

Bu planlama yaklaşımına göre, kesim zamanlarının kararlaştırılmasında silvikültürel işlemlere göre bakım bölmelerinin 1. ve 2. periyotta; gençleştirme bölmelerinin 3. ve 4. periyotta üretileceği esas alınmakta ve maliyetler, periyodik farklara göre hesaplanmaktadır. Ayrıca; zamansal ve teknik herhangi bir kısıtlayıcı kullanılmamaktadır. Alternatif üretim sistemleri arasından, uygun olanını seçmek için farklı kombinasyonların sonuçları değerlendirilememektedir. Yalnızca silvikültürel işlem, yol yoğunluğu, arazi eğimi ve birim maliyetler dikkate alınmaktadır. Oysa, alternatif olarak sunulan 10 üretim sistemi arasından her bir bölmeye en az 6 üretim sisteminin uygun olduğu bilindiği halde ekonomik karşılaştırılmasının güç ve zaman alıcı olmasında dolayı, mevcut duruma göre sezgisel olarak bir karara varılmaktadır. Operasyonel planlamanın yada kantitatif karar verme tekniklerinin kullanıldığı bir planlama yaklaşımının gerekliliği de bu noktada ortaya çıkmaktadır. Transport planlama adımları ile bölmeler için teknik olarak uygun üretim sistemi atanabilmektedir. Ancak, yıl içinde hasat edilmek zorunda olan diğer bölmeler de düşünüldüğünde ve zamansal bir planın gerekliliği ortaya çıktığında, teknik olarak uygun olan sistemin, işletme düzeyinde hala uygun olup olmadığı ise bilinmemektedir. Bunun açıklanabilmesi için de ayrıca hesaplamalara gereksinim duyulmaktadır. Planlama sırasındaki bu karar probleminin çözümü ise doğrusal programlama gibi YA tekniklerinin, bu tür karar problemlerini çözmedeki üstünlükleri ile açıklanabileceği ortaya konulmuştur.

3.4.3.3. Operasyonel Planlama Modeline (Model - 2) Ait Bulgular

Operasyonel planlama modelinin kıyas edilebilir maliyetini bulmak için, MIP modelinin (Model-2), çevresel ve kurumsal maliyetlere göre düzenlenmiş denkleminin çözüm raporundan yararlanılmıştır. Temel çözüm kümesine giren karar değişkenleri, saf maliyetlere göre hazırlanmış hesaplama düzeneğinde yerine konulmuştur ve gerçek maliyetler; periyoda, üretim yöntemine ve üretim sistemine göre hesaplanmıştır (Şekil 21).



Şekil 21. Operasyonel karar modelinde nitel maliyetlerin nicel maliyetlere dönüştürülmesinde izlenen iş akışı

Bu çözüm stratejisinde, Model-2' nin temel çözüm kümesine giren karar değişkenlerine göre bir üretim çizelgesi hazırlanmıştır (Tablo 81). Üretim çizelgesi; periyot, üretim yöntemi ve üretim sistemine göre her bölmenin karakterini temsil etmektedir. Daha önceden oluşturulan nicel maliyet matrislerinden ilgili hücrelerin değerleri alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Böylelikle, Model-2' nin, % 13' lük periyot zammı ve % 10' luk kış zammı eklenmiş durumdaki gerçek maliyetleri bulunabilmiştir.

Buna göre, öncelikle çevresel/kurumsal ve periyot etki maliyetleri kullanılarak her bir bölme için periyot, üretim yöntemi ve üretim sistemi seçimi yapılmıştır. Sonra, buradan elde edilen temel çözüm kümesinin yorumlanmasıyla ve nicel maliyetler uygulanarak; operasyonel karar modelinin MIP formülasyonuna göre kurgulanması ve üretim operasyonlarının bu modele göre gerçekleştirilmesi durumunda toplam ortalama üretim maliyetinin 12,69 \$/m³ olduğu bulunmuştur.

Tablo 81. Nicel maliyetlere göre MIP çözümüyle hazırlanmış üretim çizelgesi

Bölme No	Arazi Eğimi (%)	Eta (m3)	Üretim Zamanı (Periyot)	Üretim Metodu (UB/NB)	Üretim Sistemi No	Yol Güzergahı No
47	33	4306	3	UB	8	3
67	48	8625	3	UB	4	3
203	36	5026	4	UB	4	1 ve 2
113	63	751	2	UB	4	6
114	38	557	1	UB	7	1
115	44	270	2	UB	7	1
116	35	818	2	UB	1	1
132	42	575	1	UB	3	1
135	45	656	1	UB	3	1
152	48	693	2	UB	3	1
153	30	670	3	UB	3	1
154	33	585	2	UB	3	1

Aşağıdaki Tablo 82’de; üretim sistemleri sütunu, MIP modelinin temel çözüm kümesinde yer alan üretim sistemi karar değişkenleridir. Birim maliyet sütunu ise, maliyet katsayılarının oluşturulması sırasında saf maliyet olarak bölme, periyot, üretim metodu ve üretim sistemine göre hesaplanmıştır. Toplam bölme maliyeti sütunu, üretim ve taşıma maliyetlerini içermekte olup sonradan ürün kayıp maliyetleri de buna eklenerek ortalama birim maliyet bulunmuştur.

Tablo 82. MIP formülasyonunda saf maliyetlerin katsayı olarak kullanılması sonucu elde edilen bulgular (Model-2’ nin sonuç raporuna göre)

Bölme No	Arazi Eğimi (%)	Eta (m3)	Üretim Sistemi No	Birim Maliyet (\$/m ³)	Kayıp Miktar (m ³)	Toplam Bölme Maliyeti (\$)
47	33	4306	8	6,18	86,12	31099,37
67	48	8625	4	8,66	345	86484,89
203	36	5026	4	9,21	201,04	59097,73
113	63	751	4	14,70	30	12121,19
114	38	557	7	6,76	16,71	3936,058
115	44	270	7	6,82	8,1	2034,289
116	35	818	1	8,98	106,34	7700,386
132	42	575	3	7,36	11,5	4446,161
135	45	656	3	7,35	13,12	5063,097
152	48	693	3	10,61	13,86	8163,317
153	30	670	3	12,40	13,4	9714,68
154	33	585	3	9,89	11,7	6427,287
Toplam		23532			856,89	236288,5
Toplam Ortalama Birim Maliyet (Kayıp maliyet dahil)				12,69 \$/m³		

Gerekli olacak işgücü kullanım miktarları ise modelin çözüm raporuna göre aşağıdaki gibi bulunmuştur (Tablo 83).

Tablo 83. MIP modelinde kullanılacak işgücü miktarları (saat)

<i>IG</i>	<i>MOTEST</i>	<i>ORTRAK</i>	<i>HHAT</i>	<i>OLUK</i>	<i>TRMTRK</i>
29 641,80	26 245,60	416,37	331,56	819,65	14 509,52

Buna göre, MIP tabanlı operasyonel planlama yaklaşımı ile orman traktörü, hava hattı, oluk sistemi ve tarım traktörünün bu yöredeki odun üretiminde kullanılabilceği ve ne kadar kullanacakları bulunmuştur.

4. İRDELEME

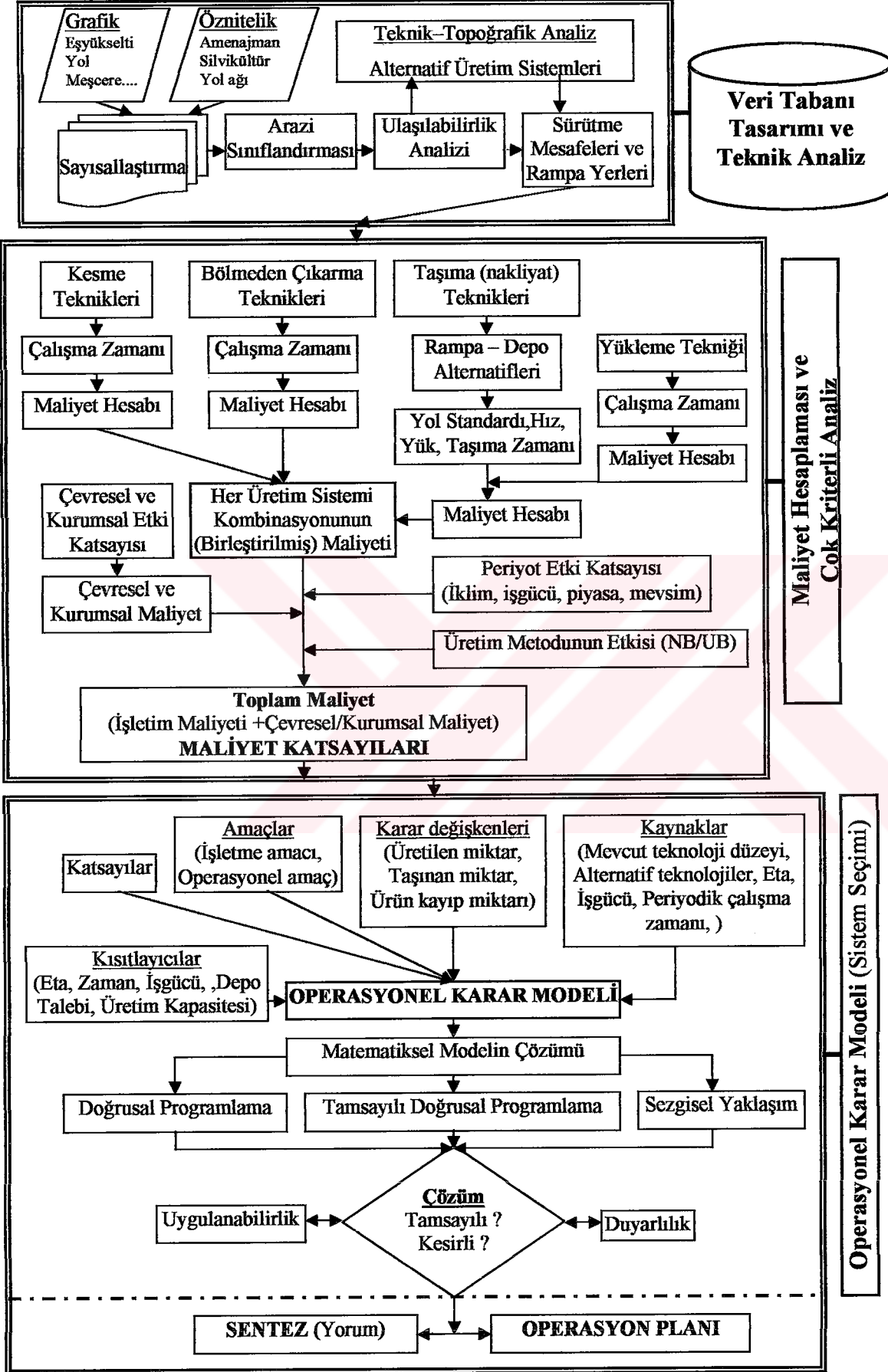
4.1. Operasyonel Planlama Yönteminin İrdelenmesi

Ormancılıkta odun hammaddesi üretiminde, yıllık düzeyde operasyonel planların hazırlanması için izlenecek yöntem ve buna bağlı iş akışının Şekil 22' deki olması uygun bulunmuştur. Çünkü, OP; odun üretim planlamasının genel kapsamı bakımından irdelendiğinde; kavramsal çerçeve, operasyon düzenleme ve plan hazırlama olmak üzere 3 bileşenden oluşan odun üretim planlaması (Heinimann ve Stampfer, 2003) ile uyumludur.

OP, operasyonların düzenlenmesi ve planların hazırlanması aşaması yönüyle, transport planlama yöntemi (Acar, 1994; Bayoğlu, 1996; Dykstra ve Heinrich, 1996, LIRA, 1987; Sundberg ve Silversides, 1988; Staaf, 1984) ile benzer özelliklere sahiptir.

Bununla birlikte OP, planlama özelliklerine göre irdelendiğinde;

- Planlama kapsamı bakımından, orman işletme şefliği bazındadır. Ancak, bir orman işletmesinde birden fazla “planlama birimi” olması durumunda, her birisi için ayrı ayrı OP düzenlenebilir ve sonra aynı modelleme yöntemiyle hepsi birleştirilebilir.
- Yıllık düzeyde ele alınmasına rağmen sezonluk ve aylık operasyonlar düzeyine indirgenebilir. Böylece her yıl, her sezon ve her ay tekrarlanabilir.
- Kapsadıkları zaman açısından, hiyerarşik planlama yaklaşımına (Weintraub, 1995; Lockwood, 1997; Gunn, 1991; Başkent, 1999) göre kısa vadeli planlardır.
- Planlamadaki katılım ve ilgi grubu açısından, DOI' nin en alt düzeyinde olan işletme şefliklerini ilgilendirir. Operasyonel envanter aşamasında, sosyo-ekonomik bileşenler yönüyle halkın katılımı sağlanabilir.
- Teknik yapısına göre, değişken plandır. Planlama yörüngesi içinde, herhangi bir periyotta maliyetlerdeki değişim; planlama için hazırlanan operasyonel karar modelinde yerine konulduğunda, yeni çıktılar elde edilebilir.
- Planlamada kullanılan araçlar bakımından, bilgisayar destekli bir planlamadır. Konumsal ve öznitelik bilgilerin depolanıp işlendiği Coğrafi Bilgi Sistemlerini ve kantitatif kararların alınmasında destek sağlayıcı olan Yöneylem Araştırması Tekniklerini kullanır.



Şekil 22. Operasyonel planlama modelinin kavramsal çerçevesi

Operasyonel planlama yönteminde;

- Veri tabanı tasarımı ve teknik analiz,
- Maliyet analizi ve çok kriterli analiz,
- Operasyonel kararların modellenmesi süreci,
- Sentez ve
- Plan' dan oluşan iş akışı izlenmiştir.

İçeriği tez metni için de detaylandırılmış olan bu operasyonel planlama metodolojisinde, veri tabanı tasarımı ve teknik analiz sürecinde amenajman, silvikültür ve orman yol ağı planlarından alınan grafik (harita) ve öznitelik bilgiler CBS ortamına aktarılmış, işlenmiş ve sorgulamalar için kullanılmak üzere depolanmıştır. Böylelikle, hem konumsal hem de konuma bağlı bilgilerin kolayca erişilebileceği ve analiz edilebileceği bir veri tabanı geliştirilebilmiştir.

Kütük dibinden depoya kadar olan süreç, odun üretim süreci olarak nitelendirilmiş ve odun üretiminde hem fiziksel özellikler hem de teknoloji düzeyi yönünden uygun olacak teknikler bir araya getirilerek alternatif üretim sistemleri tasarlanmıştır. Operasyonlar için üretim sistemlerinin seçiminde, maliyetler yanında çevresel ve sosyo-ekonomik değişkenler de dikkate alınarak bir OP modelinin çerçevesi oluşturulabilmiştir.

4.2. Sistem Analizine Ait Bulguların İrdelenmesi

Operasyonel planlama probleminin ortaya çıkarılmasında sistem yaklaşımı kullanılmıştır. Odun hammaddesi üretim sistemi idari ve teknik boyutu ile bütünlük/holistik şekilde ele alınarak amaçlara en uygun üretim dizininin belirlenmesinde etkin olan operasyonel kararların modellenmesi sağlanabilmiştir.

4.2.1. Yönetmel Süreç Analizine Ait Bulguların İrdelenmesi

Yönetmel süreçten elde edilen bulgulara göre; orman işletmeleri bazında yıllık ne kadar odun hammaddesi üretileceği üretim programları ile garanti altına alınmaktadır. Üretim programlarında, teorik olarak aylık üretim miktarları tahsisatı yapılmaktadır. Ancak, uygulamada her ay eşit ürün alındığına rastlamak zordur. İklim, silvikültürel prensipler, işgücü ve piyasa istekleri gibi nedenler bunu engelleyebilmektedir.

Operasyonların nasıl yürütüleceği, hangi üretim sistemlerinin tercih edileceği, ne kadar işgücü gerektiği, hangi bölmede hangi yöntemin kullanılması gerektiği gibi sorulara cevap verebilecek teknik bir plana (iş planı, transport planı gibi) rastlanamamaktadır.

Üretim yada iş programları, bir plan niteliği taşımamaktadır. Öncer (1991) ve Acar (N., 2001) programlamanın, planlamanın bir parçası olduğunu ancak bir plan niteliği taşımadığını belirtmişlerdir. Nitekim, aylara göre alınabilir etanın dağıtımına dayanan üretim programlarıyla maliyet hesapları yapılabilir dahi yalnızca var olan üretim sistemleri olan insan gücü ve hayvan gücü dikkate alınmaktadır. Alternatifler sunulmamakta, işletme amaçları doğrultusunda odun üretiminin rasyonel bir şekilde başkaca nasıl yapılacağı analiz edilememektedir.

Bu bağlamda, uygulamada operasyonel planlama modeli yönetsel sürecin var olan işleyişinde; hem bütçe hazırlık çalışmaları sırasında bir simülasyon aracı olarak hem de bütçenin kesinleşmesi sonucunda bir optimizasyon (bütçe kısıdı ile) aracı olarak kullanılabilir. Böylece, işletmeyi etkileyen faktörlere göre bir üretim programı üretilebilir.

OP, yönetsel sürece uyum sağlayabilecek karakterdedir. Özellikle ilk veri tabanı tesisinden sonra, her yıl gerekli olacak veriyi toplama süreci, bütçe hazırlık aşamasıyla birlikte yürütülebilir. Tüm işletmelerin aynı prensiple hazırladığı ve optimize olmuş OP yaklaşımı ile hazırlanan bu taslaklardan tüm işletmelerin ve bölge müdürlüklerinin odun üretim operasyonlarına ait maliyetlerinde iyileştirme sağlanabilir.

4.2.2. Teknik Üretim Sürecine Ait Bulguların İrdelenmesi

Odun hammaddesi üretiminde iş akış şeması Şekil 22' de gösterilmiştir. Uygulamada her bir iş evresinin gerçekleştirilmesi sırasında operatör ve işçilerin inisiyatiflerine, kullanılan teknolojiye ve iş çevresine bağlı olarak iş akış diziliminde gecikmeler ve kısmen yer değiştirmeler görülebilmektedir. Uygulama yönüyle, bu sistem yarı yapılanmış yada kötü yapılanmış bir sistemi ifade etmektedir.

Operasyonel planlama modelinde üretim sürecinde, iş akışına ilişkin herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. OP metodolojisi bu çalışmada, varolan odun üretim sistemi üzerinde uygulanmıştır. Sistemin zayıf noktaları belirlenerek, sistemin çalışmasından elde edilecek toplam faydanın optimizasyonu amacıyla yeniden tasarım gerçekleştirilebilir. OP, gerek mevcut odun üretim sistemi yapısında gerekse yeniden tasarlanabilecek sistemde, başarılı bir planlama aracı olarak kullanılabilir.

4.2.3. Teknoloji Düzeyine Ait Bulguların İrdelenmesi

OP alanında mevcut odun üretim sisteminde kesme operasyonlarında, kabuk soyma tekniği olarak yörede elde edilebilirliği ve kullanılabilirliği mümkün olan motorlu testereye monteli kabuk soyma ekipmanlarının kullanılması; balta ile kabuk soyma teknolojisi yerine ara teknoloji sayılabilecek lokal bir gelişme olarak değerlendirilebilir. Öte yandan, bölmeden çıkarma operasyonları için % 70' in üzerinde insan gücünden yararlanılması ve % 30' un daha altında da hayvan gücünden yararlanılıyor olması; halihazırda bölmeden çıkarmada da temel (basit) teknolojinin kullanıldığını işaret etmektedir.

Operasyonel planlama modeli (planlama alanında) ara ve ileri teknolojinin uygulanabilirliğini işaret etmekte olup ekonomik, teknik, çevresel ve sosyo-ekonomik açıdan teknoloji değişimini desteklemektedir. Ayrıca, aynı bölgede farklı sistem alternatiflerinin seçiminde duyarlı bir model yapısı içermektedir.

4.3. Topoğrafik ve Teknik Analize Ait Bulguların İrdelenmesi

Odun hammaddesi üretimin yapılacağı arazinin eğimi, pürüzlülüğü, yamaç uzunluğu ve formu gibi karakteristik yapısı, uygulanacak üretim yöntemlerini, kullanılacak üretim araçlarını ve sonuçta üretim teknolojilerinin seçimini etkilemektedir. Arazi özellikleri değiştirilemeyeceğine göre, kullanılacak teknolojinin araziye uydurulması gereklidir.

Öte yandan planlama alanı arazisinin % 68' inin dik arazi sınıfında (% 34-50) yer alması, kullanılacak üretim sistemlerini sınırlandırmaktadır. Arazi sınıflandırmasında, bölmeyi (üretim ünitesi) temsil eden ağırlıklı ortalama eğim alındığından, üretime konu alandaki lokal eğimler göz ardı edilmiştir. Ancak, planlamaya konu arazi, bölmeden çıkarma tekniklerine göre fonksiyonel olarak (Samset, 1979a) sınıflandırılabilmiştir.

4.4. Mevcut Orman Yol Ağı Altyapısına Ait Bulguların İrdelenmesi

Orman yolları, bölmelerin işletmeye açılması ve odun üretimi amacıyla üretim alanlarına ulaşılabilirliğin analizinde göz önünde bulundurulmuştur. OP açısından yolların, bölme ile depo arası ve/veya bölmeler arası ve içi bağlantıyı sağlaması yönüyle uzunluklarına ve standartlarına (toprak, stabilize, asfalt) göre analiz edilmesi gereklidir.

İşletmenin tüm alanında orman yol yoğunluğunun 27 m/ha olması ve planlama yılında işletmeye açılacak tüm alanda ortalama 37,9 m/ha olmasına göre, operasyonel planlamaya konu alanda, orman yolları ile işletmeye açma oranı; ideal işletmeye açma oranı olarak bilinen 20 m/ ha oranından oldukça yüksektir. Bu yüzden yeni orman yollarının yapılmasına gereksinim duyulmamıştır. Planlama alanında bölmeleri depolara bağlayan ve bölmeler arası ulaşımı sağlayan yol yoğunluğu yeterlidir.

Planlama alanında orman yolları; yol standartları, kurp yarıçapı ve yol eğimi yönünden kamyonlarla nakliyata uygundur. Nitekim, arazi gözlemlerinde de halihazırda orman yolları üzerinde her türlü tomruğun taşınabildiği belirlenmiştir. Bu, uzun boy tomruk metodunun alternatif olarak bu planlama alanı için önerilmesini desteklemektedir. Öte yandan, orman yolları üzerinde her mevsim trafik akışı sağlanmaktadır.

Bölmeden çıkarma operasyonları sırasında özellikle traktörlerle işletmeye açmada ve tarım ve/veya orman traktörü, harvester yada forwarder' in orman toprağını tahrip etmemesi açısından yalnızca gençleştirme bölmeleri için (1, 2 ve 3) traktör yollarının planlanması, bölmeden çıkarma maliyetlerinin azaltılması açısından uygundur.

