

## Ormancılıkta Odun Hammaddesi Üretiminde Yıllık Operasyonel Planlama Modelinin Geliştirilmesi

M. EKER<sup>1</sup>, H. H. ACAR<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, ISPARTA

<sup>2</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, TRABZON

**Özet:** Bu çalışmada, odun hammaddesi üretimi için 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 ölçütlere uygun bir planlama stratejisi hedeflenmiştir. Çevresel ve kurumsal değişkenler, niteliklerine göre değerlendirilmiş ve bu değerlendirme için çok ölçütlü analizlerden, Analitik Hiyerarşi Süreci kullanılmış ve elde edilen sonuçlar, nicel değerlere bir katsayı olarak eklenmiştir. Operasyonel kararların modellenmesi ve optimizasyonu için doğrusal ve tamsayı programlama teknikleri kullanılmıştır.

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

Bu çalışma ile, 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 ortaya konulmuştur.

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

## Development of Annual Operational Planning Model for Timber Harvesting

**Abstract:**The aim of this study was to minimize total average harvest unit costs by means of developing an operational harvest planning method 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 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.

The annual harvest planning model was tested with real data on sloping harvest area, in Aşağıgökdere Forest District. 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.

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. This model could minimize the annual average unit cost from %4 to % 30 as directly and indirectly.

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

### Giriş

Ormancılıkta Odun Hammaddesi Üretimi (OHÜ); dikili durumdaki ağaçların, piyasadaki odun hammaddesi taleplerinin karşılanması ve/veya orman işletmelerince kazanç elde edilmesi amacıyla kesilerek depolara kadar taşınması sürecinde uygulanan etkinlikler bütünüdür. Üretim süreci; kesme/devirme, dalların budanması, kabukların soyulması, boylara bölünmesi (tomruklama) ve sınıflandırılması, bölmeden çıkarma, yükleme-taşımaboşaltma ve istifleme çalışmalarını kapsamaktadır [1]. Bu çalışmaların sırası, yeri ve şekli organizasyona bağlı olarak değişebilmektedir. OHÜ; ekonomik, teknik, ekolojik, sosyo-ekonomik ve kurumsal yönlü amaç ve kısıtlayıcıların bileşiminden oluşan bir sistemdir ve orman, işgücü (insan, hayvan, makine), para ve enerji kaynaklarının kullanılmasıyla gerçekleştirilir.

OHÜ, yüksek operasyon maliyetleri ile yürütülür. Ülkemizde odun hammaddesinin üretiminde, yıllık ortalama operasyon giderleri genel işletme giderlerinin % 25'inden fazlasını kapsayabilmektedir [2]. OHÜ sırasında orman toprağında, dikili ağaçlarda ve fidanlarda, yaban hayatında ve su kaynakları üzerinde çeşitli şekil ve şiddette zararlar ortaya çıkabilmekte; üretilen üründe de kalite ve miktar kayıpları meydana gelebilmektedir [3, 4]. Bununla birlikte, Türkiye'de ormancılık sektörünün, birim çıktı başına en çok istihdam sağlayan sektörler arasında yer alması (Yılda ortalama 13 milyon işçi/gün), orman köylülerinin üretim operasyonlarında istihdam edilebilme koşulunu ortaya çıkarmaktadır (Orman köylülerine işçilik bedeli olarak 2004 yılında 306 Trilyon TL ödenmiştir [5]). Üretim işleri orman köy kooperatifleri

veya müteahhitleri aracılığıyla yürütülmektedir. Kesme ve bölmeden çıkarma alt süreçleri bölme (üretim ünitesi) içinde, taşıma ise orman yollarında gerçekleştirilmekte; kesme ve bölmeden çıkarma işlerinde çoğunlukla temel ve ara teknolojiden [6] oluşan geleneksel teknik ve araçlardan yararlanılmakta ve üretim yöntemi olarak da çoğunlukla tomruk yöntemi tercih edilmektedir [1, 7, 8].