4.5. Alternatif Odun Üretim Sistemlerine Ait Bulguların İrdelenmesi

Sistem; topoğrafik-teknik, ekonomik ve ekolojik açıdan uygun olmalı, arazide emniyetli biçimde, planlanan verimde çalışabilmeli, iş güvenliği ve işçi sağlığını tehlikeye sokmamalıdır. Bu açıdan, odun üretim sistemlerinin seçiminde öncelikle arazi eğim değerlerine göre öncül bir seçim yapılır, ekonomik ve çevresel kabul edilebilirlik daha sonradan analiz edilir.

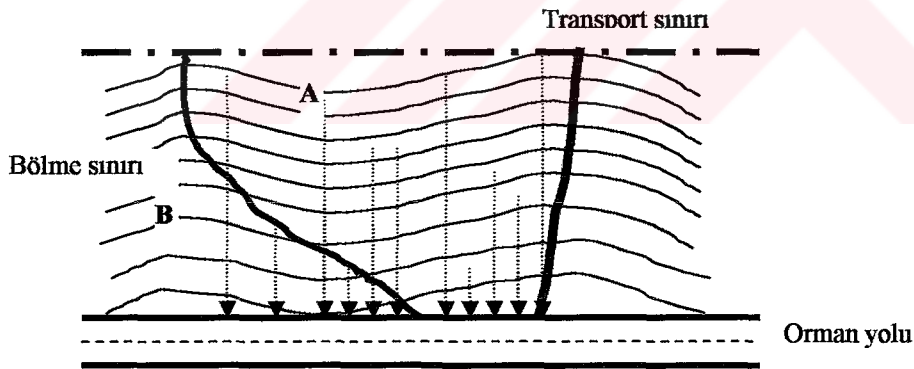
Üretim sistemlerinin seçiminin teknik boyutunda ise; Silvikültürel işlem üretim sistemin seçiminde etkili (Erdaş, 1988) olmuş gençleştirme bölmelerinde insan gücü, hayvan gücü, tarım traktörü, orman traktörü, hava hattı ve harvester ile forwarder; bakım bölmelerinde ise hava hattı haricindeki diğer sistemlerle birlikte oluk sistemi de eklenerek kullanılmaya uygun görülmüştür. Bakım bölmelerinde gerek etanın azlığı, gerekse üretimin meşcerenin değişik yerlerinde yürütülmesi hava hattı sisteminin fonksiyonu olan 8 ve 9 no'lu üretim sistemi kombinasyonları açısından uygun değildir.

4.6. Sürütme Mesafeleri ve Rampa Yerlerine Ait Bulguların İrdelenmesi

Operasyonel planlama hedeflerinden birisi; odun üretim maliyetlerinin azaltılması yönündeki iyileştirmelerin, üretim operasyonunun her aşamasına iletilebilmesidir. Bölmeden çıkarma aşaması, odun üretiminin en pahalı aşaması olmasından dolayı sürütme mesafesi ve rampa yerlerinin önceden belirlenmesinin operasyonel planlamada önemli olduğu tespit edilmiştir.

OP yaklaşımında sürütme mesafesinin hesaplanması, rampa yerlerinin belirlenmesi ile birlikte ele alınmaktadır. OP' nin sürütme mesafelerinin belirlenmesine yönelik geliştirdiği yenilik, gerçek ortalama sürütme mesafelerinin (SMg) bulunabilmesi üzerinedir.

Bölme içindeki sonsuz sayıdaki noktadan, en yakın yola olan mesafe; çoğu zaman tomrukların hareket ettirilerek bölmeden çıkarmanın yapılabilmesini sağlayan bir güzergah olamayabilir. Şekil 23'de A bölmesi, işletmeye açılan bir bölme iken B bölmesinin işletmeye açılmaması, bu ihtimallerden yalnız birini göstermektedir. Buna karşın, sınırları belirli bir bölmenin içindeki tüm noktalar, sınırın kapladığı alanı oluşturur.



Şekil 23. Sürütme mesafesinin belirlenmesinde farklı bir yaklaşım

Bu durumda tüm noktaların kesişme noktasını bulabilmek için bölme sınırının tüm noktalarından çıkarılan ışınsal doğruların birleştiği nokta aranır. Bu nokta, bölme alanının ağırlıklı orta noktasıdır. Orta noktanın bulunması ile teorik ortalama sürütme mesafesi bulunabilir. Nitekim, Arcview yazılımına ait arayüzler ile (ESRI, 2003) poligonların orta noktaları (centroid) bulunabilmiştir.

Ancak, bölme ağırlıklı orta noktasının en yakın yola (yolun parçasına/segment) olan en kısa mesafesi öklit uzaklığı olarak bulunmalıdır. Bu konuda da yine bir arayüz

(ESRI, 2003) kullanılarak bölme orta noktasının koordinatları ile (X;Y) yol üzerinde, bölme orta noktasına en yakın olan noktanın koordinatları bulunmuştur. Aradaki bağlantı noktası en kısa dik mesafe olup teorik ortalama sürütme mesafesidir.

Buna rağmen, bu işlemler X ve Y düzleminde gerçekleştirilmektedir. Gerçekte ise alan eğimlidir ve yükseklik yani Z boyutu da vardır. Üçüncü boyutun da katılımı, trigonometrik hesaplamalarla sağlanabilmektedir. Arazi eğimi bilindiğinden ve yatay uzaklık belirlenmiş olduğundan; eğik uzaklık olan hipotenüs, teorik ortalama sürütme mesafesini gerçeğe yakın biçimde temsil edilmesini sağlamıştır. Ancak, uygulamada doğrusal bir hat boyunca sürütme yapılamaz. Bu nedenle gerek arazinin kıvrımlılığından gerekse yolun kıvrımlılığından kaynaklan sapmalar için düzeltme faktörü kullanılmalıdır. Erdaş (1997) ve LIRA (1987) tarafından belirtilen düzeltme katsayıları kullanılarak SMg elde edilebilmiştir. Sürütme mesafelerinin bu yöntemle bulunması, öncelikle bölmeden çıkarma maliyetlerinin hesaplanmasında olumlu yada olumsuz yargıların azaltılmasına ve gerçek sürütme maliyetlerinin takdirine karar desteği sağlayabilmektedir.

Ayrıca, bölme orta noktaları ile yolların kesiştiği en kısa mesafe rampa yerleri olarak atanabilir. Ancak, bölmeden çıkarma sırasında izlenen rotalar birden çok rampa oluşmasına neden olacağı da bilinmektedir. Burada, her bir bölmeyi temsil edebilecek sürütme mesafeleri ve bu bölmelerle depo arasındaki gerçek ortalama taşıma mesafesini belirleyebilecek rampa yerlerinin atanması esas alınmıştır. Nitekim, hava hattı sistemlerinin kullanılmasında rampa yerleri azami derecede önemli olurken, insan gücüyle kontrolsüz olarak yapılan kaydırmada; yola en kısa mesafeden ulaşma telaşı, düzenli rampa yerlerinin oluşmasına engel olabilir. Bu ihtimaller göz önüne alınarak, OP yöntemiyle (Şekil 18) belirlenmiş ve atanmış rampa yerleri uygulamada da avantajlar sağlayabilir.

Odun üretim operasyonlarında toplam maliyetlerin ortalama en az % 20'sinden fazlasını bölmeden çıkarma maliyetleri oluşturmaktadır. Sürütme mesafesi ise bölmeden çıkarma maliyetlerinin fonksiyonudur. Bu yüzden, maliyetlerin azaltılmasına ilişkin iyileştirmelerde, sürütme mesafesinin kısaltılması temel çözüm yollarından biri olabilir.

Bu yaklaşımla, her bir bölmeden çıkarma yöntemi için her bölmede SMg' ler hesaplanmıştır. İnsan gücüyle bölmeden çıkarmada doğrusal hatlar yerine, rectilinear (Sessions ve Guangda, 1987) hatlar kullanılır. Yani önce, tomruklar belirli bir açı ile kuru dere yatağına (balık kılçığı şeklinde) taşınır. Buradan da adeta ahşap oluklar düzenlenerek kaydırma yapılır.

Planlama alanında sürütme mesafeleri, muhtemel üretim sistemlerinin her biri için değişkenlik göstermektedir. Traktörle sürütme mesafelerinin diğerlerinden yüksek gözükmesinde; traktörle kablo çekim, traktörle yolda sürütme ve elle kaydırma mesafelerinin toplanması etkili olmuştur. Normalde, traktörlerle kablo çekim mesafesi olarak ortalama 60-70 m kararlaştırılmıştır. Bunun, uygun bir mesafe (Acar, 1994) olduğu düşünülmüştür. Hayvan gücüyle bölmeden çıkarma mesafesinin yüksek olmasında; arazi eğiminden dolayı emniyetli bir sürütme şeridinin bulunamayacak olması etkili olmuştur. Oluk ve hava hattı sistemlerinin bölmeden çıkarma mesafelerinin birbirine yakın olmasında, doğrusal bir hat boyunca, tomruk taşınmasının yapılacak olması etkili bulunmuştur.

Öte yandan yol yoğunlukları açısından yapılan irdelenmede; en yüksek yol yoğunluğunun 6 nolu bölmede olmasına karşılık bu bölmede sürütme mesafesi tüm sistemler arasında en düşük bulunmuştur. Buna karşılık, 11 ve 12 nolu bölmelerin de yol yoğunluklarının diğerlerinden düşük olmasından dolayı sürütme mesafeleri yüksek çıkmıştır.

4.7. Maliyet Hesaplamalarına Ait Bulguların İrdelenmesi

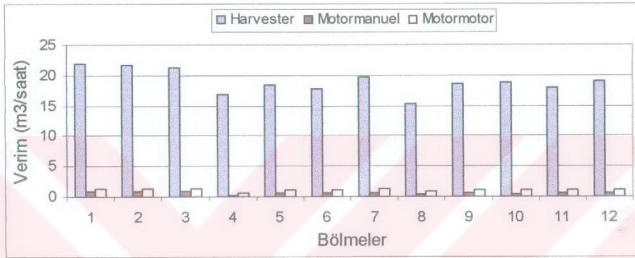
Odun üretimde operasyonel kararların alınmasında, alternatif üretim sistemleri ve plan seçenekleri arasında kıyaslamaların yapılabileceği bir unsur olmalıdır. Maliyetler, iyi bir karşılaştırma aracıdır ve bu nedenle üretim sistemlerine ait maliyetler, operasyonel karar modelinin oluşturulmasında amaç fonksiyonundaki karar değişkenlerinin katsayılarının belirlenebilmesi amacıyla kullanılmıştır.

4.7.1. Kesme Maliyetlerinin Hesaplanmasına Ait Bulguların İrdelenmesi

Kesme, budama ve tomruklama ve kabukların soyulması işlerinden oluşan “kesme” operasyonlarında 3 farklı teknik için maliyetler hesaplanmıştır. Bunlardan, motormotor kodu ile tanıtılan kesme tekniğinde, motorlu testerenin kabukların soyulmasında da kullanımı, toplam kullanım süresini arttırmıştır. Dolayısıyla motormanuel sisteme nazaran motormotor sistemde verim artmaktadır. Ancak bu nispete de maliyetler düşmektedir.

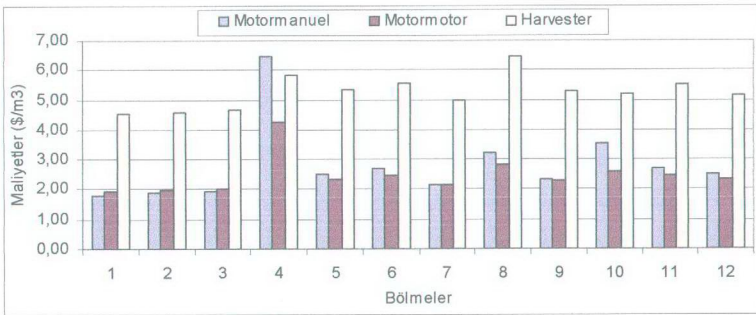
Gençleştirme bölmelerinde motormotor kesme tekniği, motormanuel kesme tekniğine göre daha maliyetlidir. Nedeni ise, 1 m³ odun elde etmek için kalın çap

sınıfından daha çok sayıda tomruk üzerinde işlem yapılmasıdır. Bakım bölmelerinde ise, parça sayısının fazla olmasına rağmen kabuk soyma yüzeylerinin az olması, bu bölmelerde motorlu kesme tekniğinin motormanuel kesme tekniğine göre daha düşük maliyette gerçekleştirilebileceğini göstermektedir. Buna karşın, yapılan hesaplamalar sonucunda motorlu kesme tekniğinde verimin, hem tıraşlama hem de bakım bölmelerinde motormanuel kesme tekniğinden daha yüksek olduğu anlaşılmıştır (Şekil 24).



Şekil 24. Motormanuel, motormotor ve harvester kesme tekniklerinin maliyetleri

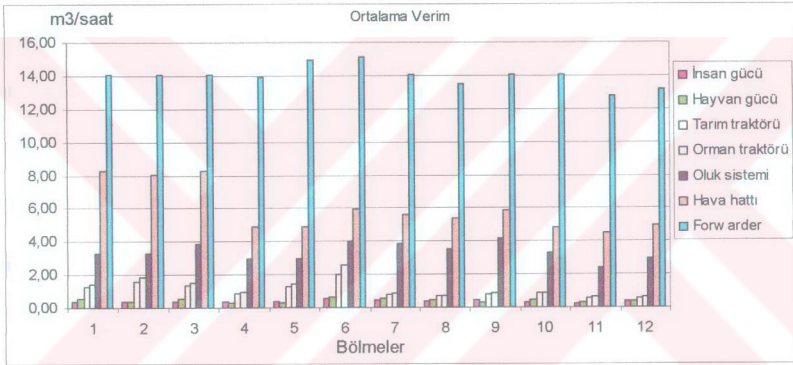
Operasyonel planlamada kullanılması düşünülen alternatif kesme teknikleri, verim yönünden karşılaştırıldığında, harvester diğer iki tekniğe göre daha yüksek verime sahiptir. Ancak maliyetler kıyaslandığında ise harvester maliyetlerinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Şekil 25).



Şekil 25. Motormotor, Motormanuel ve Harvester ve kesme tekniklerinin verimleri

4.7.2. Bölmeden Çıkarma Maliyetlerine Ait Bulguların İrdelenmesi

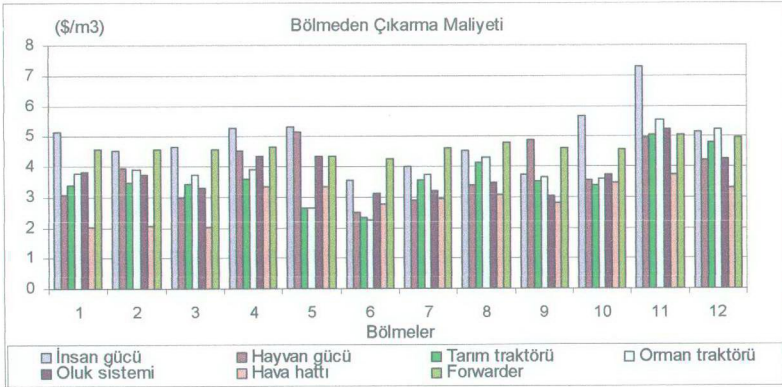
Operasyonel planlama alanındaki, insan gücüyle bölmeden çıkarmanın en düşük verime sahip olduğu anlaşılmıştır. Bu, literatürle benzerlik gösterir (Dingil,1979; Bayoğlu vd., 1993; Acar, 1994). Forwarder' in veriminin yüksek bulunması, planlama alanı için bir alternatif olarak sunulmasını destekler yöndedir. Bununla birlikte bu yöre koşullarına uygun olacağı savunulan oluk sisteminin de bakım bölmelerinde oldukça yüksek verime sahip olacağı belirginleşmiştir. Tarım ve orman traktörü, oluk, hava hattı ve forwarder gibi alternatif sistemlerin verim yönünden tercih edilebilirliği daha yüksek orandadır (Şekil 26).



Şekil 26. Bölmeden çıkarma yöntemlerine göre ortalama verimler

Planlama alanında birim miktardaki odun hammaddesi başına yapılan hesaplamada insan gücüyle bölmeden çıkarma maliyetinin, diğer sistemlerden daha yüksek olduğu görülebilir (Şekil 27). Buna koşut, forwarder' in yatırım maliyetinin çok yüksek olması, bu makinelerin de oldukça yüksek birim maliyete sahip olmasında etkindir.

Buna göre, operasyonel planlama modelinin oluşturulmasında; toplam üretim miktarı başına ortalama maliyetlerin azaltılmasına yönelik bir amaç, isabetli olacaktır. Nitekim, amaç fonksiyonu da toplam ortalama maliyetlerin en küçüklenmesi şeklinde düzenlemiştir. Böylece, birim miktardaki ürünün en düşük maliyetle üretilecek olması, işgücünün mevcut kullanılanından daha az; buna karşın makine gücünün mevcut kullanılanından daha fazla kullanılmasını gerektirecektir.



Şekil 27. Bölmeden çıkarma yöntemlerine göre her bölmedeki parça başına maliyetler

4.7.3. Taşıma Maliyetlerinin Hesaplanmasına Ait Bulguların İrdelenmesi

Taşıma maliyetlerinin değişiminde; her bir bölme için birkaç rampa yeri yerine bir yada 2 rampa yerinin ortalama olarak alınması ve bu rampalarda yüklemenin farklı tekniklerle yapılması önemli etkenler arasındadır. Alternatif olarak uzun boy tomrukların alınacak olması da maliyet ve verim açısından değişkenliğe neden olmaktadır. Yol standartları yönüyle ve kamyonların aks uzunlukları itibarıyla, yörede uzun boy tomruk taşınması mümkündür. Dolayısıyla, bu bir defada taşınacak parça sayısının fazla olmasından dolayı sefer sayısını düşürecek ve toplam maliyetleri azaltabilecektir.

Elle yükleme, toplam maliyetin ortalamasında (birim miktar başına), tüm bölmeler için makineyle yüklemekten daha yüksek bir maliyete sahiptir.

4.8. Çok Kriterli Analizlere Ait Bulguların İrdelenmesi

Odun hammaddesi üretiminde yalnızca maliyetleri azaltıcı odaklı ormancılık çalışmaları, artan çevresel ve sosyal baskıların etkisiyle; odun üretiminin çok kriterli analizlerle değerlendirilmesini gerektirmiştir. Uygulanacak odun üretim operasyonları ile bunlarda kullanılacak teknolojinin (teknik, tesis ve araçların) ekonomik, teknik, sosyal, çevresel (ekolojik) ve ergonomik olarak irdelenmesi gereklidir (Frykman, 1982; Engür, 1996; Rummer, 2002; FAO, 1982; Acar ve Eker, 2003).

Operasyonel planlama yaklaşımında ekonomiklik temel amacı çerçevesinde diğer kriterler açısından da uygun bölgeyi (kesişim kümesini) belirlemek amacıyla çok kriterli analizler (nitel değerlendirmeler) den yararlanılması uygundur. Analizlerin sonunda; tüm kriterler göz önüne alındığında herhangi bir odun üretim sisteminin seçilmesi durumunda kazanılacak puan yada katlanılacak cezayı belirleyen bir katsayı elde edebilmek mümkündür. Bu katsayıya ulaşmada AHP yöntemi oldukça yararlı ve kullanışlıdır.

4.9. Operasyonel Karar Modelinin İrdelenmesi

Modelleme sürecinde her bir strateji için stabil bir model üzerinde karar verilebilmesi ve her bir modelin matematiksel formülasyonu için çok sayıda ve birbirinden farklı alternatifler geliştirilmiştir. Örneğin temel, ara ve ileri üretim teknolojisi koşullarını yansıtan kısıtlayıcılarla her bir model için en az 20 LP çözümü gerçekleştirilmiştir. Her bir modele de özgünlük kazandırabilmek için katsayılarla ve karar değişkenlerine bağlı bazı yapısal değişikliklerin yapılmasıyla, sağ taraf değerlerinin değiştirilmesiyle yada yeni kaynak kısıtlayıcılarının eklenmesiyle çok sayıda arama yapılmıştır. Bunun sonucunda bir çok tecrübe edinilerek, operasyonel planlama için kullanılabilir olduğu savunulan denklemin elde edilmesinde, bazı alternatifler sabitleştirilmesi gerekli görülmüştür.

4.9.1. Nicel (Saf) Maliyet Katsayıları ile Oluşturulan Modellerin İrdelenmesi

“Strateji-I” olarak tanımlanan yalnızca nicel operasyon maliyetlerinin kullanıldığı doğrusal programlama modelleri ile karma tamsayı modeller; kendi aralarında ve birbirleriyle karşılaştırılarak irdelenmiştir.

4.9.1.1. Doğrusal Programlama Modelinin İrdelenmesi

LP modelinde nicel maliyet katsayıları; (1) Model – LP1’ de yer alan, her periyot için % 13 ve kış periyodu için de % 10 zamlanmış haldeki maliyetler ile (2) Model – LP2’de temsil edilen OP yılının başlangıcındaki maliyetler olmak üzere iki şekilde düzenlenmiştir. Burada, Model-LP1 ve Model-LP2’ nin karşılaştırılması sonucundaki en önemli fark; 1. modelde üretim maliyetlerinde % 13 oranında periyodik artışlar uygulanırken, 2. modelde paranın zaman değeri dikkate alınmamıştır. Böylelikle, maliyet

katsayılarında para biriminin dolar alınmasından dolayı, plan yörüngesi süresince Türk Lirası'nda meydana gelebilecek muhtemel dalgalanmaların üretim sisteminin belirlenmesi üzerindeki etkisinin, giderilmesi amaçlanmıştır. Her ne kadar bu çalışmada, odun üretimi için yıllık hedef maliyetleme yada işletmenin gelir ve gider durumunu yansıtacak üretim maliyetlerinin belirlenmesi amaçlanmamışsa da; odun üretim operasyonları için yararlanılabilir kaynakların, kısıtlı koşullar altında tahsislendirilmesi probleminde, karşılaştırma düzlemi olarak odun üretim maliyetlerinin yıllık ortalama bedeli baz alınmıştır.

Operasyonel planlama modelinde, yalnızca nicel maliyetlerin kullanılması ile oluşturulan Model-LP1 ve Model-LP2 arasında, ortalama birim maliyetler açısından % 28 fark bulunmuştur. Buna göre, doğrusal programlama formülasyonunda yalnızca nicel maliyetlere dayalı modelde, periyotlar arasında %13 maliyet farklılığının, odun hammaddesi üretim sistemlerinin seçiminde etkili olduğu belirlenmiştir.

Bununla birlikte, Model-LP1 ve Model-LP2 modelleri arasında temel çözüm kümesine giren üretim karar değişkenleri ile kullanılan işgücü kaynaklarının miktarına göre de karşılaştırma yapılmıştır (Tablo 84a ve b). Tablo 84a' da görüldüğü gibi, üretim karar değişkenleri her iki modele göre periyoda, üretim yöntemine ve üretim sistemlerine göre farklı değerler alabilmektedir. Diğer bir ifadeyle, bazı bölmeler 1. modelde birinci periyotta işletmeye açılabilirken (örneğin, 5 nolu bölme); 2. modelde aynı bölme, ikinci periyotta işletmeye açılmaktadır. Ayrıca, aynı bölmeler üzerinde periyot değişimleri yanında üretim yöntemleri ve üretim sistemleri de değişmektedir.

Maliyet katsayılarının farklı biçimlerde hesaplanarak modele sokulmasıyla, temel çözümde yer alan karar değişkenleri ve de değerleri değişebilmektedir. Bu, üretim sistemi seçimini etkilemektedir. Dolayısıyla, operasyonel karar modelinin, karar değişkeni katsayılarının değişimine duyarlı olduğu bulunmuştur. Her iki model de, operasyonel planlama modeli için kullanışlıdır. Yıl içindeki, üretim maliyetlerini tahmin edebilen ekonometrik modeller kullanılsa da kullanılsa da periyotlara ve üretim sistemlerine göre bölmelerin tahsisinin yapılabildiği ve amaç fonksiyonunun, üretim maliyetlerinin minimizasyonuna yönelik bir denklem ile olumlu sonuçlar verebildiği belirlenmiştir.

Tablo 84a. Model-LP1 ve Model-LP2 temel çözüm kümelerinin karşılaştırılması

PERİYOTLAR	MODEL – LP1		MODEL – LP2	
	Karar Değişkeni	Değeri	Karar Değişkeni	Değeri
I	<i>X4127</i>	0,50	<i>X4127</i>	0,50
	<i>X5114</i>	0,62	<i>X7121</i>	0,33
	<i>X10123</i>	0,59	<i>X9121</i>	0,77
	<i>X11113</i>	1,00	<i>X10123</i>	0,77
	<i>X12111</i>	0,95	<i>X11123</i>	1,00
II	<i>X4217</i>	0,24	<i>X4227</i>	0,12
	<i>X4227</i>	0,26	<i>X5227</i>	1,00
	<i>X5214</i>	0,38	<i>X6221</i>	1,00
	<i>X6221</i>	1,00	<i>X7221</i>	0,67
	<i>X7213</i>	0,30	<i>X8223</i>	1,00
	<i>X7221</i>	0,70	<i>X9221</i>	0,23
	<i>X8213</i>	1,00	<i>X10223</i>	0,23
	<i>X9221</i>	1,00	<i>X12223</i>	1,00
	<i>X10213</i>	0,41		
	<i>X12213</i>	0,05		
III	<i>X1312</i>	1,00	<i>X1322</i>	0,95
	<i>X2321</i>	0,08	<i>X2321</i>	0,09
	<i>X2328</i>	0,49	<i>X2328</i>	0,49
	<i>X3314</i>	0,77	<i>X3324</i>	0,82
	<i>X3317</i>	0,11	<i>X3327</i>	0,03
IV	<i>X2411</i>	0,07	<i>X1428</i>	0,05
	<i>X2428</i>	0,36	<i>X2421</i>	0,11
	<i>X3428</i>	0,12	<i>X2428</i>	0,31
			<i>X3428</i>	0,15

Tablo 84b. Model-LP1 ve Model-LP2 çözüm sonuçlarının karşılaştırılması

Karşılaştırma Kriterleri	Model-LP1	Model-LP2
Amaç Fonksiyonu Değeri	347285,5	270881,3
Ortalama Üretim Maliyeti (\$/m ³)	14,92	11,64
Toplam Üretim kaybı (m ³)	1069,65	1065,91
IG (saat)	35747,46	40411,62
MOTEST(saat)	13038,75	15868,47
HYVN(saat)	5341,65	7053,23
ORTRAK(saat)	1056,00	1056,00
HHAT(saat)	624,00	624,00
OLUK(saat)	684,18	720,00
TRMTRK(saat)	3957,44	5357,14

4.9.1.2. Karma Tamsayılı (Doğrusal) Programlama Modelinin İrdelenmesi

Bu modelleme denkleminde, üretim kararları için 0/1 ikili karar değişkenleri ile taşıma kararları için sürekli sayılarla temsil edilen karar değişkenleri kullanılmıştır. Karma tamsayılı programlama modelinde hem periyot farklılığına hem de OP yılı başlangıcındaki fiyatlara göre maliyet katsayısı kullanılmıştır.

Operasyon yılı başlangıcındaki maliyet değerlerini kullanan MIP tabanlı model; periyot maliyetlerini kullanan modelin 2 ayrı çözümü ile karşılaştırılmıştır. Periyot maliyetleri olmaksızın oluşturulan MIP problemde, 4 periyodun her biri için hangi bölmelere hangi üretim sisteminin atanacağı ve periyodik üretim miktarlarına göre işgücünün nasıl paylaşılacağı araştırılmıştır. Ancak, her bir periyottaki maliyet farklılığı dikkate alınmamış; işgücü verimi ve periyodik üretim miktarı dikkate alınmıştır. Modelin bu şekildeki çözümü için program 3 dakika 45 saniyede çözüm bulabilmiştir. Ancak, aynı koşullarda periyot maliyetlerinin eklenmesi ile oluşturulmuş formülasyon için programın kendini kapatmasından dolayı arama süreci tamamlanamamış ve model çözülememiştir. Buna karşı geliştirilen 2 farklı yöntemle, iki model karşılaştırılabilmiştir.

Karşılaştırmada MIP' in periyodik maliyetler (her periyotta % 13 zam) eklenmiş hali Model-MIP1; periyot farklarının yer almadığı, OP yılı başlangıcındaki maliyetlere göre düzenlenen MIP ise Model-MIP2 rumuzu ile nitelendirilmiştir.

Model-MIP1' in tamsayılı çözüm veren 2 farklı çözüm yöntemine ait bulgular karşılaştırıldığında; her iki çözüm yaklaşımında da farklı değerler çıkmasına rağmen, %2 optimalite toleransı ile çözülen model yapısının (Model-MIP1), sezgisel yaklaşımla çözülen (Model -MIP1*) daha düşük ortalama birim maliyeti vermesinden dolayı kıyaslamaya alınması uygun bulunmuştur (Tablo 85a).

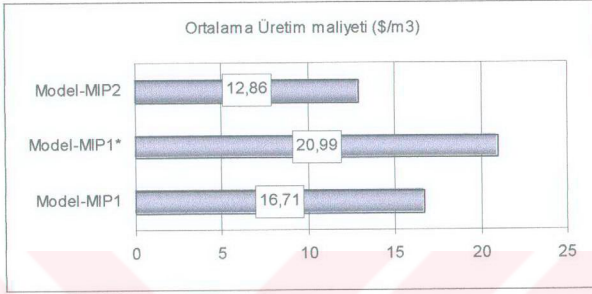
Tablo 85a. Model-MIP1* & Model - MIP1** & Model - MIP2 üretim karar değişkenleri

Bölme No	Model- MIP1*			Model- MIP1**			Model- MIP2			
	Üretim Zamanı (Periyot)	Üretim Metodu	Üretim Sistemi No	Üretim Zamanı (Periyot)	Üretim Metodu	Üretim Sistemi No	Üretim Zamanı (Periyot)	Üretim Metodu	Üretim Sistemi No	
1	47	3	UB	8	3	NB	2	3	UB	8
2	67	3	UB	4	4	NB	5	3	UB	4
3	203	4	UB	4	3	NB	4	4	UB	4
4	113	2	NB	4	2	NB	4	1	UB	1
5	114	2	UB	7	1	NB	4	2	UB	7
6	115	1	NB	7	2	UB	2	1	UB	1
7	116	2	UB	1	2	UB	3	2	UB	3
8	132	1	NB	1	2	NB	3	2	UB	1
9	135	1	NB	1	2	UB	1	1	UB	3
10	152	1	UB	3	2	NB	4	1	UB	3
11	153	3	NB	3	1	NB	3	3	UB	3
12	154	2	NB	3	1	NB	1	1	UB	1

* % 2 optimalite toleransı ile çözülen MIP1 model

** Sezgisel yaklaşımla çözülen MIP1 modeli

Buna göre, ortalama üretim maliyetleri açısından; her periyotta % 13 maliyet artışı kullanılarak düzenlenen model, OP yılı başlangıç maliyetlerine göre % 29 daha yüksek çıktığı belirlenmiştir (Şekil 28).



Şekil 28. Nicel maliyetli MIP modellerinin karşılaştırılması

Her iki modelde de geliştirme bölmelerinde aynı periyot ve aynı üretim sistemi tercih edilmiştir. Ancak, MIP2’ de diğerinden farklı olarak UB tomruk metodu tercih edilmiştir (Tablo 85a). Bu tercih; aynı amaç katsayıları ile aynı üretim sistemleri kullanılırsa üretim yöntemi farklılığının etkisinden dolayı, MIP2’ nin daha düşük ortalama üretim maliyetine sahip olacağını göstermektedir.

Her iki modelin temel çözüm kümesine bakıldığında tercih edilen üretim sistemleri açısından 4, 6, 7, 8 ve 12 no’lu bölmelerde farklılık görülmüştür. Buna göre her iki yaklaşımla bazı bölmelerde üretim sistemi seçiminin değişeceği belirlenmiş ve modellerin maliyet hesaplama yöntemlerine karşı hassas olduğu anlaşılmıştır.

İşgücü kullanımı miktarları bakımından, her iki modelde de eşit miktarda ürün üretilmesine rağmen MIP2’ de, insan gücü (234,4 saat); motorlu testere (5382,8 saat); orman traktörü (146,1 saat); oluk sistemi (53,7 saat) ve tarım traktörü (3582,9 saat) kullanımında azalış olduğu bulunmuştur (Tablo 85b). Bunda, uzun boy tomruk üretim metodunun kullanılmasından dolayı parça başına geçen zamanın azaltılmış olmasının etkili olduğu düşünülmektedir.

Tablo 85b. Model- MIP1* & Model – MIP1** & Model- MIP2 işgücü miktarları

	İG	MOTEST	HYVN	ORTRAK	HIHAT	OLUK	TRMTRK
Model- MIP1*	35 176,64	28 920,5	-	449,85	331,56	602,48	16 106,2
Model- MIP1**	76 489,17	24 110,34	7053,23	-	-	564,25	10 696,13
Model- MIP2	34 942,27	23 537,67	-	303,732	331,562	548,764	12 523,3

Ayrıca, amaç katsayılarının OP yılı başındaki nicel maliyetlere ve periyodik artan maliyetlere göre karşılaştırılmasında; operasyonel karar modeli olarak LP tabanlı denklemlerin kullanılması MIP tabanlı modelin kullanılmasından ve ortalama üretim maliyetleri açısından sırasıyla % 12 ve % 11 daha düşük bulunmuştur. Eğer, bölme etalarının bölünebilirliği kabul edilmezse yani her bir bölmeye var olan sistem kurgusundan yalnızca birinin atanması zorunlu ise, bu durumda gerçekleştirilecek üretim operasyonu maliyeti zaman, yöntem ve sistem açısından, bölünebilirliğin kabul edildiği LP tabanlı modellerden daha pahalı olacaktır.

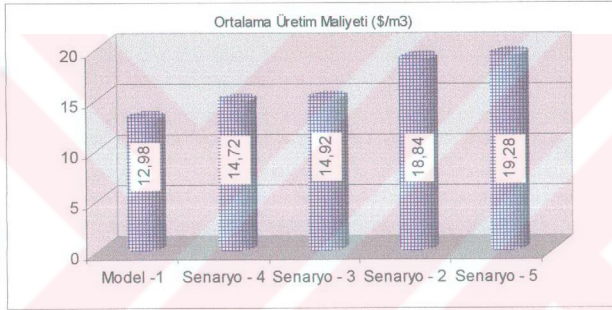
Özet olarak, odun üretim sistemlerinin seçiminde operasyon yılının başındaki maliyetlere göre düzenlenen katsayıların kullanılması ile periyotlara göre değişen (% 13) katsayıların kullanılması arasında ortalama % 28 fark bulunmuştur. Buna göre, operasyon maliyetlerine göre seçilecek üretim sistemlerinde periyot farklılıklarının dikkate alınması gerektiği belirlenmiştir. Henüz, çevresel ve kurumsal nitel maliyetlerin eklendiği operasyonel karar modelinin oluşturulmasından önce nicel maliyetlerle yapılan hazırlık yani kontrol grubu modellerinde; maliyet katsayılarının belirlenmesinde periyodik değişimlerin göz önünde bulundurulmasının üretim sistemini seçmede etkili olduğu bulunmuştur. Operasyonel karar süreci için hazırlanmış temel modelin, amaç (fonksiyonu) katsayılarının değiştirilmesinin hem temel çözüme giren karar değişkenlerinin değişmesi hem de amaç fonksiyonunun değişmesinden dolayı, modelin duyarlı olduğu söylenebilir. Ayrıca, periyotlara göre maliyetlerin (%13) artması, ortalama üretim maliyetlerini değiştirmektedir. Bu nedenle de, OP karar modelinin maliyet hesaplatıcı bir araç olarak kullanılması istendiğinde, amaç katsayılarının hazırlanmasında periyodik maliyet artışlarının dikkate alınması gerekmektedir.

Nitekim, operasyonel planlama yaklaşımında periyodik maliyet artışları olarak; çok kriterli analizlerle belirlenen etki katsayısı kullanılmıştır. Bu şekilde elde edilen sonucun gerçek maliyetlere çevrimi ise sonradan kolaylıkla yapılabilmektedir.

4.9.2. Nitel Maliyet Katsayıları ile Oluşturulan Modellerin İrdelenmesi

4.9.2.1. Model-1 ve Senaryolarının Karşılaştırılması

Doğrusal programlama tabanlı Model-1 ile bu model içinde denenen bazı senaryolar karşılaştırılmıştır (Şekil 29). Burada, Senaryo-2 temel/ara üretim teknolojisini; Senaryo-3 yöresel teknolojiyi; Senaryo-4 ara teknolojiyi; Senaryo-5 ileri teknolojiyi ve Model-1 uygun teknolojiyi temsil etmektedir. Senaryo-1' in çok yüksek üretim kayıplarına sahip olmasından dolayı karşılaştırmaya konu edilmemiştir.



Şekil 29. Ortalama üretim maliyetlerine göre odun üretiminde teknoloji düzeyleri

Operasyonel planlama yaklaşımına göre düzenlenen matematiksel modellerde, planlama alanında odun üretim faaliyetlerinde kullanılacak en uygun üretim teknolojisinin, üretim sistemlerinin uygun oranlardaki bileşiminden/karışımından oluşan Model-1 ile temsil edildiği bulunmuştur. Bu karşılaştırma maliyetler yönüyle yapılmıştır. Bununla birlikte, 12,98 \$/m³ olarak ödenen ortalama maliyet bedelinde; çevresel yada kurumsal açıdan daha uygun olan bir üretim sistemini seçmemenin cezası da, maliyet cinsinden değerlendirmeye alınmıştır. Örneğin, ileri teknolojiyi temsil eden 5. senaryo da üretimin kalitesi, ürün kayıplarının azaltılması ile temsil edildiğinde; bu senaryo maliyetlerinin yüksek olmasına rağmen en iyi senaryodur. Ancak, maliyet katsayılarının elde edilmesinde AHP ve ranking teknikleri ile çevresel, sosyo-ekonomik ve periyodik kriterlerin etkileri dolaylı olarak nicel maliyetlere eklendiğinden; değerlendirme ortak bir düzlemde gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle Model-1; ağırlıklı kriter olan maliyetlere göre, diğer

kriterler de tatmin edilmek ve tatmin edilemeyen kriterlere karşı da bir ceza maliyeti ödemek koşuluyla en uygun üretim sistemi kombinasyonlarını sunan model olarak kabul edilmiştir.

Buna rağmen, planlama alanında odun üretiminde temel teknolojinin kullanılması; model probleminde tanımlanan kısıtlayıcılar çerçevesinde 18,84 $\$/m^3$ (insan ve hayvan gücü sisteminden yararlanılması durumunda) ve 20,98 $\$/m^3$ (yalnızca insan gücü) ile ifade edilen ortalama üretim maliyetine karşılık gelmektedir.

Öte yandan, operasyonel planlama modelinin önerdiği odun üretim sistemlerinde (uygun teknoloji), hava hattı ve oluk sisteminin kullanılması gerekmektedir. Eğer bu üretim sistemlerinin tedarik edilemeyeceği düşünülürse; çözüm kümesine 3. veya 4. senaryoda temsil edilen yöresel ve ara teknoloji girmektedir. Senaryo-3' de insan, hayvan ve tarım traktörü gücünden yararlanılması hali temsil edilmiştir. Senaryo-4' de ise üretim sistemlerine orman traktörü dahil edilmiştir. Her iki durumda da, ortalama üretim maliyetleri açısından uygun üretim teknolojisinden olan sapma oranı ortalama % 15 olarak bulunmuştur. Buna göre de, yörede kullanılabilir odun üretim teknolojilerinin, üretim etkinliğine sokulması ve bunun planlanması ile maliyetler lehine önemli avantajların sağlanabileceği bulunmuştur.

4.9.2.2. Model-1' in Model-LP1 ve Model-LP2 ile Karşılaştırılması

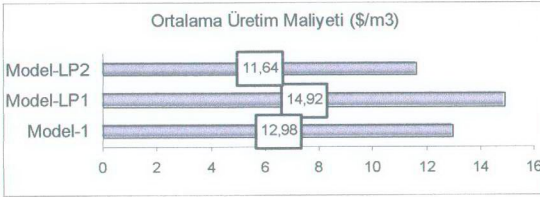
Çevresel ve kurumsal etki maliyeti ile periyot etki maliyetinin eklenmiş haldeki katsayılarla (nitel) temsil edilen doğrusal programlama modeli olan Model-1; nicel maliyetlerle oluşturulmuş katsayılarla temsil edilen Model-LP1 ve Model-LP2 ile karşılaştırılmıştır (Tablo 86). Karşılaştırmanın amacı; planlama için uygun modelin seçimi olmayıp, burada nitel maliyetlerin yüklenmesi ile oluşan modelin, bu maliyetlerin eklenmemiş haldeki diğer iki modele göre, üretim sistemlerinin seçimindeki etkisini izleyebilmektir.

Tablo 86'ya göre; her üç model arasında üretim karar değişkenleri oldukça belirgin farklılıklar göstermektedir. Bölmelerin periyoda, üretim yöntemine ve üretim sistemine göre bu farklılığı; maliyet katsayılarının her üç modelde de farklı yöntemle hazırlanmasından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, karşılaştırmalar için ortalama üretim maliyetlerinin (Şekil 30) kullanılması yanıltıcı olabileceğinden; işgücü kullanımı, makine

kullanımı ve ürün kayıpları açısından ve de çok kriterli analizlerle elde edilen görelî önemliliğe göre nitel bir karşılaştırma da yapılmıştır.

Tablo 86. Doğrusal programlama modellerinin karşılaştırılması

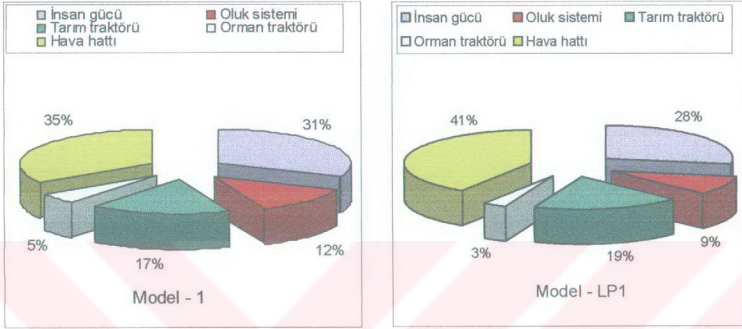
	Model -1		Model -LP1		Model -LP2	
I. PERİYOT	X7123	1	X4127	0,5	X4127	0,5
	X5127	0,68	X5114	0,62	X7121	0,33
	X10123	0,81	X10123	0,59	X9121	0,77
			X11113	1	X10123	0,77
II. PERİYOT			X12111	0,95	X11123	1
	X4227	0,55	X4217	0,24	X4227	0,12
	X5224	0,32	X4227	0,26	X5227	1
	X6221	1	X5214	0,38	X6221	1
	X8221	0,79	X6221	1	X7221	0,67
	X8223	0,21	X7213	0,3	X8223	1
	X9221	1	X7221	0,7	X9221	0,23
	X10223	0,19	X8213	1	X10223	0,23
	X11223	1	X9221	1	X12223	1
	X12223	1	X10213	0,41		
			X12213	0,05		
	III. PERİYOT	X1322	1	X1312	1	X1322	0,95
X2321		0,09	X2321	0,08	X2321	0,09
X2328		0,41	X2328	0,49	X2328	0,49
X3324		0,78	X3314	0,77	X3324	0,82
X3327		0,01	X3317	0,11	X3327	0,03
X3328		0,14			X4327	0,38
X4327		0,45				
IV. PERİYOT	X2421	0,11	X2411	0,07	X1428	0,05
	X2428	0,39	X2428	0,36	X2421	0,11
	X3428	0,07	X3428	0,12	X2428	0,31
					X3428	0,15



Şekil 30. Model-1 & Model-LP1 & Model-LP2 ortalama üretim maliyetleri

Model-1 için hazırlanacak taslak plandaki üretim çizelgesinde de görüleceği gibi karar değişkenlerinin çoğu kesirli sayı olduğundan bölmelerin etaları da periyoda, üretim yöntemine ve üretim sistemine göre değişiklik gösterecektir. Şekil 31'de görüleceği

üzere, Model-1' in tercih edilmesi durumunda; 23532 m³ olan yıllık etanın % 35' i orman hava hattının fonksiyonu olduğu 8 nolu üretim sistemiyle; % 31' i insan gücüne bağlı 1 nolu üretim sistemiyle işletmeye açılacaktır.



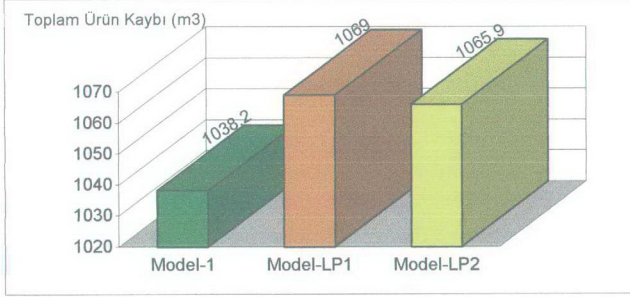
Şekil 31. Model-1' de toplam etanın üretim sistemlerine dağılımı

Diğer modellerde de aynı yöntem uygulanarak etanın üretim sistemlerine ayrıştırılması yapılmıştır. Çok kriterli analizlerde belirlenen göreceli önemlilik değerleri ile burada sistemlerin kullanılmasına ait yüzdelik değerleri, işleme sokulmuştur. Buna göre, Model-1 ile Model-LP1' in uygunluk değeri (5,6 olarak) aynı bulunmuştur. Periyodik etki katsayıları da karşılaştırılarak her ikisinde de; odun üretiminin LP sisteminin belirlediği periyotlarda yapılması sonucunda aynı etki katsayılarına (0,29) maruz kaldıkları bulunmuştur.