Odun hammaddesi üretiminin ekonomik, ekolojik, sosyo-ekonomik ve kurumsal işletmecilik boyutu, planlı davranışları zorunlu kılar. Bu yüzden, zamansal ve konumsal açıdan olduğu kadar kaynakların etkin kullanımı açısından da birçok yönüyle analiz edilmiş; teknik olarak uygulanabilir, ekonomik olarak kazançlı ve çevresel olarak kabul edilebilir yapıda operasyon planlarına ihtiyaç vardır. OHÜ operasyonlarının planlanması, çok boyutlu karmaşık bir problem olmasından dolayı, orman kaynaklarının yönetiminde karşı karşıya kalınan en önemli problemlerden birisidir.

Odun hammaddesi üretimini konu alan planlama yaklaşımları; üretim sürecinin tanımına, fiziksel-konumsal düzenlemeye, kullanılan karar araçlarına, üretim teknolojilerine vb. bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Orman ürünlerinin kesildiği yerden depoya kadar taşınmasını içeren zaman ve mekan boyutlu fiziksel planlamalar, "Orman Transport Planlaması" olarak adlandırılmıştır [1, 4, 7, 9, 10, 11, 12, 13]. Bu yaklaşım; hava fotoğrafı ve uydu görüntülerinin, CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) ve GPS (Küresel Konumlandırma Sistemi) gibi konumsal karar destek sistemlerinin bilgisayarlarla birlikte yaygın olarak kullanılmasıyla gelişimini sürdürmüştür [14].

OHÜ için fiziksel boyut kadar ekonomik boyut da önem arz etmektedir. Odun üretim operasyonlarının maliyetlerinin azaltılması için, matematik-istatistik yöntemlerle birlikte verimlilik ve maliyet fonksiyonları kullanılmıştır [4]. Ancak, ekonomikliğe bağlı klasik değerlendirme teknikleri planlamada yetersiz kalmıştır [15]. Bu yüzden, kantitatif karar destek sistemlerine başvurulmuş, simülasyon [16] ve optimizasyon tabanlı Yöneylem Araştırması (YA) teknikleri kullanılmaya başlanmıştır [17, 18, 19]. Planlamada nitel özelliklerin de değerlendirmeye alınabilmesi için Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), sıralama (Ranking) gibi çok ölçütlü analizlerden yararlanılmaya başlanmıştır [6, 20].

OHÜ planlaması; stratejik, taktiksel ve operasyonel olmak üzere 3 düzeyde sıralanmış hiyerarşik planlama yaklaşımına göre ise, çoğunlukla operasyonel planlama aşamasında ele alınmıştır [21, 22, 23]. Operasyonel Planlama (OP); kısa vadeli planlama aşamasıdır. Günlük, haftalık, aylık, 3 aylık, yıllık ya da 18 aylık periyotları kapsayan planlardır. 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. Bazen kamyonlu taşıma programları da bu düzeyde belirlenebilir. OP'de amaç, uygulamanın yararlılığıdır. Planın faaliyet alanı dardır ve planlama çok detaylıdır. Belirsizlik ve risk seviyesi ise düşüktür [21, 24, 25]. OP; belirli alanlardaki ormancılık operasyonlarını sürdürmek için gerekli olan kaynaklara erişimi, üretimi, yenilenmesini ve korunmasını

olanaklı kılan metotlar, programlar ve sorumluluklar bütünüdür [26].

Odun hammaddesi üretiminde yıllık operasyonel planlama ise; "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 üretileceğinin; nereden, nasıl ve hangi depoya taşınacağı; topoğrafik/teknik, ekonomik, çevresel, ergonomik ve sosyo-ekonomik ölçütlere göre planlanması" anlamına gelir [27].

OP problemlerinin çok sayıda nitel ve nicel değişkeni içermesi, farklı matematiksel modelleme ve karar destek araçları ile bunların kullanımını kolaylaştıracak bilgisayar yazılımı ve donanımını gerektirmiştir. YA ve CBS teknolojileri bilgisayar programları ile bir araya getirilerek, operasyon amaçlarını etkili şekilde başarabilen karar destek sistemleri geliştirilmiştir [18, 22, 28].

Türkiye'de de; odun hammaddesinin ağacın kütüğü dibinden son depoya kadar; en az maliyetle ve en az çevresel zararlar gerçekleştirilmesi amacıyla operasyonel düzeyde bir OHÜ planlamasına gereksinim duyulmaktadır. Bu bakımdan bu çalışmanın amacı; ormancılıkta yıllık üretim planlarının oluşturulabilmesi için teknik, ekonomik, ekolojik, ergonomik ve sosyo-ekonomik (kurumsal) yapıları bir üretim planlama modelinin geliştirilebilmesidir. Operasyonel tarzda bir üretim planının nasıl hazırlanacağını yöntem biliminin sunulduğu bu çalışmada makro düzeyde hedeflenenler; operasyonel planlama metodolojisini tanıtmak, uygulanabilir ve sürdürülebilir bir operasyonel planlama modeli oluşturabilmektir. Mikro düzeyde hedeflenenler ise; odun hammaddesi üretiminde ortalama operasyon maliyetlerini azaltmak, muhtemel çevresel zararları uygun üretim sistemlerinin seçilmesi yoluyla azaltmak, uygun üretim sistemlerinin seçilmesi yoluyla üretim operasyonlarını insan lehine çalışılabilir duruma getirmek, operasyonlar sırasında meydana gelen ürüne yönelik kalite ve miktar kayıplarının azaltılması için planlama yoluyla önlemler almaktır. Planlama modelinden beklenen yarar; planlayıcılara, yöneticilere ve uygulayıcılara odun üretim planlaması problemiyle ilgili analitik ve rasyonel kararların alınabilmesi doğrultusunda yol gösterici bir karar destek aracı oluşturabilmektir.

## Materyal ve Yöntem

### Materyal

Bu çalışmanın materyalini; planlama probleminin yapısını oluşturan orman ve arazisi, işgücü, para ve zaman kaynakları ile bunlara ait bilgiler ve planlama probleminin çözümünde kullanılan donanım ve yazılım araçları oluşturur. Geliştirilecek planlama modelinin, uygulamadaki mevcut probleme uygun biçimde test edilebilmesi amacıyla (Isparta/Eğirdir) Aşağıgökdere Orman İşletme Şefliği ormanlarında üretime açılacak bölmeler ve bu bölmelere ait meşcere karakteristikleri, topoğrafik özellikler, jeolojik ve iklim özellikleri, piyasa ve tüketim merkezleri, işgücü potansiyeli ve yöredeki üretim teknoloji düzeyi, üretim maliyetlerine ait bilgiler, operasyonel planlama modelinin test edilmesi amacıyla kullanılacak çalışma materyali olarak benimsenmiştir.

Planlama alanında her bir bölmeye ait meşcere ve alan bilgilerinin temini için 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. Yıllık bütçe gerçekleştirmeleri (bilanço) ve gelecek yılları izleyen üretim programları temin edilerek 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.

Sayısal haritaların oluşturulması için bilgisayar ortamında harita koordinatlarının atanmasında Raster to Vector (R2V); ArcView 3.2 ve ArcInfo 8.1 programından yararlanılmıştır. Matematiksel modelin çözülmesi için LINDO 6.1. (extended version) programı kullanılmıştır. Araştırma süresince analiz, modelleme, çözümlenme ve yazma işlemlerinde Pentium-IV 1.6GHz (256 MB RAM) özelliğine sahip masaüstü bilgisayardan yararlanılmıştır.

### Yöntem

Yöntem; 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 oluşturulmasına ilişkin alt bölümlerden oluşmuştur.

Araştırma probleminin tanımı, içeriği ve çözüm yöntemleri üzerindeki çalışmaların ardından, araştırmada şu yöntem izlenmiştir:

- 1)OP'de konu edinilen sistem, odun hammaddesi üretim sistemidir. Bu sisteminin teknik bileşeni; ağacın bölmeden depoya getirilinceye kadar uğradığı operasyonları ve iş akışını içeren süreçtir. Bu sürecin tanımlanması ve analizi 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 belirlenmesi için yönetsel süreç analizi yapılmıştır.
- 2)Planlama projeksiyonu; hiyerarşik planlama yaklaşımı esas alınarak bir yıl içinde gerçekleştirilen odun üretim operasyonları üzerine kurulmuş ve zaman sınırlandırması yapılmıştır. Planlama alanının, bir orman işletme şefliğinde yıl içinde üretime açılacak tüm bölmeleri kapsamına karar verilmiş ve alansal sınırlandırma yapılmıştır
- 3) Bir bilgi sistemi 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 bilgiler toplanmıştır. Kullanılmakta olan yöresel teknolojilerin tespiti için de yüz yüze görüşülerek anket/söyleşi ve arazi gözlemleri yapılmıştır. Grafik ve öznitelik bilgiler toplanarak sayısallaştırılmış ve CBS yardımıyla konumsal tabanlı bir veri tabanı sistemi oluşturulabilmiştir.
- 4)Yörede kullanılabilir ve elde edilebilir kesme, bölmeden çıkarma ve taşıma teknikleri belirlenmiş