Ancak, işgücü kullanım oranı (Tablo 87) ve toplam ürün kayıpları miktarı da (Şekil 32) bu konuda yol gösterici olmuştur.

Tablo 87. Model-1&Model-LP1&Model-LP2 de işgücü kullanım oranları (saat)

	IG	MOTEST	HYN	ORTRAK	HHAT	OLUK	TRMTRK
Model-1	35 853,34	13067	7051,067	921,7	624	720	396,7
Model-LP1	40411,62	15868,47	7053,23	1056	624	720	5357,14
Model-LP2	35747	13038,75	5341,65	1056	624	684,18	3957,44



Şekil 32. Model-1&Model-LP1& Model-LP2' ye göre işgücü kullanım oranları

Nitel maliyetli katsayıların kullanımı ile nicel maliyetli katsayıların kullanımının doğrusal programlama denklemi üzerinde karşılaştırılması sonucunda;

Öncelikle, LP tabanlı bir modelde amaç katsayılarının belirlenmesi sırasında periyot farklarını (% 13 maliyet artışı) dikkate almakla almamak arasında, ortalama üretim maliyetleri bakımından % 28' lik bir fark bulunmuştur. Eğer, planlama için operasyon yılının başındaki maliyetler dolar üzerinden dikkate alınır ve periyotlardaki artış (enflasyona bağlı) düşünülmezse; gerçekte ortaya çıkacak maliyetten % 28 oranında sapma ile hesap yapılmış olur. Ancak, operasyonel planlama kapsamında ortaya konulan yöntemle, hem çevresel ve kurumsal etkiler hem de periyodik etkilerin katılmış olduğu katsayı kullanılarak hesaplama yapılırsa; aynen periyot artış miktarlarının kullanıldığı sonuca benzer bir operasyon düzeni oluşur. Nitekim, yukarıda benzerliği anlatılmıştır. Buna göre Model-1, operasyonel planlama amacıyla kullanılabilir ve modelin ortaya çıkardığı sonuçlar hem maliyet hem de diğer kriterler bakımından uygundur. Dolayısı ile doğrusal programlama yöntemi, ormanlıkta odun hammaddesi üretiminde bir planlama aracı olarak kullanılabilir.

4.9.2.3. Model-2 ve Senaryolarının Karşılaştırılması

Operasyonel karar modelinin LP yada MIP ile çözümünden maksat; amaç fonksiyonu değeri en küçük olan çözüm kümesini bulmaktan ziyade, operasyonel planlama yaklaşımı için uygun model formasyonunu belirleyebilmektedir. Teknoloji düzeyinin temsiline dayalı olarak manuel biçimde STD'si değiştirilerek gerçekleştirilen MIP

modelini (Model-2) senaryo sonuçlarına göre; üretim karar değişkenlerinin alternatiflere karşı daha hassas olduğu anlaşılmıştır. Senaryo-1, 2 ve 3' de temel çözüme giren ikili karar değişkenlerinin değişen üretim teknolojilerine karşı hem periyot hem de üretim sistemi bakımından duyarlı olduğu belirlenmiştir. Bu açıdan, 0/1 karma tamsayılı programlama bu problem için uygun çözümler üretebilmiştir.

Model-2 ile temsil edilen 0/1 MIP problemi, doğrusal programlama modelinin tamsayılı değişkenlerle ifade edilmesi sonucunda ortaya çıkmıştır. Modelin bu yapıya dönüşmesinde, işlem birimi olan orman bölmelerinin bölünemezliği, her bir bölme/bölmeciğe yalnızca bir üretim sisteminin atanması istenmesi, minimizasyon denkleminde kayıp maliyetlerinde gösterilmesi ancak bunların üretim sisteminin bir bölme için atanıp atanmamasına bağlı olması, etkili olmuştur.

0/1 MIP formülasyonunun çözümü sırasında genel LP denkleminin çözümüne göre farklılıklar meydana gelmiştir. LP modelinin çözümü için ticari LINDO programının LP çözücü modülü kullanılarak tüm ayrıcalıklı senaryoların her birisi için, 1,6 GHz ve 256 MB RAM bellek özelliğine sahip PC' de, maksimum çözüm zamanı 3-8 saniye arasında sürmüştür. Ancak, Model-2' nin çözümü için aynı programın MIP/ILP (integer linear programming) modülü kullanılarak aynı kişisel bilgisayarda çözüm 1989 saniye (33 dakika 9 saniye) sonunda elde edilebilmiştir.

Öte yandan, MIP ile ilgili bazı senaryoların denenmesi için aynı modelin STD değerleri değiştirilerek aranan çözümler için program 13 saat koşturulmuştur. Çoğunlukla kaynak kısıtlarının minimum değerlerde verilmesi yani problemin oldukça sert biçimde kısıtlanması (örneğin insan gücü miktarının 4500 saate indirilmesi) halinde ILP modülü, problemin doğrusal programlama çözümü olduğunu belirtmiş 20 dakika ile 2 saat 35 dakika arasındaki çözüm arama sürecinin ardından kendini kapatmıştır. Yüksek RAM kapasiteli ve işlemci hızı 2,4 GHz olan PC' lerde de program bu tarzdaki modeli çözememiştir. Aynı problem için % 1, % 2 ve % 10 optimalite toleransı kullanılmasına rağmen çözülemeyen bazı MIP yapıları senaryolar olduğu görülmüştür. Ancak, bunlar modelin türevi olduklarından operasyonel planlama modelinin çözüm setini etkilememiştir.

LINDO paket programı içinde, ILP çözücüsü dal&sınır algoritmasını kullanarak 0/1 tamsayılı programları çözebilmektedir. Model-2' nin çözümü sırasında 2 932 976 adet iterasyonla, 170 dallanma gerçekleşmiştir. Problemden 365 satır, 1415 karar değişkeni, 684 0/1 ikili (binary) değişkeni, 9153 adet negatiflik kısıdı yer almıştır.

MIP yapısındaki bu modelin LP tabanlı çözümünde amaç fonksiyonunun (Z_{min}) 299582,6 olduğu görülmüştür. Amaç fonksiyonu değerlerinin karşılaştırılması sonucunda LP/MIP oranının % 10,3 olduğu tespit edilmiştir. Yani, aynı problemin karma tamsayılı programlama ile çözümü, doğrusal programlama modeli ile çözümünden maliyetleri % 10,3 daha fazla arttırıcı yönde olduğu bulunmuştur.

Karma tamsayılı doğrusal programlama modelinin bu özellikleri ve karar değişkeni sayısının artması karşısındaki izleyeceği seyir düşünülerek; gerek çözüm zamanının kısaltılması gerekse planlayıcı/karar vericinin optimal çözüm setine müdahalesinin sağlanması ve elde edilecek optimale yakın sonuçların türetilmesi için operasyonel karar modelinin çözümü sezgisel yaklaşımla da araştırılmıştır.

4.9.3. Nitel Maliyetli Operasyonel Karar Modellerinin (LP ve MIP) Karşılaştırılması ve Uygun Operasyonel Planlama Modelinin Seçilmesi

Doğrusal programlama modeli (LP), operasyonel kararların verilmesinde ve haliyle odun üretim sisteminin seçilmesinde, sürekli ve yarı- sürekli (0 ile 1 arasındaki rasyonel) sayılarla temsil edilmiştir. Üretim karar değişkenleri (X_{bpus}) 0, 0 – 1 arası ve 1 sayıları ile temsil edilirken, taşıma karar değişkenleri (Y_{bpur}) 0 ile ∞ (sonsuz) arasındaki sayılardan herhangi birini alabilmektedir.

Oysa, doğrusal programlamanın tipik özelliği ve bazı problemler için istenilmeyen bir özellik olan bölünebilirlik, operasyonel karar problemi için bazı uygulama sorunlarını ortaya çıkarmıştır. Model-1' in çözüm kümesine bakıldığında etası 1000 m³ den daha düşük olan bakım bölmeleri için pasta dilimi şeklinde bölünmelere fırsat tanınmıştır. Bölünmeler periyot, üretim yöntemi ve kullanılacak üretim sistemi farklılığı yönünden kendini göstermiştir.

Üretim ve transport maliyetleri yanında, üretim sırasında sistem seçimine bağlı olarak kayıp maliyetlerinin de bu denkleme ilavesi yapılmıştır. Ancak, kayıp oranı, üretilen miktara ve kullanılan üretim sistemine bağımlı olduğundan ayrı bir karar değişkeni olarak temsil edilemeyeceği belirlenmiştir. Bu amaçla da üretim karar değişkenine bağımlı bir değişken olarak kayıp maliyetleri amaç fonksiyonuna eklenebilmiştir. Yani, “s” üretim sisteminin seçilmesi halinde, kayıp maliyetinin karar değişkeni değeri, s sistemine bağlı olan oran kadar olacaktır. Bu bağımlılık “eğer-ise....değilse” prensibiyle açıkladığından 0 yada 1 sayılarıyla temsil edilmesi gerekmektedir.

Bu nedenlerden dolayı, operasyonel planlama problemi için (0/1) karma tamsayılı doğrusal programlama (MIP yada ILP) modeli geliştirilmiştir.

Operasyonel planlama probleminde; alternatif üretim sistemleri için yalnızca tek rotalı sistem bileşimi kullanılmıştır. Yani, bir bölmede hem insan gücü hem hayvan gücü hem de tarım traktöründen kurulu bir üretim sisteminin kullanılması ihtimal iken; bu çalışmada bir bölme için ya insan gücü yada diğer alternatif üretim sistemlerinden biri kullanılmıştır. Bu tercihin nedeni, aşağıdaki yordam ile açıklanabilir:

1. Odun hammaddesi üretim planlamasında tüm ihtimallerin değerlendirilebilmesi amacıyla, planlama alanı transport sınırlarına göre üretim poligonlarına ayrılmıştır. Lokal eğimler de düşünülerek bir bölme içinde farklı üretim sistemlerinin kullanılmasına olanak tanıyan mozaik bir yapı elde edilmiştir. Yaklaşık 495 ha alanı olan (planlama yılında üretilecek) 12 bölme için 79 poligon elde edilmiştir. Kesme, bölmeden çıkarma ve taşıma operasyonlarının kombine edildiği durumda, 27 tekil bağıntı (=bire bir eşleme; motorlu testere ile kesme+elle kabuk soyma+insan gücü ile sürütme gibi) ortaya çıkarılmıştır. Bu durumda $79 \times 27 = 2133$ adet arc/link oluşturan bir karar ağı oluşmuştur. Buna 4 adet periyot, 2 adet üretim sistemi, 2 adet yükleme yöntemi ve 2 adet depo ile 2 adet güzergah seçeneği eklendiğinde; yalnızca üretim kararları için 17064 adet karar değişkeni ile karşılaştırılmıştır. Bazı yapısal kısıtlayıcılar ile bunların 10000 adete indirilebileceği tahmin edilmesine rağmen, taşıma karar değişkenleri de eklenince oldukça büyük boyutlu bir matris elde edilmiştir. Çok küçük alanlarda çalışıldığından poligonların etasının birden fazla seçenikle üretilemeyeceği düşünülmüş ve formülasyonun karma tamsayılı doğrusal programlama ile kurulması gerekmiştir. Bu durumda, çok küçük üretim miktarı yada alanı başına pahalı üretim sistemlerinin uygulanması sonucu ile karşılaşılacaktır. Bu sonuca göre, ekonomikliğin ve teknik olarak uygulanabilirliğin literatürde belirtilen (üretim masraflarına rağmen elde edilen ürünün satış gelirinin, bu masrafları karşılamayacak olması endişesi) temel yaklaşımlara göre (Aykut, 1984; Erdaş, 1986; LIRA, 1987; Sundberg ve Silversides, 1988; Acar, 1994) pek de uygun olmayacağı görülmüştür. Dolayısıyla, bu yaklaşımdan vazgeçilmiştir.
2. Oluşturulan tekil karşılaştırmaya dayalı 27 üretim kombinasyonu; kendi aralarında çaprazlanarak her bir bölmeye birden fazla kombinasyonun düşebileceği varsayılmıştır. Bu durumda en az 3 üretim sistemi kombinasyonunun bir bölmede bir

arada kullanılabilceği düşünülduğünde 80 kadar seçenek elde edilmiş olacaktır. Bu problemin matris boyutu düşünülmezsizin ortaya çıkan sonuç canlandırılmıştır. Bu durumda örneğin; son hasılat etasının alınacağı 47 nolu bölmede 4306 m³ etayı almak için, sistem başına düşen alanlar yada DKGH' in dağıtımı konusunda pratik çözümlere ulaşılammıştır. Teorikte bölüştürülebilin etayı arazide, üretim sistemlerine göre ayırmak güç olabilir. Bunun için özel zaman, emek ve CBS&GPS teknolojilerinin kullanımı gereklidir. Gençleştirme bölmelerinde, ekonomiklik bir kenara bırakılırsa; bu teknolojiler yardımıyla, teorinin pratiğe aktarımı mümkündür. Ancak, özellikle bakım bölmelerinde bu durum, daha karmaşık bir sonuç vereceğinden bu yaklaşımla da çözüm sağlanamayacağı düşünölmüştür.

3. Üretim sistemi kombinasyonları, burada topoğrafik ve teknik yönden elemine edilerek 10 tekil sisteme indirilmiştir. Bölmeler, poligonlara ayrıştırılmadan 12 adet olarak düşünölmüştür. Bu durum, çalışmada kullanılan model kurgusunu ortaya çıkarmış olup, operasyonel planlama problemi için hangi modelin tercih edilmesi gerektiği ve uygulama açısından önemi de aşağıda irdelenmiştir.

LP tabanlı Model-1, (Tablo 73' e göre) MIP tabanlı Model-2'den % 11 daha düşük amaç fonksiyonu değerine sahiptir ki, minimizasyon denkleminde dolayı bu istenen yönde bir üstünlüktür. Ortalama üretim maliyetleri bakımından ise % 10 daha düşüktür. Maliyet bileşenleri yönüyle LP tabanlı model, tercih edilebilir bir önceliğe sahiptir.

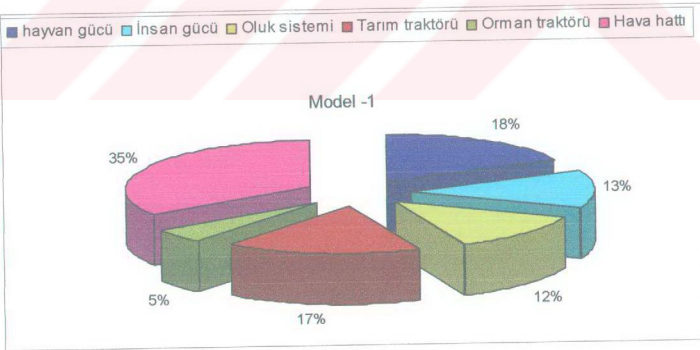
Model-1, yarı sürekli ve sürekli sayılarla temsil edilen doğrusal programlama denklemidir. LP denklemlerinin karakteristiği, karar değişkeni değerlerinin bölünebilmesidir. Yani, temel çözümde yer alan karar değişkenlerinin kesirli değerler alabilmesidir (Rardin, 1998; Taha, 2000; Bakır ve Altunkaynak, 2003; Akgül, 1998). Model-1, bu karakteri taşıyarak üretim bölmelerini hem periyotlara hem üretim sistemlerine bölmüştür. Operasyonel planlar için bu tür ayrışık bir üretim çizelgesinin önerilmesi ve bunun araziye aktarılması kesirli değerlerden dolayı oldukça zor olabilir. Teorik olarak, uygulanması % 10' dan daha fazla bir maliyet tasarrufunu sağlayacak olan LP modelinin hem teorik hem pratik olarak gösterimi ve programlanması, MIP denkleminde göre daha zordur.

MIP denkleminde; üretim karar değişkenleri 0/1 karma tamsayı değişkenlerle temsil edilmiştir. Temel çözümde her bir bölme; bir periyoda, bir üretim metoduna ve bir üretim sistemine atanmıştır. Teorik olarak kaynakların paylaşılması ve üretim

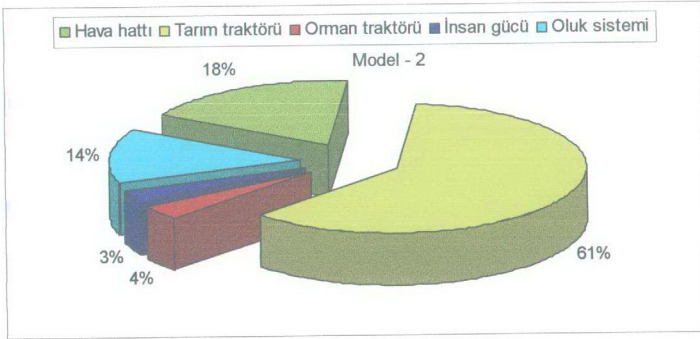
çizelgelerinin ekonomik ve teknik yorumu oldukça kolaydır. Uygulamada ise, her bir bölmeye bir tahsis olacağından planlama ve uygulama karmaşası olmayacaktır. Bu yönüyle, MIP denklemlerinin üstünlüğü göze çarpmaktadır.

Model-1 (Doğrusal programlama modeli), etanın üretim sistemlerine dağılımı açısından; etanın % 35' inin hava hattı sistemiyle alınmasını önermiştir. Ancak, alınacak bu etanın % 86' sı 2 nolu bölmeden ve 3. periyotta; kalan % 14' ü ise 3 nolu bölmeden 4. periyotta alınacaktır. Yani hava hattı iki ayrı bölmede, iki ayrı periyotta konuşlandırılacaktır. Yörede, 1 adet hava hattı kullanılmaktadır ve diğer işletmelerin de hava hattına ihtiyaç duyacağı dikkate alınırsa iki periyot boyunca aynı yörede bekletilmesi yada sökülüp yeniden kurulması teknik ve ekonomik olarak uygun olmayabilir. Buna karşın, Model-2 'de hava hattı yalnızca bir bölme için tahsis edilmiştir ve bir periyotta bu bölmede üretimi yaptıktan sonra başkaca bölme yada işletmeler için kullanılabilir pozisyona geçecektir.

Model-2' de tarım traktörü kullanımı, Model-1' e göre fark edilebilir derecede fazla bulunmuştur. Tarım traktörlerinin, gençleştirme bölmelerinde ağırlıklı kullanılacak olması, bu bölmelerde traktör yollarının yapılmış olmasından dolayı uygulama açısından oldukça mantıklı görülmektedir (Şekil 33 ve 34).



Şekil 33. Model -1' de etanın üretim sistemlerine dağılımı



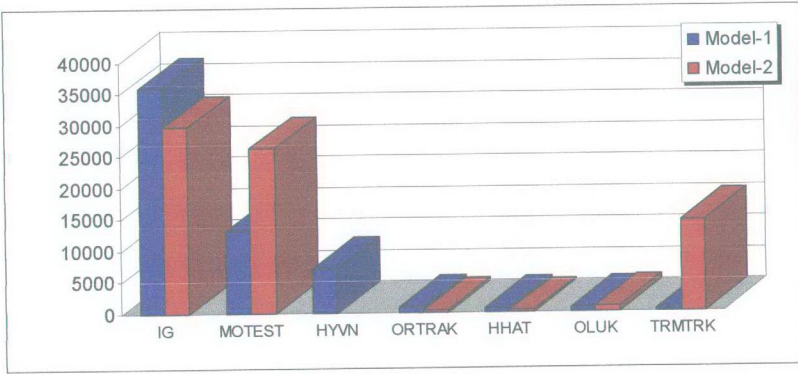
Şekil 34. Model -2' de etanın üretim sistemlerine dağılımı

Üretim miktarının üretim sistemlerine dağılıma oranları kullanılarak çok kriterli analizlerle yapılan işlemler sonucunda elde edilmiş görelî önemlilik değerlerini gösteren skor değerleri çarpılarak Model-1 ile Model-2' nin tercih ettiği üretim sistemlerinin uygunluk değerine bakılmıştır. Model-1; 5,6 değerine sahip iken; Model-2' nin 8,06 bulunması, MIP denkleminin seçtiği üretim karar değişkenlerinin LP'den daha kaliteli olduğunu göstermektedir. Kalite göstergesi çevresel, kurumsal, teknik açıdandır. Bu sonuca göre de Model-2 denklemlerinin kullanılabilir olduğu ve bu denklem ile yapılan planlamanın daha uygun olabileceği kanaati kuvvetlenmiştir.

Öte yandan, her iki modele göre işgücü kullanım oranları karşılaştırıldığında; Model-1' de insan gücünden Model-2' ye göre daha fazla yararlanıldığı görülmüştür. Ancak, tarım traktörünün de bariz şekilde Model-2' de, Model-1' den daha fazla kullanıldığı görülmektedir (Şekil 35).

Toplam ürün kayıp miktarlarının da karşılaştırılması sonucunda, Model-1'de 1038,2 olan ürün kayıp miktarı, Model-2'de 856,93 m³ ile karşımıza çıkmaktadır. Burada, Model-2' nin üstünlüğü yararlar sağlayıcı yöndedir.

Bununla birlikte, LP yapıtlı Model-1' in Model-2' ye göre başkaca bazı avantajlarına da rastlanmıştır. LP, sürekli ve yarı sürekli (kesirli) karar değişkenlerinden oluşabilen çözüm kümeleri ile bir çok ormancılık planlama problemi için optimal ve mümkün olan çözümler üretebilmektedir (Dykstra, 1976). Nitekim, çalışmadan elde edilen bulgulara göre, LP' nin amaç fonksiyonunun minimizasyonuna yönelik değerinin MIP' a göre düşük olduğu belirlenmiştir.



Şekil 35. Model – 1 ve Model – 2’ de işgücü kullanım oranları

LP modelinin çözüm değeri, MIP yaklaşımından % 11 oranında daha avantajlıdır. LP karakteristik yapısı gereği, bölünebilirlik kuralının üstünlüğünü kullanarak, kesirli değişkenlerle ifade edilebilen çözümler üretmektedir. Öte yandan LP’ nin çözüm zamanı birkaç saniye ile sınırlı bulunmuştur. Tez problemi boyunca LP ile çözüm arama zamanı (CPU zamanı), bu problem için maksimum 8-10 saniye sürmüştür. Ancak, MIP denklemlerinin çözüm bulma süreci için gerek modellerin modifikasyonunda gerekse alternatif modellerin denenmesine karşılaşılan en kısa çözüm zamanı 3 dakikadan daha fazladır. Ancak, bazı stratejiler için programın 8-13 saatten daha fazla koştugu görülmüştür.

LP modelinin tüm bu üstünlüklerine rağmen, problemin teorik çözümleme üstünlüğünden ziyade, sonuçların gerçek probleme uyarlanabilirliği daha önemli bulunmuştur. Bu nedenle de, bu çalışmada, OP metodolojisi için kantitatif bir karar mekanizması olarak 0/1 karma tamsayılı doğrusal programlama modelinin kullanılması uygun bulunmuştur.

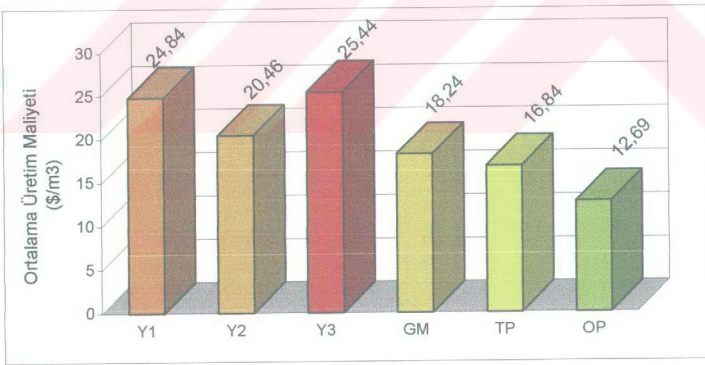
4.10. Operasyonel Planlamanın Diğer Yaklaşımlarla Karşılaştırılması

Buna göre, operasyonel planlama yaklaşımı ile gerçekleştirilecek odun hammaddesi üretiminde toplam ortalama maliyetlerinin diğer yaklaşımlardan daha düşük olabileceği belirlenmiştir (Şekil 36).

Operasyonel planlama yaklaşımını kullanmakla ortalama üretim maliyetlerinde;

- hiçbir planlama yapılmaksızın yalnızca var olan insan gücü ile üretim yapılması yaklaşımına göre % 49 (Y1),
- herhangi bir plan olmaksızın insan ve hayvan gücünden oluşan ve hiç bir sınırın konulmadığı odun üretim operasyonlarına göre % 38 (Y2),
- operasyonel planlamada kullanılan kaynak kısıtlayıcılarının aktüel işleyişe tatbik edilmesine göre % 50 (Y3),
- OP yılında, işletmede üretim programlarının uygulanmasıyla ortaya çıkan gerçek maliyetlere göre % 30 (GM),
- transport planlaması yaklaşımına göre ise % 25, tasarruf sağlanabileceği belirlenmiştir (TP).

Karşılaştırmalarda, uygulama sonucu elde edilen ortalama üretim maliyetleri haricindeki diğer rakamlar, teorik olarak hesaplanmıştır. Ancak, uygulama sonuçları; bu tez çalışmasında konu edinilen alanda ve yılda gerçekleşmiş odun üretim operasyonu ortalama maliyetlerini yansıtmaktadır. Üstelik, bu rakamlarda işçilere ödenen primler de eklenememiş durumdadır.



Şekil 36. OP yaklaşımının alternatif üretim yaklaşımlarıyla karşılaştırılması

OP' nın ortalama birim miktardaki ürün başına % 30 maliyet tasarrufu sağlaması; OP yaklaşımı ile sürütme mesafelerindeki hesaplamaların iyileştirilmesine ve aktüelde kullanılan insan ve kısmen hayvan gücüne bağlı üretim sistemlerine ilaveten tarım ve

orman traktörü ile hava hattı ve oluk sistemlerinin de kullanılmasına bağlıdır. Öte yandan, OP da zamansal bir kısıtlayıcılık bulunmaktadır ve bu zaman içinde kullanılacak her türlü sistemin rasyonel çalışması düşünülmüştür.

OP' nın ortalama üretim maliyetleri bakımından elde edilen üstünlüğü yanında, çok kriterli analizlerle oluşturulmuş nitel değerlendirmelere göre de üstünlük gösterdiği bulunmuştur. OP yaklaşımına, ortalama üretim maliyetleri bakımından en yakın planlama yaklaşımı, ki bu OP nin fiziksel plan oluşturma aşamasını da içerir, transport planlamasıdır. Transport planının önerdiği üretim sistemlerinin çok kriterli analizlere göre ortaya çıkan değeri, 5,8' dir. Ancak, OP yaklaşımı ile çok kriterli analizler bakımından elde edilen değer 8,06'dır. En uygun değer 9 olduğu hatırlanırsa, OP yaklaşımının bu bakımdan da üstünlüğü ispatlanmıştır.

Operasyonel planlama için, ortalama üretim maliyetleri hesaplanmasında daima üretim kayıplarından doğan zarar da maliyete dahil edilmiştir. Ancak, bu olması beklenen sabit bir sayı ile nitelendirildiğinden, her zaman bu kadar oranda ürün kaybının ortaya çıkması söz konusu olmayabilir. Ancak, tüm işlemlerde bu kabul kullanıldığı için tez metni içindeki hesaplamalarda bir sorun oluşturmaz. Gerçek maliyetlerle karşılaştırmada, bölme dosyalarından elde edilen bilgilere göre ortalama % 13' lük ürün kaybı meydana geldiği anlaşıldığından gerçekleştirme sonuçlarının bu miktar kadar olduğu görülmüştür. Buna rağmen, ürün kayıplarının işleme sokulmadığı bir hesaplamada ise; OP yaklaşımı ile elde edilen ortalama üretim maliyetinin (11,02 \$/m³); uygulama sonuçlarında ulaşılan (11,51 \$/m³) ortalama üretim maliyetinden % 4 daha az bir maliyete tekabül ettiği bulunmuştur. Uygulama sonuçlarında ortaya çıkan maliyetin birim fiyat üzerinden hesaplanmış olduğu; primleri içermemesi de dikkate alınır 1 m³ odun hammaddesi elde ediniminde OP yaklaşımının kazandırdığı avantajın % 4' den daha fazla olduğu bulunmuştur.

OP yaklaşımı ile uygulamada gerçekleşen ortalama üretim maliyetlerinin karşılaştırılmasında; farklı üretim metotlarının kullanılmasının karşılaştırma açısından uygun zemini oluşturmadığı düşünülmüştür. Uygulamada normal boy tomruk üretim metodunun (kısmen uzun boy tomruk metodu da dahil) kullanılmasına karşın, OP uzun boy tomruk üretimini önermiştir. Bu farkın normalize edilerek karşılaştırma zeminine indirgenmesi için yapılan işlem sonunda OP ile normal boy tomruk üretimi için 15,22 \$/m³ ortalama üretim maliyetinin oluşacağı; bunun, uygulama sonuçlarından % 16 daha düşük bir maliyete tekabül edeceği bulunmuştur.

Bununla birlikte, OP odun hammaddesi üretiminde tercih edilen teknoloji düzeyi bakımından ara teknoloji düzeyinin kullanımını tercih etmiştir. OP ile elde edilen teknoloji düzeyi, halen kullanılmakta olan yöresel teknolojiye göre, ileri teknoloji düzeyindedir. Böylece, mekanizasyon düzeyinin yada başka bir ifadeyle mikro teknoloji düzeyinin artırılmasının klasik yaklaşıma göre mukayesesi ortaya konulmuştur.

İşgücü kullanım oranları bakımından OP, 29 642 saat insan gücünden yararlanılmasının gerektiğini belirtmiştir. Bu, tüm yıl boyunca 22 üretim ekibinin işlendirilmesi anlamına gelmektedir. Yani, 110 orman köylüsünün 1344 saat (168 gün) çalışmasına imkan tanınmaktadır. Yörede toplam 430 orman köylüsünün çalışabileceği belirtilmesine rağmen bunların tümü odun üretim etkinliğinde görev üstlenmez. Bu durumda ortalama 4 kişilik hanelerden her birinden yani her bir aileden 1 kişinin odun üretim işlerinde çalıştırılmasına fırsat tanınır. Ayrıca, yörede en az 25 adet olduğu belirlenen tarım traktörlerinden yararlanılması dikte edilmektedir. Çünkü, toplam ortalama üretim maliyetinin böylelikle azaltılabileceği bulunmuştur. Ancak, burada tarım traktörlerinin kullanılmasındaki iyileştirme DOİ lehinedir. Yani, orman köylüleri için üretim etkinliğinde beden güçlerini kullanmak, tarım traktörlerini kullanmaktan daha ucuzdur. Bu çalışmada maliyetlerin optimizasyonu için üretici yöneyli düşünülmüştür. Tüketici tabanlı düşünce, çok kriterli analizlerde, sosyo-ekonomi kriterlerinin değerlendirilmesinde kullanılmıştır.

Öte yandan, yörede daha önce kullanılmayan orman hava hatlarının kullanılması gereği ortaya çıkmıştır. Planlama alanında, 332 saat hava hattının çalıştırılması ve bunun karşılığında 4306 m³ odun hammaddesinin üretilmesi hedeflenmektedir. Ancak hava hattı; ortalama arazi eğimi % 33 olan gençleştirme bölgesi için önerilmiştir. Oysa, eğimi % 48 olan ve alınacak etanın daha fazla olduğu 67 nolu bölme için önerilmemiştir. Bunun nedeninin, bu bölmelerde traktör yolu yapılarak, bölmeden çıkarma maliyetinin traktörlerin kullanılması lehine düşmesi olduğu tahmin edilmektedir. Bakım bölmelerinin çoğunda da oluk sisteminin tercih edilmesi, çevresel zararların azaltılması açısından isabetli bulunmuştur.

Sonuç olarak, operasyonel planlama modeli, halihazırda gerçekleştirilen odun üretim faaliyetlerinden ve fiziksel planlama yaklaşımlarından; ortalama üretim maliyetlerinin minimizasyonu amacıyla daha iyi sonuçlar vermiştir. Bu sonuçlar; uygulanabilir ve çok kriterli analizler bakımından da çevresel, sosyo-ekonomik, ekonomik ve teknik yönden de diğer odun üretim yaklaşımlarından daha üstün bulunmuştur.

4.11. Odun Hammaddesi Üretiminde Yıllık Operasyonel Planlama Yaklaşımının Genel Olarak İrdelenmesi

Odun hammaddesi üretimi teknik, topoğrafik, ekonomik, ekolojik ve sosyo-ekonomik boyutlu bir süreçtir. Teknik ve topoğrafik boyut hem sınırlandırıcı faktörleri hem de üretimin nasıl yapılması gerektiğini dikte eder. Ekonomik boyut, üretime girecek kaynakları tarif eder ve kısıtlar. Ekolojik boyut, üretim operasyonlarının çevresel sınırını temsil eder. Sosyo-ekonomik boyut ise üretim operasyonlarının kurumsal çerçevesini belirler ve politikanın eseri olarak operasyonlardan çıkar sahiplerinin kimler olduğunu tanımlar. Bu kapsamda, üretim etkinlikleri sırasında, üretime bağlı fiziksel planlar yanında kaynakların sınırlılığından dolayı ekonomik ve çok boyutlu planlar da gereklidir.

Planlamanın tanımı bakımından (Öncer, 1991; Başkent, 1999) operasyonel planlamanın, “ormancılıkta bir yıllık odun üretim etkinlikleri kapsamında; hangi nitelikte ve ne miktarda orman ürününün (odun hammaddesi) hangi kaynaklardan (bölme, insan-hayvan-makine işgücü, para, zaman) ne kadar kullanılarak, ne zaman ve nasıl üretileceğinin planlanması” olarak tarif edilmesi uygundur.

Hali hazırda Ülkemizde odun hammaddesi üretiminin yönetsel ve teknik sürecinde yıllık düzeyde üretim planlarına rastlanmamıştır. Ancak üretim programı ve iş planı adıyla yıllık üretim miktarlarını gösteren çizelgeler düzenlenmektedir. Satış programlarına göre hazırlanan ve üretim programlarından öte gitmeyen bu yıllık iş planları da operasyonel plan özelliği taşımamaktadır.

OP, hiyerarşik planlamaya göre kısa dönemli planlama stratejisinin özelliklerini taşır (Weintraub ve Cholaky, 1991; Gunn, 1991; Başkent, 1999). OP' nin amaçları; odun üretim etkinliklerinin toplam birim maliyetlerinin minimizasyonudur. Ancak, bu minimizasyon sürecinde odun üretiminin çevresel zararlarının minimizasyonu ve sosyo-ekonomik amaçların tatmini ve operasyonların teknik-topoğrafik kısıtlara göre planlanabilmesi de amaçlarıdır.

Acar (1994), odun hammaddesi üretiminde makro ve mikro transport planlama yöntemini ortaya koymuş ve üretim sistemlerine karar verilmesinde ağ analizinin kullanılacağını belirtmiştir. Bu yönüyle, OP' de kullanılan YA teknikleri ile bu analizler atama problemi formunda yapılabilmektedir. Diğer yandan, OP Acar' ın mikro transport planlaması yaklaşımına fiziksel planın oluşturulması yönünden uygun bulunmuştur.

Dykstra ve Heinrich (1996), odun hammaddesi üretim planlamasını stratejik ve taktiksel düzeyde ikiye ayırmış ve kısa dönem planların taktiksel plan olduğunu belirtmiştir. OP, bu yönüyle Dykstra ve Heinrich' in yaklaşımından ayrılık gösterir.

Bununla birlikte Karlsson vd. (2002), odun üretim planlamasının 1 yıllık düzeyde hazırlanmasını taktiksel planlama olarak nitelendirmiştir. Yıllık odun üretim planlaması bu çalışmada OP düzeyinde ele alınmıştır. Yazarlar, yol planlama ve stok devrinin de matematiksel modelde göstermiş ve planlama düzeyinin kapsamını genişletmiştir. Bu doktora çalışmasında ortaya konulan OP, Karlsson vd.' nin yaklaşımından farklıdır.

Gunn (1991), taktiksel planlamayı 3' e ayırmış; uzun, orta ve kısa vadeli taktiksel planlar terimini kullanmıştır. Bu yaklaşıma göre geliştirilen OP, orta vadeli taktiksel plan içinde yer almaktadır.

Weintraub vd. (1996; 2000a ve 2000b; 2003) hiyerarşik planlama kapsamında 1 yıllık ve daha kısa süreli odun üretim planlarını Operasyonel planlama olarak tarif etmiştir. Buna göre bu çalışmada oluşturulan OP, bu tarif ile uygunluk sağlar.

Jammick ve Burger' de (1991) kısa dönemli odun üretim planlamasını operasyonel planlama olarak nitelendirmiştir.

Eraslan ve Eler' e (2003) göre; orman işletmelerinin planlanmasında, yıllık iş programı, gerekli araç-gereç planlama ve maliyet planlamasının gerekliliği vurgulanmıştır. Bu çalışmada ortaya konulan operasyonel planlama yaklaşımı, Eraslan ve Eler' in belirttiği araç gereç planlaması ve masraf planlamasını kapsamaktadır. OP' nin piyasa araştırmalarına gereksinim duyması nedeniyle de hazırlanan bu OP yaklaşımı, amenajman planlarının tamamlayıcısı niteliğinde olabilir.

Bu çalışmada, operasyonel planlama probleminin modellenmesinde MIP yaklaşımı da tercih edilmiştir. Modelde, bazı katı yapısal kısıtlayıcılar kullanılmıştır. Bunlar; hava hattı sistemlerinin bakım bölmelerinde kullanılmaması, oluk sistemlerinin traşlama bölmelerinde kullanılmaması, tüm sistemlerin UB ve NB üretim metoduyla üretime izin vermesi, her bir bölmenin OP yılı içinde mutlaka hasat edilecek olması, her bir bölmeye yalnızca bir sistemin atanmasıdır.

Münferit planlama gibi meşcere bazlı planlar için LP iyi çözüm veren bir modeldir. Ancak, uygulama problemlerinin aşılabilmesi mümkünse lokal bazda da üretim sistemi seçeneklerini sunabilen bir LP modeli, operasyonel planlamada kullanılabilir.

Bununla birlikte, OP, orman yollarının planlaması ve 10 yıllık uzun dönem (makro) transport planları ile de uyum sağlayabilir. Her 10 yılın başlangıcında tüm bölmeler için

uygun olacak transport sistemleri belirlenir ve transport planının yol gösterdiği şekilde de yıllık gerçekleştirmeleri, OP takip edebilir. Her yıl bu plan değişen koşullara göre OP aracılığı ile yenilenebilir. Özellikle OP' nin uygulanması için yol planları tamamlanmış olmalıdır. Diğer bir yaklaşımla OP'nin yörüngesi uzatılarak 18 ay yada 24 aya uzatılabilir. Çünkü teknik olarak yapılan yolların 1 yıl beklemesi yada en azından bir yağmurlu sezonun ardından kullanılması gerektiği; buna karşın, OP'nin ise plan yılının (mali yıl) başlangıcında bitirilmiş olmasından dolayı planlamanın daha önceki bir zamana alınması gereklidir. Ancak, bu durumda risk ve belirsizlik artacağından iki düzeyli plan stratejisi oluşturulmalıdır. Branney ve Dutson (2002) bu konuda detay ve taslak OP olarak 2 yıllık plan hazırlamışlar ve her yılın başlangıcındaki plan, gelecek yılın taslağı olmuştur. Bundan ibaret; OP taktiksel planlarla da bağlantıyı bu şekilde sağlayabilir.

Yol planlamasının OP' ye hiç katılmaması da mümkündür. Eğer yol yapım maliyeleri, planlama yılına katılacaksa ve OP bir bütçe düzenleyici gibi kullanılacaksa, bu durumda yol maliyetleri, OP yılındaki değişken maliyetlere katılmalıdır. Ancak, fiziksel özellikler itibarıyla modelde kullanılabilmesi için karma tamsayı programlama denklemlerinin kullanılmasını gerektirir.

OP ve silvikültür planları ilişkiye getirildiğinde; OP, silvikültür planlarının işletme bazlı ve meşcere bazlı olarak yapılanları ile örtüşür. Üretim operasyonları silvikültürel kararın yerine getirilmesi işlemi olarak algılandığında burada iddia edilen OP modeli, silvikültürel uygulamalara uygundur. Öte yandan, bölge ve işletme bazlı silvikültürel amaçlar, geniş kapsamlı transport planları ve amenajman planları ile eş zamanlı olarak hazırlandıkları için bir tezatlık oluşmaz. Ancak arazide, teorik olarak düşünülenler her zaman uygulanamayabilir.

OP, halihazırda teorik olarak konu edinilen ancak uygulamada rastlanılmayan orman transport planlarından ayrı, üstün yada onları değiştiren bir özellik taşımaz. Aksine, orta vadeli (10 yıllık) transport planlarının tamamlayıcısıdır. Kısa vadede ise bölme bazında düzenlenen mikro (Acar, 1994) transport planlarının karar verme süreci için kantitatif teknikleri kullanır ve bölme bazında yapılacak üretim sistemleri seçimini işletme düzeyindeki amaçlara göre belirler. Üretim sistemleri seçiminde yalnızca üretim maliyetleri değil, aynı zamanda üretim faaliyetlerinin çevresel zararlarının azaltılması ile iş güvenliği ve işçi sağlığı gibi sosyal/kurumsal bileşenler de gözetilir.

Operasyonel planlama, şu yönleriyle transport planlama yaklaşımından ayrıcalık gösterir: Planlama süresi bakımından 12 aylık dönemi kapsamaktadır. Planlama alanı

bakımından ise yıl içinde hasat edilecek tüm bölmeleri, bölmecik bazında ele almaktadır. Yıl içinde alınacak eta miktarını obje edinmiştir ve planlama yörüngesi, sezonlara göre düzenlenmiştir. Eta, yıl içindeki 4 periyotta alınacaktır. Bu yönüyle, OP, üretim alanlarının yıl içindeki zamansal düzenlemesini yapar. Bu düzenlemede silvikültürel işlemleri (bakım, gençleştirme ve bularada uygulanan silvikültürel tekniği) temel alır.

Karar verme, OP' nın özünü oluşturur ve bu iş için kantitatif karar verme (doğrusal programlama gibi YA) tekniklerini kullanır. Üretim sistemlerinin seçimi üzerinde etkili olan topoğrafik ve teknik faktörlere göre önceden bir eliminasyon uygulanır. Parasal değeri tam olarak ortaya konulamamış olan ancak etkileri ispatlanmış olan ve üretim sistemlerinin seçiminde etkili olan çevresel ve sosyal faktörlerin de, maliyetlere dayalı sistem seçimi sürecine katılabilmesi için çok kriterli teknikleri kullanır.

Bu çalışma kapsamında, transport planlaması ile OP arasındaki farka bakıldığında her ikisinde de bölmeler için atanan uygun üretim sistemi kombinasyonları benzerlik göstermesine rağmen, operasyonel karar modeli ile sağlanan çözümün transport planı ile sağlanandan yaklaşık % 20' nin üstünde, ortalama üretim maliyetlerini azaltıcı yönde etkili olduğunun bulunması, bu yargıyı destekleyici yöndedir.

Operasyonel karar modelinin çözümlenmesinde ticari yazılımlar LP modellerinin çözümü için oldukça başarılı olmuştur. MIP yapılı modeller için de çoğu senaryolarda çözüm sağlayabilirken, katı kısıtlayıcıların eklendiği yada kaynak kısıtlarının daraltıldığı durumlarda ticari yazılımlar mümkün olan çözümler üretememiştir. Örneğin, MIP formülasyonu olan Model-2' de işgücünün 5000 saatin altında kullanılması halindeki senaryonun çözümü için 128 MB Ram Bellek' e sahip işlemcide 13 saat beklendikten sonra çözüm elde edilememiştir. Bu tip sorunlar için sezgisel yaklaşımlar geliştirilmiştir.

Sezgisel yaklaşım, zor ve çözümlenmesi çok uzun zaman alan yada mümkün olan tam sayılı çözümün sağlanamadığı katı problemler için optimale yakın sonuçlar vermesinden dolayı iyi bir çözüm tekniği olarak kabul edilmektedir (Dykstra, 1976; Weintraub vd., 1996; Weintraub and Bare, 1996; Sessions vd, 2001; Karlsson vd, 2002; Lan, 2001; Chung, 2003; Davis vd., 2000; Gunnarson vd, 2001). Bu çalışmada da bazı senaryoların temsil edildiği modeller için bu yöntem başvurulmuştur. MIP ile çözülebilen aynı problem için uygulanan sezgisel çok uzak değerlerde optimayı vermiştir. Burada, bir sezgisel programlamanın (bilgisayar rutini) geliştirilemediğinden dolayı kullanılan dal sınır algoritması ile lokal optimada takılıp kaldığı düşünülmektedir. MIP modelleri ile temsil edilen OP problemlerinde, lokal optimada çözümler üreten sezgisel (heuristic) yaklaşımlar

yerine, bulunan çözümden daha iyi bir çözüm olmayıncaya kadar arama stratejileri geliştirilerek global optima noktasında çözümler verebilen tabu arama, tavlama benzetimi, genetik algoritma gibi metaheuristic (kombine optimizasyon) algoritmalarının (Lokketangen, 1995; Bettinger vd., 1997; Murphy, 1998; Boston ve Bettinger, 1999; Clark vd., 2000; Sessions vd, 2001; Chung vd., 2001; Boyland, 2002; Başkent, 2001) kullanılması isabetli olabilir.