(Tablo 1); arazi özelliklerine göre muhtemel satın alınabilecek teknikler de ilave edilerek üretim sistemi kombinasyonları oluşturulmuştur. Teknik uygulanabilirlik, teknolojik uyum ve matematiksel modelin matris boyutu düşünülerek; 21 üretim sistemi kombinasyonu üretilmesine rağmen 10 adet üretim sisteminin, operasyonel karar modelinde kullanılmasına karar verilmiştir. Üretim sistemleri, numaralar ile kodlanmıştır ve kesme+bölmeden çıkarma tekniklerinin bileşimine göre sırasıyla; (1) Motormanuel+İnsangücü, (2) Motormanuel+Hayvangücü, (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, şeklindedir.

- 5)Sayısal arazi modelleri üzerinden fonksiyonel arazi sınıflandırması [4, 29] yapılmıştır. Transport sınırları oluşturularak bölmeler üretim poligon/ünitelerine ayrılmıştır. Bu aşamada arazi özelliklerine göre bazı teknik ve topoğrafik analizler ile üretim ünitelerinin, uygulanabilir üretim sistemlerinin her birisine göre gerçek sürütme mesafeleri [30] belirlenmiş ve rampa yerlerinin seçimi yapılmıştır. Her bir üniteye ortaya çıkan sürütme mesafesinden, etaya bağlı olarak ağırlıklı ortalama hesabına göre bölmenin gerçek ortalama sürütme mesafesi elde edilmiştir. İtibari yol yoğunlukları hesaplanarak üretim ünitelerine ve bölmelere ulaşılabilirliğin analizi yapılmıştır.
- 6)Üretim sistemlerinin ekolojik, teknik, ergonomik, sosyo-ekonomik ve kurumsal açıdan uygunluklarını ortaya koymak için; üretim sistemleri birbirleriyle nitel olarak karşılaştırılmıştır. Nitel ölçme ve karşılaştırmalar için 5 ana (ekonomi, teknik, ekoloji, sosyo-ekonomi/kurumsal, ergonomi) ve 17 alt ölçüte (operasyon maliyeti, verimlilik, yatırım gereksinimi, elde edilebilirlik, kullanılabilirlik, iş ve ürün kalitesi, iklime bağımlılık, planlama gereksinimi, toprak korunması, kalan meşcerenin korunması, vejetasyonun korunması, yaban hayatının korunması, işlendirme kapasitesi, eğitim gereksinimi, yöresel kalkınmaya katkı, işçi sağlığı ve iş güvenliği, iş yükünün fiziksel-bedensel etkisi) göre sıralama ve AHP yöntemi kullanılmıştır [6, 31]. Üretim sistemlerinin her birine ait bir çevresel/kurumsal etki katsayısı elde edilmiştir (Tablo 2). İklim, işgücü, piyasa ve mevsim farklılıkları dikkate alınarak 12 farklı ölçüte (ulaşılabilirlik, çalışılabilirlik, işgücü temini, işletmenin para gereksinimi, toprak zararları, operasyon maliyeti, verimlilik, işçi ve iş güvenliği, meşcere zararları, üründe meydana gelen zararlar, piyasanın hammadde talebi, silvikültür) göre de periyodik etki katsayıları elde edilmiştir (Tablo 2). Üretim metodlarının (uzun ve normal boy tomruk metodu) farklılıklarına göre de bir oran belirlenmiş ve üretim sistemlerine eklenmiştir.
- 7)Nitel uygunluğunun üretim sistemi seçiminde etkili olabilmesi için çevresel/kurumsal ve periyodik etki katsayıları, sistemlerin operasyonel maliyetlerine bir ceza katsayısı gibi eklenerek çevresel etki maliyeti (ÇEM) ve periyodik etki maliyeti (PEM) elde edilmiştir. Böylece, her bir bölmede herhangi bir üretim sisteminin nicel ve nitel maliyet katsayıları elde edilebilmiştir.