Operasyonel planlama sonucunda, üretim bölmelerinin periyotlara göre üretim sıralaması yapılarak yıllık iş akış planı elde edilmiştir. Operasyonel kararlar için kullanılan kantitatif karar verme tekniklerinde amaç fonksiyonu denklemi operasyon maliyetlerinin minimizasyonu lehine kurulmuş olup planlama sonucunda ekonomik hedefler başarılmıştır. Çok kriterli analizlerle operasyonların çevresel zararları azaltıcı yöntemlerle gerçekleştirilmesi sağlanmaya çalışılmıştır. Aynı süreçte, işçi sağlığı ve iş güvenliğini amaçlayan insancıl ve kurumsal faktörler de dikkate alınmış ve halihazırda sağduyu kurallarına dayalı yöntemlere göre operasyonel planlama ile bu hedefler başarılabilmıştır. Yıl içinde odun üretimi sırasında kullanılacak insan gücü ve makine gücü kaynaklarının ne kadar ve hangi bölmelerde ne zaman kullanılacağı planlanarak kaynakların rasyonel kullanımı sağlanmaya çalışılmıştır.

5. SONUÇLAR

Bu doktora çalışmasında, odun hammaddesi üretiminde yıllık operasyonel planlama modelinin yapısı (tasarım ve uygulanması) ortaya konulmuştur. Yıllık operasyonel planlama modeli; işletme şefliği bazında ara ve son hasılat etasının alınacağı bölmelerde, yıllık odun hammaddesi üretim planlarının periyotlara, üretim yöntemine ve üretim sistemlerine göre hazırlanmasının yöntemini tanıtmıştır.

Odun hammaddesi üretiminde, yıllık düzeyde operasyonel planlama metodolojisinin geliştirilmesi ve bu yönde bir model oluşturulması amacıyla yapılan bu çalışma ile;

- Odun hammaddesi üretim planlamasında alternatif üretim sistemleri arasından en uygunun seçilmesinde hem nitel hem de nicel değerlendirme açısından, kurgulanan model çalışabilmiş ve test alanında planlamaya konu bölmelerin uygun olan bir üretim sistemi ile uygun olan bir periyotta ve uygun olan üretim yöntemiyle üretilmesi yönünde operasyonel bir plan gerçekleştirilmiştir.
- Operasyonel kararların desteklenebilmesi amacıyla geliştirilen doğrusal programlama modelinde yarı sürekli değişkenler kullanılmış ve modelin bölünebilirlik özelliğinden dolayı bölmeleri üretim sistemlerine, periyotlara ve üretim yöntemlerine göre alan yada eta bakımından küçük parçalara ayırmıştır. Bu nedenle, üretim bölmeleri açısından bu modelin uygulanabilirliği şüpheli bulunmuştur. Bunun yerine tamsayı programlama modeli geliştirilmiştir. Bölmelerin herhangi bir periyotta, herhangi bir üretim yöntemiyle ve herhangi bir üretim sistemiyle “ya üretilmesi yada üretilmemesi” kararı analiz edilmiş ve MIP modelinin uygulanabilirliğine itibar edilmiştir. MIP modeline göre ortalama üretim maliyeti, LP modelinden % 10 daha fazladır. Buna rağmen, uygulama açısından MIP modeli, operasyonel karar modeli olarak kabullenilmiştir. Ancak, LP modelinin uygulanabilirliğinin garanti edilmesi halinde, öncelikle tercihi söz konusudur.
- Geliştirilen operasyonel planlama modelinde; topoğrafik ve teknik olarak üretim sistemlerinin tasarlanması, sürütme mesafeleri ve rampa yerlerinin belirlenmesi, çevresel ve kurumsal açıdan üretim sistemlerinin ağırlıklandırılması ve sonrasında da ekonomik olarak operasyon düzeninin analizinin yapılması bakımından,

adım adım ilerleme ve iyileştirme stratejisi uygulanmış ve odun hammaddesi üretim planlamasının optimizasyonu sağlanmıştır.

- Operasyon maliyetlerinin % 25' den daha büyük bir dilimini kapsayan bölmeden çıkarma maliyetlerinde; maliyetler üzerindeki etkisi kanıtlanmış sürütme mesafelerinin hesaplanması ve rampa yerlerinin optimizasyonu amacıyla düzgün şekilli olmayan eğimli arazi için CBS analizlerine dayalı bir hesaplama algoritması geliştirilmiştir. Böylece, gerçek ortalama sürütme mesafeleri henüz planlama aşamasında hesaplanabilmiştir.
- Matematiksel modelde gösterilemeyen çevresel ve sosyo-ekonomik göstergeler, çok kriterli analizler (AHP) sayesinde işlenerek, bir katsayı yardımıyla matematiksel modele dolaylı olarak sokulabilmiştir.
- Matematiksel modelin hazırlık aşamasında konuma bağlı analizlerin yapılmasıyla CBS' nin etkin kullanımı sağlanmıştır. Bu, bilgisayar destekli odun hammaddesi üretim planlaması açısından önemli olup CBS nin sunduğu konumsal bilgi, çevresel ve sosyal bilgi ile birleştirilerek çok kriterli analizlerde de işlenerek CBS – AHP –YA gibi modern planlama araçlarının bir arada kullanıldığı bir odun üretim planlaması gerçekleştirilebilmiştir.
- Matematiksel modelde hem ikili tamsayılar (0/1) hem de sürekli (ve/veya kesirli) sayılar kullanılarak farklı karar değişkenlerinin yer aldığı örnek bir planlama problemi elde edilmiştir. Ayrıca, üretim kayıp oranları da modelde amaç fonksiyonuna, üretim karar değişkenine bağlı ikili değişken olarak eklenmiştir.
- Matematiksel model aynı zamanda rampadan depolara bir transport modelini içerdüğinden, hangi bölmedeki ürünün hangi depoya taşınacağı belirlenebilmiştir.
- Operasyonel planlama yaklaşımı ile odun hammaddesi üretiminin yıl içindeki yada istenen herhangi zamandaki ekonomik ve teknik analizi, operasyonlar öncesinde yapılarak alınacak kararların desteklenmesi mümkün olabilecektir.
- Planlama modeli olarak karma tamsayılı doğrusal programlama modelinin seçilmesiyle ve planlama alanı için kabul edilen alternatif üretim sistemlerinin analiz edilmesiyle başparmak kuralı denilen bilindik aktüel işleyişe göre motorlu testereye bağlı olan mekanizasyon derecesi, toplam üretim miktarı başına % 65-75 oranında yükseltilebilmiştir. Zamansal açıdan ise insan işgücü kullanımı sınırlandırılmış ve 1344 saatlik toplam çalışma zamanında (toplam 29 641,8/ ekip-saat) yıllık ortalama 100 orman köylüsünün istihdamı sağlanmıştır. OP modelinin

kullanılabilirliği açısından uygun bulunmuştur. Çünkü, mekanizasyon düzeyinin yükseltilmesine rağmen orman köylülerine de istihdam sağlanabilmiştir.

- Operasyonel karar modeline bağlı planlama ile odun hammaddesi toplam ortalama üretim maliyetlerinin, halen uygulamada gerçekleştirilene göre % 4 ila % 30 arasında azalması beklenmektedir. Eğer, üretim kayıplarından dolayı meydana gelen satış geliri zararı dikkate alınmazsa, operasyonel planlama ile odun üretimi birim maliyeti (test alanında) en az % 4 azaltılabilmektedir. Buna karşın model, insan gücüne bağlı üretim sistemlerine göre, ortalama üretim maliyetlerini % 28 kadar azaltması bakımından avantaj sağlanabileceğini göstermiştir.
- Uzun (ulusal ormancılık planı veya kalkınma planı) ve orta vadeli ormancılık planlarının (amenajman, silvikültür) yıllık uygulamalarının ve kontrollerinin yapılması açısından ekonomik ve teknik bütünleşmeyi sağlayabilmektedir. OP aynı zamanda iş planı, iş programı, satış programı ve üretim programlarının yerine geçebilir yada onların eksikliklerini giderebilir.

Son olarak; DOİ'lerin yada yerini alabilecek özel/tüzel odun hammaddesi üreticilerinin ekonomik, teknik ve çevresel olarak kabul edilebilir bir üretim etkinliği için planlamaya gereksinimi vardır. Uzun ve orta dönemdeki hedefler için riskin ve belirsizliğin azaldığı yıllık yada sezonluk düzeydeki planlara ihtiyaç duyulur. OP, yıllık ve daha kısa dönemli bir planlama yaklaşımıdır. Bu tez çalışmasında kavramsal çerçevesi verilen planlama modeli, yıllık operasyonel planlama için oldukça uygundur. Gerek halihazır işleyişte gerekse odun üretim sistemlerinin yeniden tasarımında bu yöntem uygulanarak maliyet, sosyo-ekonomi ve çevresel kriterleri tatmin edici kararların alınması desteklenebilir. Bu modelde, başat amaç maliyet minimizasyonu olmasına rağmen, seçilecek üretim sistemlerinin diğer kriterlere koşut davranış bedelleri de dikkate alındığından; odun hammaddesi üretiminde çok yönlü yıllık operasyonel planlama modeli ortaya konulabilmiştir. Böylece Ho hipotezi reddedilmiş ve üretim maliyetlerini azaltıcı bir operasyonel planın yapılabilirliği ispatlanmıştır.

6. ÖNERİLER

Orman kaynaklarının sürdürülebilirliği için uzun ve orta dönemli planlama yaklaşımları kadar kısa vadeli operasyonel planlama yaklaşımları da gündeme getirilmelidir. İlk bakışta yalnızca yıllık üretim planı, satış planı yada üretim programı gibi görülen OP, çok kriterli analizlerin kullanılması ile çevresel ve sosyo-ekonomik kriterlere uygun üretim sistemlerinin seçimini araştırması bu planlama yaklaşımının üstünlükleri arasındadır. Bu nedenle, işletme bazında OP uygulamalarına ivedilikle geçilmelidir. Üretim programlarının yerine yada bunlarla birlikte OP modelinin kullanılması maliyetleri azaltıcı yönde avantajlar sağlayacaktır.

Bu bağlamda aşağıda bazı genel ve özel öneriler sunulmuştur.

Genel olarak;

- Odun hammaddesi üretiminin (klasik yada operasyonel tarzda) planlanması için veritabanı (CBS altlığı) ve operasyonel envanter yöntemleri geliştirilmelidir. CBS tabanlı konumsal veritabanı, grafik bilgiler için bir kere kurulabilir ve güncellenerek uzun yıllar kullanılabilir. Öznitelik bilgiler ise; piyasa taleplerinin analizi, dikili ağaç ölçü tutanakları, çalışabilir işgücü sayısı, makine parkı ve teknoloji düzeyi, orman yollarındaki değişim, meşcere özellikleri vb. açıdan her yıl yapılacak operasyonel envanter ile sağlanmalıdır.
- Yıllık odun taleplerinin belirlenebilmesi amacıyla yöresel bazda piyasa araştırılması yapılmalıdır. Bunun için orman işletmesi ile taleplerin yoğunlaştığı düzenli alıcılar arasında internet yada telefon ağına bağlı bir bilişim sistemi kurulmalıdır. Tarafımızdan kavramsal çerçevesi sunulan lojistik planlama (Eker ve Acar, 2003) hem operasyonel hem de ekonomik açıdan yararlı olabilir.
- Çevresel zararların tespiti için her bölgede pilot çalışmalar yapılmalıdır. En azından üretim operasyonlarının çevresel zararlarına ilişkin göstergeler belirlenmeli ve çevresel zararın maliyeti hesaplanabilmelidir.
- CBS ile birlikte, matematiksel programlama gibi sayısal karar verme tekniklerinin yer aldığı teknolojilerin yazılımı, donanımı ve kullanımı da orman işletmelerine kazandırılmalıdır.
- Bu çalışma ile, mekanizasyon seviyesini yükseltmenin (değişken maliyetlere göre) toplam ortalama üretim maliyetlerini azaltıcı yönde etki yaptığı görülmüştür. İleri

teknolojiye geçiş yada mekanizasyona hazırlık için birden fazla fonksiyonu olan ve kullanılabilirliği yüksek derecede olan kombine araçlar alınarak yatırım maliyetleri düşürülmelidir. OP metodolojisi ile yatırım maliyetleri yönünden uygun makinelerin seçimini yapmak da mümkündür. OP modeline yeni bir karar değişkenin eklenmesi ile bu sağlanabilir.

Özel olarak;

- Operasyonel planlamada ve içerdiği operasyonel karar modelinde çok fazla miktarda veri ve bilgiye ihtiyaç vardır. CBS iyi bir veritabanı aracı olarak kullanılabilir.
- Operasyonel karar modelinde üretim metotları seçeneği yalnızca iki üyeli; periyotlar 4 üyeli ve üretim sistemleri de 10 üyeli olarak alınmıştır. Ancak, bu indisler artırılarak OP' nın matris boyutu büyütülüp geniş hacimli problemler çözülebilir.
- Üretim etkenliğinin artırılması için her kooperatifin performansı belirlenmeli ve kooperatifler arasında rekabet hazırlanmalı ve matematiksel modelde indis olarak kooperatif yada ekip seçenekleri sunulabilmelidir. Bu, kalitenin yükselmesine neden olabilir.
- Tamsayılı çözümler için MIP modellerin kurulması gereklidir. Bunun içinde MIP çözücülerine gerek vardır. İşletme düzeyinde üretim alanlarının artması, üretim sistemi seçeneklerinin artması ve parametrelerin artması ile problemin çözüm zamanı artacağından mümkün olan çözümler elde edebilmek için Sezgisel (heuristic) algoritmalar ve bunu çalıştıracak programlar geliştirilmelidir. Ancak, bu çalışmada dal sınır algoritmasının kullanıldığı basit sezgisel; MIP' in optimal çözümüne yaklaşmadığı görüldüğünden metaheuristic tekniklerin kullanılması daha mantıklı olacaktır.
- Çevresel ve sosyo-ekonomik kriterler için; ormanların fonksiyonları ve beklenen amaçlar her işletme yada bölge için ağırlıklandırılmalıdır. Böylece, planlayıcının inisiyatifine gerek kalmaksızın, üretim sistemlerinin yada mikro düzeyde teknolojinin seçimi sırasında, çok kriterli analizlerin kullanımı uygulamada da geçerlik kazanabilir.

- Geliştirilen OP metodolojisinin uygulaması yapılamadığından, planlama yılında aktüel yöntemle gerçekleştirilen operasyonlar ile OP karşılaştırılmış ve OP nin uygunluğu kanıtlanmıştır.
- Bu çalışmada yalnızca odun üretimi dikkate alınmış, odun dışı ürünler ve odunların vasıflarına göre üretimi dikkate alınmamıştır. Başkaca çalışmalarda, işletmenin maliyete ve üretime konu olan tüm bileşenleri analiz edilmelidir.
- Burada yalnızca topoğrafik haritalardan elde edilen eş yükselti eğrili harita kullanılarak arazi sınıflandırması yapılmış, rampa yerleri seçilmiştir. Bu tür topoğrafik bilgiler, uydu görüntüleri ve hava fotoğrafları da kullanılarak analiz edilmelidir.
- Bu çalışmada, uygulayıcılar ve planlayıcılar açısından bir operasyon planının nasıl hazırlanması gerektiği konusunda kavramsal çerçeve verilebilmiştir. Bundan hareketle, gelecekteki çalışmalar açısından modüler bir karar destek sistemi ve kullanıcı ara yüzü geliştirilmelidir.

7. KAYNAKLAR

- Acar, H.H., 1994. Ormancılıkta Transport Planları ve Dağlık Arazide Orman Transport Planlarının Oluşturulması, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Doktora Tezi, 150 s., Trabzon
- Acar, H.H., 1997, Dağlık Arazide Orman Traktörleri ile Bölmeden Çıkarma Çalışmalarının İncelenmesi, TUBİTAK Doğa Dergisi, 21 (2), 195 -200
- Acar, H.H., Gül, A.U. ve Gümüş, S., 2000. Bölmeden Çıkarma çalışmalarında Toplam Maliyetin Minimizasyonu İçin Doğrusal Programlama Kullanımı, TUBİTAK-Doğa Dergisi, 24 (2000), 383-391
- Acar,H.H. ve Eker, M., 2001a. Orman Fidanlık ve Depo İşçilerinde Ergonomik Açından Antropometrik Özelliklerin Araştırılması, 8. Ulusal Ergonomi Kongresi, 25/26 Ekim 2001, İzmir, Bildiriler Kitabı, 229-240.
- Acar,H.H. ve Eker, M., 2001b. Ormancılıkta Karar Verme Süreçlerinde Orman Yol ve Üretim Planlarının Değerlendirilmesi, Kafkas Üniversitesi, Artvin Orman Fakültesi Dergisi, 2, 1 (1), 67-75
- Acar, H.H., ve Eker, M., 2002. Ergonomics in Forestry – A Challenge for Turkey and a Call for Partners, FORWORKNET UPDATE, December-2002, pp. 12.
- Acar, H.H., ve Eker, M., 2003. Traditional Logging Methods in Turkish Forestry and Technological Trends, Proceedings of the 2th International Scientific Conference FORTECHENVI, 26-30 May 2003, Bruno, pp. 9- 19.
- Acar, H.H., Eroğlu, H., 2004. Dağlık Araziden İnce Çaplı Odunların Fiberglas Oluk Sistemiyle Bölmeden Çıkarılması, KTÜ Projeleri No: 22.113.001.2, Trabzon, 36 s.
- Acar, N., 2001. Üretim Planlaması, MPM Yayınları No: 280, Ankara, 215 s.
- Akgül, A., 1998. Sistem Tasarımı ve Optimizasyon, Tisamat Basım Sanayi, Ankara, 240 s.
- Anonim, 2002. Eğirdir Orman İşletme Müdürlüğü Muhasebe Kayıtları
- Apaydın, A., 1996. Optimizasyon, A.Ü. F.F. Döner Sermaye İşletmesi Yayınları No: 41, Ankara, 387 s.,
- Aykut, T., 1978. Bolu Mıntıkasında Orman Ürünleri Taşımacılığının Süre Bakımından Planlanması, İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, A, 28 (1)
- Aykut, T., 1984. Orman Ürünleri Taşımacılığında Araç ve Teknikler, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları No: 3246/370, İstanbul, 100 s.

- Aykut, T., 1986. Orman Ürünlerinin Taşınmasında Mekanizasyon ve Verimler, Ormancılıkta Mekanizasyon ve Verimliliği I. Ulusal Sempozyumu, 8-12 Temmuz 1985, Bolu, MPM Yayın No: 339, s. 130-158,
- Bakır, M.A., Altunkaynak, B, 2003. Tamsayılı Programlama – Teori, Modeller ve Algoritmalar, Nobel Basımevi, Ankara, 927 s.
- Balcı, N., 2000. Toprak Koruması, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayın No: 947/439, 490 s.
- Başkent, E.Z., 1996. Türkiye Ormancılığı İçin Nasıl Bir Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) Kurulmalıdır? Ön Çalışma ve Kavramsal Yaklaşım, Özel Çalışma, KTÜ, Trabzon, 61 s.
- Başkent, E.Z., 1999. Türk-Alman Ormancılık Projesiyle Gündeme Gelen Amenajmanda Yeni Model'in Çağdaş Orman Amenajmanı Yaklaşımı Doğrultusunda Değerlendirilmesi – Bölüm 1, Orman Mühendisliği Dergisi, Ocak-Şubat, s.23-32
- Başkent, E.Z., 2001. Combinatorial Optimization in Forest Mangement Modelling, TUBİTAK-Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 25 (2001), 187-194.
- Bayoğlu, S. 1962. Çangal Bölgesinde Orman Nakliyatı ve Yol Sistemi Üzerine Araştırmalar”, Orman Genel Müdürlüğü Yayınları Sıra No: 334, Seri No: 19, Yenilik Basımevi, İstanbul , 142 s.
- Bayoğlu, S., 1972. Türkiye’ de Orman Nakliyatı ve Geliştirilmesi İmkanları Üzerine Bir Etüd, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları No: 1747/185, İstanbul, 73 s.
- Bayoğlu, S., Acar, H.H. ve Şentürk, N., 1993. Dağlık Arazide Bölmeden Çıkarma Araçlarında Maliyet Analizi ve Minimum Çalışma Süresinin Araştırılması, İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, B, 43 (1-2), 45-56
- Bayoğlu, S., 1996. Orman Nakliyatının Planlanması, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yayınları No:3941/8, İstanbul, 169 s.
- Berg, D.R. ve Schiess, P., 1996. Stand Level Setting Design – Biological Legacies in Clayoquot Sound, Clayoquot Sound Symposium, March 6-8 1996, Ahuosat, Flores Island, British Columbia, 74 p.
- Bettinger, P., Sessions, J. ve Boston, K., 1997. Using Tabu Search to Schedule Timber Harvests Subject to Spatial Wildlife Goals for Big Game, Ecological Modelling 94 (1997), 111-123
- Boston, K. ve Bettinger, P., 1999. An Analysis of Monte Carlo Integer Programming, Simulated Annealing and Tabu Search Heuristics for Solving Spatial Harvest Scheduling Problems, Forest Science 45(2), 292-301
- Boylard, M, 2002. Simulation and Optimization in Harvest Scheduling Models, March-30 2002, University of British Columbia, Vancouver, Canada.

- Branney, P., Dutson, T., 2003. Operational Planning –Forest Management Planning Code of Bhutan, Working Draft – Forest Resource Development Divison, Ministry of Agriculture, Thimphu-Bhutan, 44 p.
- Burger, D.H. ve Jannick, M.S., 1991. Analysis of Wood Procurement Strategies: Supplying Multiple Mills from Multiple Sources, Proceedings of the 1991 Symposium on Systems Analysis in Forest Resources, Ed. By Buford, M.A., March 3-6 Charleston, p.17-23.
- Chatterjee, N., 1982. Technology in Developing Countries-An Overview, FAO-Forestry Paper No:31, Rome
- Chung, W. ve Sessions, J., 2000. NETWORK 2000: A Program for Optimizing Large Fixed and Variable Cost Transportation Systems, Proc. of the Eighth Symposium on Systems Analysis in Forest Resources, Arthaud, G.J. (ed.). Sept 28-30, Aspen, Colorado.
- Chung, W., 2003. Optimization of Cable Logging Layout Using a Heuristic Algorithm for Network Programming, PhD Thesis, Oregon State University, 223p.
- Chung, W., Sessions, J. ve Heinimann, H.R., 2001. Optiization of Cable Harvesting Equipment Placement and Road Locations Using Digital Terrain Models, Proceedings the FAO/ECE/ILO Workshop of New Trends In Wood Harvesting with Cable Systems for Sustainable Forest Managemnet in The Mountains, 18-24 June 2001, Ossiach, Austria, pp. 247-252.
- Clark, M.M., Russell, D.M., McDonal ve T.P., 2000. A Three-Stage Heuristic for Harvest Scheduling with Access Road Network Development, *Forest Science* 46(2),204-218
- Clark, M.M., 1998. The Forest Harvesting problem: Integrating Operational and Tactical Planning, PhD Dissertation, Industrial and System Engineering, Auburn University, 296 p.
- Conway, S., 1982. Logging Practice, Oregon.
- Çepel, N., 1985. Toprak Fiziği, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayın No: 3313/374, İstanbul, 288 s.
- Davis, C.J., 1987. Planning Timber Harvest Activities With Geographic Information Decision-Support Systems, PhD Dissertations, Purdue University, 265 p.
- Davis, L.S., Johnson, K.N., Bettinger, P.S. ve Howard, T.E., 2001. Forest Management – To Sustain Ecological, Economic and Social Values, Mc Graw Hill, 4th. Edition, USA, 791 p.
- Davis, L. ve Liu, G., 1991. Integrated Forest Planning Across Multiple Owners and Decision Makers, *Forest Science* 37(1), 200-226
- Doğan, İ., 1995. Yöneylem Araştırması Teknikleri ve İşletme Uygulamaları, Bilim Teknik Yayınevi, Eskişehir, 553 s.

- Dykstra, D.P., 1976. Timber Harvest Layout by Mathematical and Heuristic Programming, PhD Thesis, Oregon State University, 299 p.
- Dykstra, D.P., 1984, "Mathematical Programming for Natural Resource Management", McGraw Hill Book Company, New York, 318 p.
- Dykstra, D.P. ve Heinrich, R., 1996. FAO Model Code of Forest Harvesting Practice, FAO Publications, Rome, 85 s.
- Dingil, S., 1979. Çeşitli Alan Koşullarında ve Çeşitli Boylarda Kızılcım Yapacak Yuvarlak Odununun Sürütülmesinin Birim Sürelerinin Saptanması, Ormançılık Araştırma Enstitüsü Teknik Bülteni 97, s. 23
- Eker, M. ve Acar, H.H., 2002a. An Assessment on the Utility of GIS-Based Decision Mechanism in The Wood Procurement Process, Proceeding of GIS' 2002-International Symposium on GIS, September 23-26, İstanbul, pp.225-234.
- Eker, M.ve Acar, H.H., 2002b. An Investigation on the Optimal Constitution of Timber Logistics of the Logging Systems in Turkish Forestry, Proceedings of Logistics of Wood Technical Production in The Carpathian Mountain, September 9-10, Zvolen, Slovakia, pp. 50-57.
- Eker, M. ve Acar, H.H., 2003. Operational Research in Forest Harvesting and Transportation Planning, EURO/INFORMS Joint International Meeting on New Opportunities for Operations Research, July 06-10, İstanbul, Abstract Book, p.181.
- Engür, O.M., 1996. Orman Ürünlerinin Hasadında Teknoloji Seçimi ve Mekanizasyon Olanakları, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Doktora Tezi, İstanbul, 216 s.
- Eraslan, İ.; Eler, Ü., 2003. Orman İşletmesinin Planlanması ve Denetimi, SDÜ Yayın No:35, Orman Fakültesi, Isparta, 408 s.,
- Erdaş, O., 1986. Odun Hammaddesi Üretimi, Bölmeden Çıkarma ve Taşıma Safhalarında Sistem Seçimi, Karadeniz Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi 9 (1-2), 91-113
- Erdaş, O., 1987. Uygulama Açısından Türkiye' de Odun Hammaddesi Üretim ve Orman Yollarında Transport İlişkileri, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi 10 (1-2), 51-63
- Erdaş, O., 1988. Aralama ve Boşaltma Kesimlerinde Bölmeden Çıkarma Problemleri, Orman Mühendisliği Dergisi 25 (4), 35-37
- Erdaş, O., 1997. Orman Yolları – Cilt I, KTÜ Orman Fakültesi Yayınları No:187/25, Trabzon, 390 s.,
- Epstein, R., Morales, P., Seron, J. ve Weintraub, A., 1999. Use of OR Systems in the Chilean Forest Industries, Interfaces 29 (1), 7-28

- ESRI, 2003. Arcview Extensions, www.esri.org 15 Eylül 2003
- FAO, 1977. Planning Forest Roads and Harvesting, FAO Forestry Paper No:2, Rome
- FAO, 1982a. Basic Technology in Forest Operations , FAO Forestry Paper No: 31, Rome
- FAO, 1982b. Appropriate Technology in Forestry, FAO Forestry Paper No: 33, Rome
- FAO, 1987. Appropriate Wood Harvesting in Plantation Forestry Paper 78, Rome.
- FAO, 1992. Cost Control in Logging Operations, FAO Forestry Paper No: 99, Rome
- FERIC, 1989. Terrain Classification For Canadian Forestry, P.GH. Mellgren oh The Forest Engineering Research Institute of Canada, Canadian Pulp and Paper Association, December 1980, Canada, 13 p.
- Fight, R.D., Gicqueau, A. ve Hartsough, B.R., 1999. Harvesting Costs for Management Planning for Pandoresa Pine Plantation, USDA Forest Service General Technical Report PNW – GTR – 476.
- Flatberg, T., Haavardtun , J., Kloster, O. ve Lokketangen, A., 2000. Combining Exact and Heuristic Methods for Solving a Vessel Routing Problem with Inventory Constraints and Time Windows, *Ricerca Operative* 29 (91), 55-68
- Frykman, B., 1982. Aspects of ergonomics and safety to be Considered in Choice of Technology in Forestry, FAO Forestry Paper 31, Rome.
- Gallis, C., 2000. Export Logistics of Newsprint Paper Reels – on Activity – Based Holistic Simulation Study, Logistics in the Forest Sector Optimal Dynamic Decisions in the Forest Sector at EURO 2001, The European Operational Research Conference, July 9-11, Expo&Conference Center, Erasmus University-Rotterdam
- Garland, J.J., 1997. Timber Harvesting Options, Logging-The Woodland Workbook, OSU, 2p., Oregon
- Gellerstedt, S, Dahlin, B., 1999. Cut-to-Length the Next Decade, *Journal of Forest Engineering*, July 1999. www.lib.unb.ca 25 Haziran 2001
- Geray, U., 1978. Ormancılıkta Gerçek Tarife Bedeli ve Bunun İşletmenin Entansitesini Tayin Hususunda Bir Kriter Olarak Kullanılması Üzerine Araştırmalar, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları No:2409/255, İstanbul, 157 s.
- Goulet, D.V., Iff, R.H. ve Sirois, D.L., 1979. Tree-to-Mill Forest harvesting Simulation Models: Where Are we?, *Forest Products Journal* 29 (10), 50-55
- Görecelioğlu, E., 2004. Orman Yolları – Erozyon İlişkileri, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları No: 4460/476, İstanbul, 185 s.

- Grace, M.J. ve Carter, E., 2000. Impact of Harvesting of Sediment and Runoff Production on a Piedmont Site in Alabama, ASAE Annual International Meeting, Midwest Express Center, July 9-12, 2000, Wisconsin, USA.
- Greulich, F.E., 1980. Average Yarding Slope and Distances on Settings of Simple Geometric Shape, Forest Science 26 (2), 195-202
- Greulich, F.E., 1991., Optimal landing Location on Flat Uniform Terrain, Canadian Journal of Forest Research 21, 573 – 584
- Greulich, F.R., Hanley, D.P., McNeel, J.F., Baumgartner, D., 1996. A Primer Timber Harvesting, Cooperative Extension College of Agriculture and Home Economics, Washington State University, Pullman – Washington.
- Gunnarsson, H., Lundgren J.T ve Rönnqvist, M., 2001. Supply Chain Modeling of Forest Fuel, LITH-MAT-R-2001-08. Linköping University, Dept. of Mathematics, Sweden
- Gunn, A.E., 1991. Some Aspects of Hierarchical Production Planning in Forest Management, Proceedings of the 1991 Symposium on Systems Analysis in Forest Resources, Ed. By Buford, M.A., March 3-6 Charleston, p.53-62
- Guignard, M., Ryu, C. ve Spielberg, K., 1998. Model Tightning for Integrated Timber Harvest and Transportation Planning, European Journal Operations Research 111, 448-460
- Gül, A.U. ve Acar, H.H., Topalak, Ö., 2000. Ormancılıkta Üretim Çalışmalarında Mekanizasyon İhtiyacının Doğrusal Programlama Yoluyla Belirlenmesi, TUBİTAK Doğa Dergisi 23, 375-382.
- Gümüş, S., 2003. Üretim, Milli Park ve Yangına Hassas Alanlarda Orman Yol Ağının Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Planlanması, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Trabzon, 172 s.
- Gürtan, H., 1975. Dağlık ve Sarp Arazili Ormanlarda Kesim ve Bölmeden Çıkarma İşlerinde Uğranılan Kayıpların Saptanması ve Bu İşlerin Rasyonalizasyonu Üzerine Araştırmalar, TUBİTAK Yayın No: 250, TOAG Seri No: 38, Ankara.
- Harstela, P., 1997. Decision Support Systems in Wood Procurement. A Review, Silva Fennica 31(2), 215-223
- Heinimann, H. R., 1994. Conceptual Design of A Spatial Decision Support System for Harvesting Planning, Proceedings of International Seminar on Forest Operations Under Mountainous Condition, July 24-27, China, pp. 19-27.
- Heinimann, H. R., Stampfer K., 2003. Harvest Layout Planning for High-Altitude Protection Forests, Austro2003: High Tech Forest Operations for Mountainous Terrain, October 5-9, 2003, Schlaegl – Austria
- ILO, 2000. Approaches to Labour Inspection in Forestry – Problems and Solutions, 112 p.

- Jirikowski, W., 1992. Consideration to Optimize Harvesting Operations, The Benefits and Economics FAO Seminar on The Environmental Impact of Forestry Harvesting on Steep Terrain, Ossiach.
- Jones, J.G.; Meacham, M.L.; Weintraub, A. ve Magendzo, A., 1991. A Heuristic Process for Solving Large – Scale, Mixed Integer Mathematical Programming Models for Site Specific Timber Harvest and Transportation Planning, Proceedings of the 1991 Symposium on Systems Analysis in Forest Resources, Ed. By Buford, M.A., March 3-6 Charleston, pp. 192 -199
- Jun, C., 2000. Design of An Intelligent Geographic Information System for Multi -Criteria Site Analysis”, URISA Journal 12 (3), 5-17
- Kantarci, M.D., 2000. Toprak İlimi, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları No: 4261/462, İstanbul, 420 s.
- Kantarci, M.D., 1991. Akdeniz Bölgesi’ nin Yetiştirme Ortamı Bölgesel Sınıflandırması, OGM Yayınları No: 668/64, Ankara.
- Kapucu, F., 2003. Orman Amenajmanı, KTÜ Orman Fakültesi Yayınları, Trabzon, 479 s.
- Kara, İ., 2000. Doğrusal Programlama, Bilim Teknik Yayınevi, Eskişehir, 269 s.
- Karaman, A., 1997. Doğu Karadeniz Yöresinde Farklı Çalışma Koşullarında Kesim ve Sürütme İşlerinde İşgüçlüğü Kriterlerinin Araştırılması ve Verim Üzerine Etkisinin Belirlenmesi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Trabzon, 221s.
- Karlsson, J., 2002. Optimization Models and Methods for Tactical and Operative Harvest Planning, Linköping Studies in Science and Technology Theses No: 979, Division of Optimization Department of Mathematics Linköping University, Sweden.
- Karlsson, J., Rönnqvist, M. ve Bergström, J., 2002. Annual Harvest Planning, Department of Mathematics, Linköping Inst. of Technology, LiTH-MAT-R-2002-15, Sweden.
- Kitagawa, K., 2002. How can We Develop the Plantation Forestry Sustainability? On-Going Experiences in Japan to Seek for a Solution, Proceedings of the International seminar on New Roles of Plantation Forestry, Requiring Appropriate Tending and Harvesting Operations, September 29 – October 5, Tokyo, Japan, pp. 27-32
- Keatley, T.A., 2000. Harvesting Options in Small Diameter Stands Operating on Gentle Slopes, M.S. Thesis, University of Idaho, Moscow
- Konukçu, M., 2001. Ormanlar ve Ormancılığımız, DPT Yayınları, No:2630, Ankara, 238 s.
- Köse, S., Yavuz, H. ve Gül, A.U., 2000. Yöneylem Araştırması ve Ormanlık Uygulamaları, KTÜ Orman Fakültesi Ders Tezleri Serisi No: 61, Trabzon, 155 s.

- Laffan, M., Jordan, G. ve Duhşg, N., 2001. Impacts on Soils from Cable-Logging Step Slopes in Northeastern Tasmania, Australia, Forest Ecology and Management 144, 91-99.
- Lan, Z., 2001. A Cost Model for Machine Operation in Wood Cutting and Extraction, ECOWOOD – Activities at the University of Helsinki Partner Number 4, 2001-03-22, QLK5-CT-1999-00991, Finland
- Larozé A. ve Greber B., 1991. Multi-Level Harvest Planning And Log Merchandising Using Goal-Programming, Proceedings of the 1991 Symposium on Systems Analysis in Forest Resources, Ed. By Buford, M.A., March 3-6, 199, Charleston, South Carolina p.24-30.
- Lebel, L.G.; Lowell, K.; McCullough, V.; Renaud, M. ve Theberge, S., 2003. Using Spatial Indices to Estimate Wood Procurement Costs for Various Cut Blocks Dispersion Patterns, Symposium for System Analysis in Forest Resources, October 7-9, Skamania Lodge, Stevenson, Washington, Abstracts – pp. 56,
- LeDoux, C.B., 1983. A Simulation the Comparative Costs and Benefits of Skyline Strip Thinning, PhD Thesis, Oregon State University, USA
- LINDO, 2004. Linear Programming - LINDO, www.ilog.com 17 Ocak 2004
- LIRA, 1987. A Handbook for Harvest Planning, New Zealand Logging Industry Research Association, New Zealand, 170 p.
- Liden, B. ve Rönnqvist, M., 2000. CustOpt – A model for Customer Optimizaed Timber in the Wood Chain, Department of Mathematics, Linköping Institute of Technology, LTH-MAT-R-2000-15, Sweden .
- Lihai, W., 1994. Methods for Comprehensively Evaluating Forest Harvesting Operation Plans. In: Sessions, J (Ed). Proceedings of The International Seminar on Forest Operations Under Mountainous Conditions. July 24-27 1994; Oregon, pp.301-323.
- Linehan, P.E., 1993. An Expert System for Timber Harvesting Decision Making in Maine's Commercial Timberlands, PhD Thesis, University of Maine, 343 p.
- Lockwood, C., 1998. Accessible Forest Planning Tools, McGregor Model Forest, Science Council of BC & Forest Renewal, SCBC#FR-96-97-065, 26 s.
- Lokketangen, A., 1995. Tabu Search as a Metaheuristic Guide for Combinatorial Optimization Problems, Instute of Informatics University of Bergen, Dr. Scient. Thesis, Norway.
- Lussier, L.J., 1961. Planning and Control of Logging Operations, Quebec, Forest Research Foundation, Laval Universty, 135 p.
- Markland, R.E. ve Sweigort, R.E., 1987. Quantitative Methods: Applications to Managerial Decision Making, John Wiley & Sons., USA

- Martell, D.E., Gunn, E. ve Weintraub, A. 1998. Forest Mangement Challenges for Operational Researchers, European Operational Research 104(1), 1-17
- Martin, A.J. ve P.E. Sendak, 1973. Operations Research in Forestry: A Bibliography, USDA Forest Service General Technical Report NE-8. Northeastern Forest Experiment Station Forest Service, 94 p.
- Mathews, D. M. 1942. Cost Control in the Logging Industry. McGraw-Hill.
- Matsuhashi, K., 1997. Application of Multi-Criteria Analysis to Urban Land-Use Planning", International Institute for Applied System Analysis, Interim Report IR-97-091, Austria, 18 p.
- McDill, M.E., Braze, J., 2001. Using the Branch and Bound Algorithm to Solve Forest Planning Problems with Adjacency Constraints, Forest Science 47(3), 403-418
- McNaughton, A., Rönqvist, M. ve Ryan, D., 2003. An Integrated Optimization Model for Forest Harvesting, Forest Research Institute, Rotorua, New Zealand, 25 p.
- Mendoza, G.A. 1997. Introduction to Analytic Hierarchy Process: Theory and Applications to Natural Resources Management. In Proceedings of 1997 ACSM/ASPRS Annual Convention. Vol 4. Resource Technology. April 7-10. Seattle, WA. pp.130-39.
- Miyata, E. S. ve Steinhilb, H.M., 1981. Logging System Cost Anaysis-Comparison of Method Used USDA, Research Paper – NC 208, North Central Forest Experiment Station, Minnesota, USA, 18 p.
- Mikkonen, E., 2002. Recent Developments and Research Nedds in Forest Operations management and Modelling, Proceedings of the International seminar on New Roles of Plantation Forestry, Requiring Appropriate Tending and Harvesting Operations, September 29 – October 5, Tokyo, Japan.
- Mossberg, C.G. 1982. Relations Between Technology on Forest Planning Systems, Example from Sweden, FAO, Forestry Paper No:31, Rome
- Murphy, G., 1998. Allocation of Stands and Cutting Patterns to Logging Crews Using Tabu Search Heuristics, Journal of Forest Engineering 9, 31-37.
- Nelson, J.D. and Finn, S.T., 1991. The Effects of Clearcut Size and Exclusion Periods on Harvest Levels and Road Network Development, Proceedings of the 1991 Symposium on Systems Analysis in Forest Resources, Ed. By Buford, M.A., March 3-6 Charleston, p.199-203
- Oborn, R.M.R., 1996. A Mixed-Integer Programming Model for Tactical Forest Operations Planning, Proceedings of the Meeting on Planning and Implementing Forest Operations to Achive Sustainabl Forests, Ed. by C.R. Blinn, M.A. Thompson, COFE - 19th Annual Meeting and IUFRO, July 29 – August 1., USA, pp.201-212.

- OGM, 1996. Asli Orman Ürünlerinin Üretim İşlerle Ait 288 Sayılı Tebliğ, Ankara.
- OGM, 2004. Orman Genel Müdürlüğü 2004 Yılı Döner Sermaye Bütçesi, Çevre ve Orman Bakanlığı OGM/APK Dairesi Başkanlığı, Şubat-2004, Ankara, 127 s.
- Olsen, E.D., 1983. Avoiding Two Errors in Estimating Logging Costs, Transaction of ASAE 26 (5), 1324 – 1326
- OÖİKR, 2001. VIII. Beş Yıllık Kalkınma Planı–Ormancılık Özel İhtisas Komisyonu Raporu, DPT, www.dpt.org 18 Aralık 2001
- Ortiz, D.M.A., Olsen, E.D. ve Kellogg, L.D., 1997. Simulating A Harvester – Forwarder Softwood Thinning: A Software Evaluation, Forest Products Journal, 47 (5), 36-41.
- Öncer, M., 1991. Orman Ürünleri Sanayiinde Üretim Planlaması ve Kontrolü, MPM Yayın No: 443, Ankara, 72 s.
- Özçamur, M., 1981. Bölmeden Çıkarmada Çeşitli Makinaların Zaman Verim ve Masraf Yönünden Araştırılması, KTÜ Orman Fakültesi Yayınları No 132/14, 112 s.
- Peters, P.A., 1978. Spacing of Roads and Landings to Minimize Timber Harvest Cost, Forest Science 24 (2), 209-217
- Powell, L.H., 1979. Plannig Guide for Steep Slope Logging, Proceedings of Symposium on Mountain Logging”, Ed. by W. Carson, J. Jorgensen, H. Lysons, IUFRO, 10-14 September, University of Washington.
- Pulkki, R., 1984. A Spatial Database – Heuristic Programming System for Aiding Decision-Mkaing in Long Distance Transport of Wood, Acta Forestelia Fennica 188, 1-89.
- Rapp, J., Shear, T. ve Robinson, D., 2001. Soil, Groundwater ans Floristics of a Southeastern United States Blackwater Swamp 8 Years After Clearcutting With Helicopter and Skidder Extraction of the Timber, Forest Ecology and Management 149, 241 – 252
- Rardin, R.L., 1998. Optimization in Operation Research, Prentice Hill, USA, 905 p.
- Richards, E.W. ve Gunn, E.A., 2000. A Model Tabu Search Method to Optimize Stand Harvest and Road Construction Schedules”, Forest Science 46 (2), 188-203
- Robak, E.W., 1984. Toward a Microcomputer-Based DSS for Planning Forest Operations, Interfaces 14 (5), 105-111
- Robak, E.W., 1990. Integrated Forest Operations Planning, Forest Modelling Symposium, 13-15 March 1989, Canada
- Robak, E.W., 1996. Integrated Forest Management System (IFMS) Designs for North American Forest Product Companies” Proceedings of the Meeting on Planning and

- Implementing Forest Operations to Achieve Sustainable Forests, Ed. by C.R. Blinn, M.A. Thompson, COFE - 19th Annual Meeting and IUFRO, July 29 – August 1, 1996, Michigan, USA, pp. 244-254.
- Reimer, D.R., 1979. An Operational Computer Assisted Forest Engineering System, Proceedings of Symposium on Mountain Logging, Ed. by W. Carson, J. Jorgensen, H. Lysons, IUFRO, 10-14 September, University of Washington.
- Rönnqvist, M. ve Westerlund, A., Carlsson, D., 1999. Extraction of Logs in Forestry Using Operations Research and Geographical Information Systems, Proceedings of the 32. Hawaii International Conference on System Sciences -1999.
- Reisinger, T.W. ve Davis, C.J., 1985. Using a Geographic Information System to determine Operable Area – a Trafficability Approach, Proceedings of the 8th Annual Council on Forest Engineering Meeting, August 18-22, California.
- Rummer, B.; Baumgras, J. ve McNeel, J., 1999. Forest Operations for Ecosystem Management, Wood Utilization in Ecosystem Management Project of the USDA Forest Service, Forest Product Laboratory, www.fs.fed.us 15Ekim 2003
- Rummer, B., 2002. TIMBR-3: Forest Operations Technology, USDA Southern Forest Resource Assessment Draft Report, www.srs.fs.fed.us 15 Haziran 2002
- Saaty, T., 1989. Multicriteria Decision Making: The Analytic Hierarchy Process, RWS Publication, Pittsburg, 219 s.
- Samset, I., 1979a. The Transport Network Terminology and Definitions, Proceedings of Symposium on Mountain Logging, Ed. by W. Carson, J. Jorgensen, H. Lysons, IUFRO, 10-14 September, University of Washington.
- Samset, I., 1979b. The Accessibility of Forest Resources, Proceedings of Symposium on Mountain Logging”, Ed. by W. Carson, J. Jorgensen, H. Lysons, IUFRO, 10-14 September, University of Washington.
- Schmoldt, D.L. ve Peterson, D.L., 1997. Using The Analytic Hierarchy process for Decision Making in Ecosystem Management, Analysis Notes, January 1997, Volume 7, Issue 1, WO/EM Analysis Center, Fort Collins, 22 p.
- Schuster, E.G., Leafers, L.A. ve Thompson, J.E., 1993. A Guide to Computer Based Analytical Tools for Implementing National Forest Plans, USDA Forest Service, Intermountain Research Station General Technical Report, INT-296.
- Seçkin, Ö.B., 1978. Demirköy Karamanbayırı Devlet Orman işletmesi Çakmaktepe Bölgesi Yol Şebekesinin Planlama Tekniği Bakımından Araştırılması, OGM Yayınları No: 622/132, İstanbul.
- Seçkin, Ö.B., 1982. Orman Nakliyatında Yükleme ve Boşaltma İşleri Üzerine Araştırmalar, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları No. 2905/310