**Tablo 1. Kesme ve bölmeden çıkarma süreçlerinde 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
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		
Tarım 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		

**Tablo 2. Kesme ve Bölmeden Çıkarma Tekniklerinin Çevresel (ÇEK) ve Periyot Etki Katsayıları (PEK)**

Kesme	Teknikler	ÇEK		PEK			
		SKOR	Etki Katsayısı	I. Periyot	II. Periyot	III. Periyot	IV. Periyot
Kesme	Motormanuel	6,261766	0,304	0,7119	0,1846	0,3264	0,7700
	Motormotor	6,044846	0,328	0,8271	0,1846	0,3264	0,8467
	Harvester	3,092698	0,656	0,8847	0,3658	0,4226	0,7700
Bölmeden Çıkarma	Manuel	5,314971	0,409	0,7695	0,4564	0,1339	0,4634
	Hayvan gücü	5,847030	0,350	0,7695	0,5470	0,2302	0,6934
	Tarım Traktör	4,410982	0,509	0,8271	0,3658	0,1339	0,7700
	Orman Traktörü	4,341483	0,517	0,8271	0,3658	0,1339	0,6934
	Hava Hattı	6,503231	0,277	0,7119	0,1846	0,2302	0,6167
	Oluk Sistemi	6,30223	0,299	0,5966	0,1846	0,1339	0,4634
	Forwarder	3,854837	0,571	0,8847	0,1846	0,1339	0,7700

8) Planlama probleminin amaçları ile bu amaçları kısıtlayan faktörler karşısında; kaynaklar ve karar değişkenleri dahilinde uygun kararı alabilmek için bir matematiksel model kurulmuş ve bu model ile üretime açılacak bölmelerin sezon bazında üretim sıralaması yapılmış, her sezonda ne kadar ürün alınacağı, her bölmede hangi üretim sisteminin etkili şekilde kullanılabileceği, ürünün hangi depoya taşınacağı, vb. kararlar önce doğrusal programlama (LP) sonra da 0/1 karma tamsayılı programlama (MIP/ILP) ile modellenip LINDO programıyla çözülmüş, MIP ile çözülemeyen modeller için sezgisel çözüm yaklaşımı geliştirilmiş ve modellerin uygulanabilirliği karşılaştırmalı olarak denetlenmiştir. Yıllık odun üretimi operasyonlarının planlanması problemi için bir model ve bu modelinin planlayıcılar ve uygulayıcılar tarafından kullanılabilmesi için de kavramsal çerçevesi verilen bir planlama adımı oluşturulmuştur [27].

#### **Operasyonel karar modelinin oluşturulması yöntemi**

Operasyonel karar modelinin oluşturulması için matematiksel modelleme yöntemi kullanılmıştır [27]. Modelde amaç fonksiyonu; “birim miktardaki odun hammaddesi üretimi başına düşen üretim maliyetlerinin en aza indirilmesi (minimizasyonu)” şeklindedir. Amaç fonksiyonunun ölçütü ise; yıllık toplam üretim miktarı ile bu miktarın elde edilebilmesi için katlanılan toplam maliyetin oranlanması sonucunda ortaya çıkan birim maliyet değerinin minimizasyonudur. 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 ölçütlü analizle hesaplanmış çevresel ve kurumsal etki maliyetleri de yer almaktadır. Her bir periyotta çalışma zamanının ve üretim sisteminin veriminin değişmesinden dolayı maliyet katsayıları; periyotlara göre de değişmektedir.

Model; oluşturulabilme ve çözülebilme kolaylığı, çözümlerinin yorumlanabilirliği ve yaygın olarak benzer problemlerde kullanılması nedeniyle öncelikle doğrusal programlama (LP) modeli şeklinde kurulmuştur (Temel Model). Karar değişkeni değerleri, sürekli (kesirli ve tamsayı) sayılarla temsil edilebilmiştir. Sonradan, modele zorunlu bir kısıtlayıcı eklenmiştir. Bu; “operasyonel planlama yılında üretimine karar verilen her bölme; herhangi bir periyotta herhangi bir üretim metodu ve herhangi bir üretim sistemiyle üretilmek zorundadır” şeklindedir. Bu zorunluluk, her bir bölmenin operasyon yılı boyunca yalnızca bir kere üretime açılmasının da koşuludur. Yani, karar değişkenlerinin 0 veya 1 gibi tamsayılı değerler alması söz konusudur. Bu nedenle de başlangıçta oluşturulan LP modeli, sonradan “0/1 karma tamsayılı (doğrusal) programlama (MIP)” modeline dönüştürülmüştür ve operasyonel karar modelinin hem doğrusal hem de tamsayılı programlamaya göre iki modeli geliştirilmiştir [27]. Buna göre;