- Sessions, J., W. Chung, ve H.R. Heinimann. 2001. New Algorithms for Solving Large-Scale Harvesting and Transportation Problems Including Environmental Constraints. Proceedings of the FAO/ECE/ILO Workshop on New Trends in Wood Harvesting with Cable Systems for Sustainable Forest Management in Mountains, June 18-24, Ossiach, Austria, pp. 253-258.
- Sessions, J. ve Guangda. L. 1987. Deriving optimal road and landing spacing with microcomputer programs. Western J of Applied Forestry 2 (3), 94-98.
- Shaffer, R.M., 1998. A Logger's Guide Forest Planning, Virginia Tech Publication Number 420, 88 p.
- Shemwetta, D.T.K., 1997. Comprehensive Timber Harvest Planning for Plantation Forests on Difficult Terrain: Sokoine University of Agriculture Training Forest, Tanzania, PhD Thesis, Oregon State University, 203 s.
- Sianturi, M., 2000. Operations Research Applied to Forestry Management. MSc Thesis, The University of Manitoba.
- Soykan, B., 1978. Ormancılıkta Transport Sorunlarının Çözümü. KÜ-Orman Fakültesi Dergisi 1 (2), 17-32
- Staaf, K.A.G., 1984. Tree Harvesting-General, Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht/Netherlands, 371 p.
- Stampfer, K ve Steinmüller, T., 2001. A new Approach to derive A Productivity Model for The Harvester -Valmet/911 Snake", The International Mountain Logging and 11the Pacific Northwest Skyline Symposium, September, Oregon.
- Suddarth, SK.; Herrick. A.M. 1964. Average Skidding Distance for Theoretical Analysis of Logging Costs. Research Bulletin 789 Purdue University Experiment Station.
- Sundberg, U. ve Silversides, C.R., 1988. Operational Efficiency in Forestry, Kluwer Academic Publishers, 216 p.
- Şenel, M., 1997. Türkiye Jeoloji Haritaları No:14-ISPARTA – J 11 Paftası, MTA Jeoloji Etüdleri Dairesi, Ankara
- Tavşanoğlu, F., 1964. Orman Transport Tesisleri ve Taşıtları, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları No: 1069/95, İstanbul
- Taha, H.A., 2000. Yöneylem Araştırması, Çev. Baray, Ş.A. ve Esnaf Ş., Literatür Yayınları: 43, 905 s., İstanbul
- Türker, M.F., 2000. Orman İşletmeciliği Ders Notu, KTÜ Ders Notları Yayın No,59, Trabzon, 226 s.
- Tufts, R.A., 1997. Productivity and Cost of The Ponsie 15-Series, Cut-To-Length Harvesting System in Pine Plantations, Forest Products Journal 47(10), 39-46

- Tucek, J., 1995. Computer Aided Forest Roads (Localization) and Forest Operations Planning. XX. IUFRO Congress, S3.06 Meeting, Tampere, IUFRO XX. World Forestry Congress.
- Tucek, J. ve Pacola, E., 1999. Algorithms for Skidding Distance Modelling on a Raster Digital Terrain Model, Journal of Forest Engineering 10(1), 67-79.
- URL-1, 2003, TC Merkez Bankası, www.tcmb.gov.tr 16 Şubat 2003
- URL-2, 2001. PPharvest, www.srs.fs.fed.us 08 Aralık 2001
- Utku, M., 1990. Isparta İklim Etüdü, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, 149 s.
- Varma, K.V., Ferguson, I. ve Wild, I., 2000. Decision Support System for The Sustainable Forest Management, Forest Ecology and Management 128, 49-55
- Vidrine, C.G., DeHoop C. ve Lanford, B.L., 1999. Assessment of Site and Stand Disturbance from Cut-To-Length Harvesting, 10th. Biennial Southern Silvicultural Research Conference, February 16-18 1999, Shreveport, LA.
- Weintraub, A. ve Cholaky, A., 1991. A Hierarchical Approach to Forest Planning, Forest Science 37 (2), 439-460
- Weintraub, A., Barahona, F. ve Epstein R., 1994a. A Column Generation Algorithm for Solving General Forest Planning Problems with Adjacency Constraints, Forest Science 40 (1), 42-161
- Weintraub, A., Jones, G., Magendzo, A., Meacham, M. ve Kirby, M.; 1994b. A Heuristic System to Solve Mixed Integer Forest Planning Models, Operations Research, 42(6), 1010-1024
- Weintraub, A., ve Davis, L., 1996. Hierarchical Planning in Forest Resource mangement: Defining the Dimensions of the Subject Area, Proceedings of Workshop on Hierarchical Approaches to Forest Management in Public and Private Organizations, Ed. by Martell, D.L.; Davis, L.S.; Weintraub, A., Petawata national Forestry Institute, Information Report PI-X-124, 15 p., Canada
- Weintraub, A., Epstein, R., Morales, R., Seron, J. ve Traverso, P., 1996. A Truck Scheduling System Improves Efficiency in the Forest Industries, Interfaces 26 (4), 1-12.
- Weintraub, A. ve Bare, B., 1996. New Issues Forest Land Management from an Operations Reserach Perspective, Interfaces 26 (5), 9-25
- Weintraub, A., Epstein, R., Murphy, G. ve Manley, B., 2000a. The Impact of Environmental Constraints on Short Term Harvesting: Use of Planning Tools and Mathematical Models, Annals of Operations Research 95, 41-66

- Weintraub, A., Church, R.I., Murray, A.T. ve Guignard, M., 2000b. Forest Management Models and Combinatorial Algorithms: Analysis of State-of-the-art, Annals of Operations Research, 96, 271-285.
- Weintraub, A. ve Hof J., 2002. Forestry Industry, Handbook of Applied Optimization Ed. By P. M. Pardalos and M.G.C., pp. 719-729
- Weintraub, A., 2003. Modelling and Algorithmic Challenges in Forestry: Twenty Open Problems, EURO/INFORMS Joint International Meeting on New Opportunities for Operations Research, July 06-10, İstanbul, Abstract Book, p. 24
- Yıldırım, M., 1989a. Ormancılıkta İş Etüdü, MPM Yayınları No. 389, Ankara, 83 s.
- Yıldırım, M., 1989b. Hasat İşlerinde Sınırlayıcı Faktörler, İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi B, 39 (4), İstanbul.
- Young, G.G., 1979. "A Computer System for Planning of Logging in Mountainous Terrain", Proceedings of Symposium on Mountain Logging", Ed. by W. Carson, J. Jorgensen, H. Lysons, IUGRO, 10-14 September, University of Washington.

8. EKLER



Ek Tablo 1. Yarı süreklili sayılarla temsil edilen modelde üretim karar değişkenlerine ait 25 nolu kısım açıklaması

$p = 1$		$u = 1$		$u = 2$		$p = 2,3,4$		KISIT	HESAP DEĞİŞKENİ
$s = 1$	$s = 2, \dots, s = 10$	$s = 1, \dots, s = 10$	$s = 1, \dots, s = 10$	$s = 1, \dots, s = 10$	$s = 1, \dots, s = 10$	$s = 1, \dots, s = 10$	$s = 1, \dots, s = 10$		
$X_{1111} * ETA_1$	$X_{1112} * ETA_1$	$X_{1111} * ETA_1$	$X_{1112} * ETA_1$	$X_{1111} * ETA_1$	$X_{1112} * ETA_1$			= 4306	BETA ₁
$X_{2111} * ETA_2$	$X_{2112} * ETA_2$	$X_{2111} * ETA_2$	$X_{2112} * ETA_2$					= 8625	BETA ₂
$X_{3111} * ETA_3$	$X_{3112} * ETA_3$							= 5026	BETA ₃
$X_{4111} * ETA_4$	$X_{4112} * ETA_4$							= 751	BETA ₄
$X_{5111} * ETA_5$	$X_{5112} * ETA_5$							= 557	BETA ₅
$X_{6111} * ETA_6$	$X_{6112} * ETA_6$							= 270	BETA ₆
$X_{7111} * ETA_7$	$X_{7112} * ETA_7$							= 818	BETA ₇
$X_{8111} * ETA_8$	$X_{8112} * ETA_8$							= 575	BETA ₈
$X_{9111} * ETA_9$	$X_{9112} * ETA_9$							= 656	BETA ₉
$X_{10111} * ETA_{10}$	$X_{10112} * ETA_{10}$							= 693	BETA ₁₀
$X_{11111} * ETA_{11}$	$X_{11112} * ETA_{11}$							= 670	BETA ₁₁
$X_{121111} * ETA_{12}$	$X_{121112} * ETA_{12}$			$X_{121110} * ETA_{12}$	$X_{121120} * ETA_{12}$			= 585	BETA ₁₂

Ek Tablo 2. Yarı süreklî sayılarla temsil edilen modelde üretim karar değişkenlerine ilişkin 27 nolu kısımdan açıklaması

		$p = 1$										$p = 2,3,4$		KISIT							
		$u = 1$					$u = 2$					$u = 1,2$	$s = 1, \dots, 10$								
$s=1$	$s=2$	$s=3$	$s=4$	$s=5$	$s=6$	$s=7$	$s=8$	$s=9$	$s=10$	$s=1$	$s=2$	$s=3$	$s=4$	$s=5$	$s=6$	$s=7$	$s=8$	$s=9$	$s=10$	$X11210$	
$X1111$	$X1112$	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	$X11110$	$X1121$	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	$X11210$
$X2111$	$X2112$	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
$X3111$	$X3112$	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
$X4111$	$X4112$	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
$X5111$	$X5112$	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
$X6111$	$X6112$	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
$X7111$	$X7112$	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
$X8111$	$X8112$	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
$X9111$	$X9112$	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
$X10111$	$X10112$	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
$X11111$	$X11112$	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
$X12111$	$X12112$	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	$X121110$	$X12121$	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	$X121210$

Ek Tablo 3. Taşıma karar değişkenlerine ilişkin 29 ve 30 nolu kısıdın açıklaması (denge/balans kısıdı)

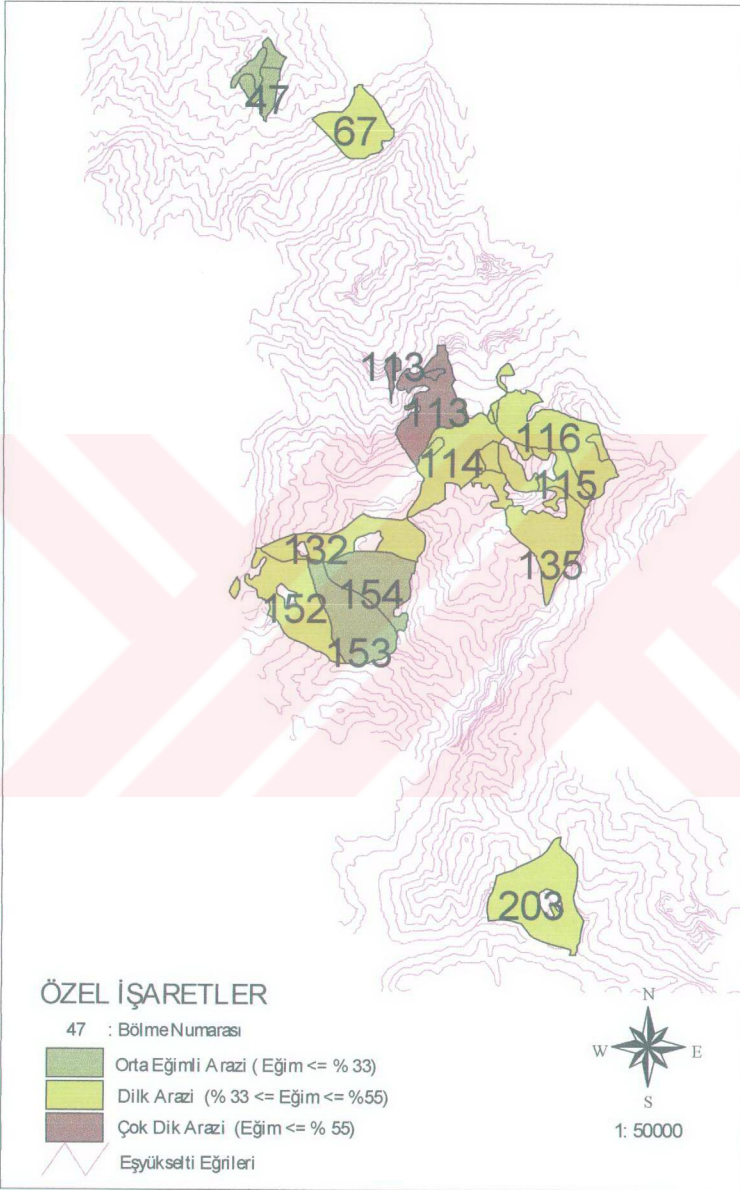
r=1	p = 1										p=2,3,4		KISIT
	u = 1					u = 2					u=1,2		
	r=2	r=3	r=4	r=5	r=6	r=7	r=8	r=1	r=8	r=8	r=1,2	r=1,2,3,4	
Y1111	Y1112	Y1112	Y1112	Y1112	Y1118	Y1118	Y1121	Y1128	Y1128	Y1128	Y1128	Y1128	≤ BETA ₁
Y2111	Y2112	Y2112	Y2112	Y2112	Y2118	Y2118	Y2121	Y2128	Y2128	Y2128	Y2128	Y2128	≤ BETA ₂
Y3111	Y3112	Y3112	Y3112	Y3112	Y3118	Y3118	Y3121	Y3128	Y3128	Y3128	Y3128	Y3128	≤ BETA ₃
Y4111	Y4112	Y4112	Y4112	Y4112	Y4118	Y4118	Y4121	Y4128	Y4128	Y4128	Y4128	Y4128	≤ BETA ₄
Y5111	Y5112	Y5112	Y5112	Y5112	Y5118	Y5118	Y5121	Y5128	Y5128	Y5128	Y5128	Y5128	≤ BETA ₅
Y6111	Y6112	Y6112	Y6112	Y6112	Y6118	Y6118	Y6121	Y6128	Y6128	Y6128	Y6128	Y6128	≤ BETA ₆
Y7111	Y7112	Y7112	Y7112	Y7112	Y7118	Y7118	Y7121	Y7128	Y7128	Y7128	Y7128	Y7128	≤ BETA ₇
Y8111	Y8112	Y8112	Y8112	Y8112	Y8118	Y8118	Y8121	Y8128	Y8128	Y8128	Y8128	Y8128	≤ BETA ₈
Y9111	Y9112	Y9112	Y9112	Y9112	Y9118	Y9118	Y9121	Y9128	Y9128	Y9128	Y9128	Y9128	≤ BETA ₉
Y10111	Y10112	Y10112	Y10112	Y10112	Y10118	Y10118	Y10121	Y10128	Y10128	Y10128	Y10128	Y10128	≤ BETA ₁₀
Y11111	Y11112	Y11112	Y11112	Y11112	Y11118	Y11118	Y11121	Y11128	Y11128	Y11128	Y11128	Y11128	≤ BETA ₁₁
Y12111	Y12112	Y12112	Y12112	Y12112	Y12118	Y12118	Y12121	Y12128	Y12128	Y12128	Y12128	Y12128	≤ BETA ₁₂

Ek Tablo 4. Bölme-Depo Arası Taşıma Maliyeti Katsayıları

Bölme No	Uzun boy Tomruk Üretim Metodu (Yhp2r)					Normal Boy Tomruk Üretim Metodu (Ybp1r)			
	I. Periyot	II Periyot	III: Periyot	IV. Periyot		I. Periyot	II Periyot	III: Periyot	IV. Periyot
47	3,294574	2,634575	2,521883	3,13602	4,118217	3,293219	3,152353	3,920025	
47	3,389381	2,71039	2,594455	3,226265	4,236727	3,387987	3,243068	4,032832	
47	3,85157	3,079989	2,948244	3,666211	4,814462	3,849986	3,685305	4,582763	
47	3,958229	3,165281	3,029888	3,767736	4,947786	3,956601	3,78736	4,709671	
67	3,057554	2,445037	2,340452	2,910407	3,821942	3,056296	2,925565	3,638009	
67	3,116809	2,492422	2,38581	2,96681	3,896011	3,115527	2,982262	3,708513	
67	3,626401	2,899928	2,775885	3,451878	4,533001	3,62491	3,469856	4,314848	
67	3,685656	2,947312	2,821243	3,508282	4,60707	3,68414	3,526553	4,385352	
203	2,820534	2,255499	2,159022	2,684794	3,525668	2,819374	2,698777	3,355993	
203	2,915342	2,331314	2,231594	2,775039	3,644178	2,914143	2,789492	3,468799	
203	3,401232	2,719867	2,603526	3,237546	4,251541	3,399834	3,254408	4,046932	
203	3,484189	2,786205	2,667027	3,316511	4,355237	3,482756	3,333784	4,145638	
113	3,045703	2,43556	2,331381	2,899127	3,807129	3,04445	2,914226	3,623908	
113	2,986448	2,388176	2,286023	2,842723	3,73306	2,98522	2,857529	3,553404	
113	3,294574	2,634575	2,521883	3,13602	4,118217	3,293219	3,152353	3,920025	
113	3,61455	2,890451	2,766814	3,440598	4,518188	3,613064	3,458517	4,300747	
113	2,488707	1,990146	1,905019	2,368936	3,110883	2,487683	2,381274	2,96117	
113	3,863421	3,089465	2,957316	3,677491	4,829276	3,861832	3,696644	4,596864	
114	2,962746	2,369222	2,26788	2,820162	3,703433	2,961528	2,83485	3,525203	
114	3,104958	2,482945	2,376738	2,95553	3,881197	3,103681	2,970923	3,694412	
114	3,306425	2,644052	2,530954	3,147301	4,133031	3,305065	3,163693	3,934126	
114	3,531593	2,824113	2,703313	3,361633	4,414492	3,530141	3,379141	4,202041	
114	3,673805	2,937835	2,812171	3,497001	4,592256	3,672294	3,515214	4,371251	
114	3,875272	3,098942	2,966387	3,688772	4,84409	3,873678	3,707984	4,610965	
115	2,844236	2,274453	2,177165	2,707356	3,555295	2,843066	2,721456	3,384194	
115	3,436785	2,748298	2,630741	3,271388	4,295982	3,435372	3,288426	4,089235	
115	3,413083	2,729344	2,612598	3,248827	4,266354	3,41168	3,265747	4,061033	
115	3,993782	3,193711	3,057102	3,801578	4,992227	3,992139	3,821378	4,751973	
116	2,903491	2,321838	2,222522	2,763759	3,629364	2,902297	2,778153	3,454698	
116	3,460487	2,767251	2,648884	3,293949	4,325609	3,459064	3,311105	4,117437	
116	3,460487	2,767251	2,648884	3,293949	4,325609	3,459064	3,311105	4,117437	
116	3,958229	3,165281	3,029888	3,767736	4,947786	3,956601	3,78736	4,709671	
132	2,844236	2,274453	2,177165	2,707356	3,555295	2,843066	2,721456	3,384194	
132	3,318276	2,653529	2,540026	3,158581	4,147844	3,316911	3,175032	3,948227	

Ek Tablo 4' ün Devamı

132	3,199766	2,55876	2,44931	3,045775	3,999707	3,19845	3,061638	3,807219
132	3,436785	2,748298	2,630741	3,271388	4,295982	3,435372	3,288426	4,089235
132	3,875272	3,098942	2,966387	3,688772	4,84409	3,873678	3,707984	4,610965
132	3,744911	2,994697	2,8666	3,564685	4,681139	3,743371	3,58325	4,455856
135	2,927193	2,340791	2,240665	2,78632	3,658991	2,925989	2,800832	3,4829
135	3,057554	2,445037	2,340452	2,910407	3,821942	3,056296	2,925565	3,638009
135	3,401232	2,719867	2,603526	3,237546	4,251541	3,399834	3,254408	4,046932
135	3,49604	2,795682	2,676098	3,327791	4,37005	3,494602	3,345123	4,159739
135	3,61455	2,890451	2,766814	3,440598	4,518188	3,613064	3,458517	4,300747
135	3,97008	3,174757	3,038959	3,779017	4,9626	3,968447	3,798699	4,723771
152	2,986448	2,388176	2,286023	2,842723	3,73306	2,98522	2,857529	3,553404
152	3,12866	2,501898	2,394881	2,978091	3,910825	3,127373	2,993602	3,722614
152	3,022001	2,416606	2,313238	2,876565	3,777501	3,020758	2,891547	3,595707
152	3,922676	3,13685	3,002673	3,733894	4,903345	3,921062	3,753341	4,667368
152	3,555295	2,843066	2,721456	3,384194	4,444119	3,553833	3,40182	4,230243
152	3,685656	2,947312	2,821243	3,508282	4,60707	3,68414	3,526553	4,385352
152	3,590848	2,871497	2,748671	3,418036	4,48856	3,589371	3,435838	4,272545
152	4,479672	3,582264	3,429035	4,264085	5,59959	4,47783	4,286293	5,330106
153	2,844236	2,274453	2,177165	2,707356	3,555295	2,843066	2,721456	3,384194
153	3,104958	2,482945	2,376738	2,95553	3,881197	3,103681	2,970923	3,694412
153	3,484189	2,786205	2,667027	3,316511	4,355237	3,482756	3,333784	4,145638
153	3,898974	3,117896	2,98453	3,711333	4,873717	3,89737	3,730663	4,639166
153	3,401232	2,719867	2,603526	3,237546	4,251541	3,399834	3,254408	4,046932
153	3,673805	2,937835	2,812171	3,497001	4,592256	3,672294	3,515214	4,371251
153	4,041186	3,231619	3,093388	3,846701	5,051482	4,039524	3,866735	4,808376
153	4,467821	3,572787	3,419963	4,252804	5,584776	4,465983	4,274954	5,316005
154	2,832385	2,264976	2,168093	2,696075	3,540481	2,83122	2,710117	3,370094
154	3,152362	2,520852	2,413024	3,000652	3,940452	3,151065	3,01628	3,750815
154	3,389381	2,71039	2,594455	3,226265	4,236727	3,387987	3,243068	4,032832
154	3,721209	2,975743	2,848457	3,542123	4,651511	3,719679	3,560572	4,427654



Ek Şekil 1. Bölmelerin eğim gruplarına göre Fonksiyonel Arazi Sınıfları haritası



Ek Şekil 2. Motorlu testereye monteli kabuk soyma aleti

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Eker, 1974 yılında Antalya' da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini burada tamamladı. 1992 Yılında KTÜ Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü'nde lisans öğrenimine başladı. 1996 Yılında, "Onur Öğrencisi" olarak mezun oldu. Aynı yıl SDÜ Orman Fakültesi'nde Yüksek Lisans öğrenimine ve Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı. 1999 Yılında Yüksek Lisansını tamamladı ve aynı yılın sonunda YÖK kanununun 35. maddesi hükmünce KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı'nda doktora yapmak üzere, KTÜ Orman Fakültesi'ne görevlendirildi.

Eker, çok sayıda ulusal ve uluslar arası bildiri ve makaleye sahiptir. Halen doktora öğrenimini sürdürmektedir (2004). Evli ve bir çocuk babası olup, İngilizce bilmektedir.