Amaç fonksiyonu;

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

Kısıtlayıcılar;

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

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

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

$$\sum_{b=1}^{12} BETA_b - TOPETA = 0$$

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

$$\sum_{p=1}^4 \sum_{u=1}^2 \sum_{s=1}^{10} X_{bpus} * ETA_b = 1$$

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

$$MinHQ_p \leq HQ_p \leq MaxHQ_p$$

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

$$\sum_p \sum_u \sum_s X_{bpus} * ETA_{b \in B} - \sum_p \sum_u \sum_r Y_{bpur} \geq 0$$

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

$$\sum_b \sum_u \sum_r Y_{bpur} - TRANSP_p \geq 0$$

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

$$\sum_{u=1}^2 \sum_{d=1}^2 DTlpMIN_{pud} \leq TRANSP_p \leq \sum_{u=1}^2 \sum_{d=1}^2 DTlpMAX_{pud}$$

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

$$1) \sum_{b=1}^{12} \sum_{u=1}^2 VRM_{bpus} * X_{bpus} * ETA_b - S_s P_p = 0 \quad 2) S_s P_p \leq Ad_s * PU_p \quad \forall s \in S; (s = 1, \dots, 10)$$

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

$$\sum_b \sum_u \sum_r VRM_{bpur} * Y_{bpur} - KMYP_p = 0 \quad KMYP_p \leq Ad_{kmyn} * PU_p$$

▪ 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)

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

Bu modelde;

$B$  : 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.

$UM_{bpus}$  = Üretim (kesme + bölmeden çıkarma) maliyeti katsayısıdır (\$/m<sup>3</sup>) :  $\underline{b}$  bölmesinin  $\underline{p}$  periyodunda (sezonunda),  $\underline{u}$  üretim metodu ve  $\underline{s}$  üretim sistemi kullanılarak üretilmesiyle ortaya çıkan maliyet katsayısıdır.

$X_{bpus}$  = Odun üretim miktarını temsil eden karar değişkenidir (m<sup>3</sup>) :  $\underline{b}$  bölmesinin  $\underline{p}$  periyodunda,  $\underline{u}$  üretim metodu ve  $\underline{s}$  üretim sistemi kullanılarak ortaya çıkarılan odun üretim miktarıdır.

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

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

$PM_p$  =  $p$ . periyottaki üretim maliyeti,

- $T_p$  =  $p$ . periyottaki taşıma maliyeti,  
 $KP_p$  =  $p$ . periyottaki kayıp maliyeti,  
 $BETA_b$  = Her bir “b” bölmesinin izin verilebilen yıllık etasıdır ( $m^3$ )  
 $TOPETA$  = 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)  
 $VRM^{SSG}_{bpus}$  = “b” bölmesinde “p” periyodunda “u” üretim metodu ile yapılan üretim etkinliğinde kullanılan “s” sisteminin verimidir (saat/ $m^3$ )  
 $VRM_{bpur}$  = “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 zamanıdır (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 ( $\$$ ).

### Operasyonel karar modelinin test edilmesi

Operasyonel karar modeli, Aşağıgökdere Devlet Orman İşletmesi için hazırlanmış olan operasyonel planlama problemi ile test edilmiştir. Planlama alanında, Kızılçam işletme sınıfından 3 adet gençleştirme bölmesinde, son hasılat etası; 9 adet bakım bölmesinde de ara hasılat etası olmak üzere 12 bölmede toplam 23.532  $m^3$  odun hammaddesi üretimi yapılacaktır. Ürünler, 2 depoya taşınacaktır. Bu koşullar altında; 12 ay olan plan dönemi, 4 periyoda/sezona ayrılmıştır. Odun üretim operasyonlarında uzun boy ve normal boy tomruk üretim yöntemi olmak üzere 2 üretim yöntemi indisiye yer verilmiştir. Üretimde kullanılabilecek teknolojiler ve kombinasyonlarının tespit edilmiş olup 10 adet üretim sistemi bu yörede odun üretim etkinliğine katılabilecektir. OP yılı içinde odun üretimi yapılacak bölmelerin, alanlarının % 22’ si orta eğimli arazi; %68’ i dik arazi; % 10’ u da çok dik arazi sınıfı içinde yer almaktadır. Öte yandan, OP yılı etasının % 71’ inin dik arazi üzerinde yer aldığı belirlenmiştir. Orman yol yoğunluklarının tüm bölmelerde yüksek ve çok yüksek olduğu; işletmeye açma oranlarının ise çok iyi olduğu çalışma kapsamında hesaplanarak belirlenmiştir.

Kesme operasyonları için motorlu testere; budama ve tomruklama için motorlu testere ve kabuk soyma için balta (nacak) ile motorlu testereye monteli kabuk soyma ekipmanının kullanıldığı ve test alanında, “motormanuel, motormotor ve harvester” olmak üzere 3 alternatif kesme tekniği kombinasyonunun oluşturulabileceği belirlenmiştir. Bölmelere göre her bir kombinasyonun verim ve maliyet değerleri hesaplanarak Tablo 3’de verilmiştir.

Bölmeden çıkarmada, insan gücü ve hayvan gücünden yararlanılmakta, kısmen tarım traktörleri kullanılmakta ve zaruri durumlarda orman traktörleri kiralanmaktadır. Öte yandan komşu Orman Bölge Müdürlükleri’nden OP alanına orman hava hattı sistemlerinin getirilebilmesi imkanı bulunmaktadır. Oluk sistemlerinin de kullanılabilmesi imkan dahilindedir. Hasat makinası

(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. Bölmeden çıkarma tekniklerinin, sürütme mesafesine göre her bir bölme için hesaplanmış ortalama verim ve maliyetleri Tablo 4’de verilmiştir.

Taşıma işleri için kamyonlardan yada kısa mesafelerde, kısa boy emvalin taşınması için traktör treylerden yararlanılmaktadır. Her bir rampadan her iki depoya iki farklı güzergah belirlenmiştir. Yükleme faaliyetleri insan gücü ile veya traktöre monteli çeneli yükleyici ile olmak üzere iki alternatif teknikle yürütülmektedir. Bölmeye, rampa yerine, depoya, taşıma rotasına, ürün tipine (üretim metoduna) ve periyotlara göre değişkenlik gösteren maliyet ve verim değerleri (makalede yer kazanılması amacıyla yalnızca ilk üç bölme için) aşağıda özetlenmiştir (Tablo 5).

Operasyonel planlama sürecinde, üretim etkinliğinde yer alacak işgücü ve makine gücü kaynaklarının tahsisi konusunda, her bir periyotta 430 çalışabilir işgücü içerisinden, 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 belirlenmiş ve kabul edilmiştir. Burada, orman köylülerinin istihdam edilme koşulu gözetilmiştir.

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, 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 3.** Bölmelere göre kesme sürecinde kullanılan tekniklerinin verimi ve maliyetleri

Bölme No	Eta (m <sup>3</sup> )	Motormanuel		Motormotor		Harvester	
		Verim (saat/m <sup>3</sup> )	Maliyet (\$/m <sup>3</sup> )	Verim (saat/m <sup>3</sup> )	Maliyet (\$/m <sup>3</sup> )	Verim (saat/m <sup>3</sup> )	Maliyet (\$/m <sup>3</sup> )
47	4306	1,16	1,79	0,72	1,94	0,05	4,52
67	8625	1,24	1,90	0,74	1,99	0,05	4,57
203	5026	1,24	1,92	0,75	2,03	0,05	4,64
113	750	4,35	6,47	1,58	4,28	0,06	5,86
114	557	1,66	2,53	0,86	2,32	0,05	5,33
115	269	1,73	2,68	0,91	2,45	0,06	5,54
116	818	1,41	2,17	0,79	2,14	0,05	5,00
132	575	2,04	3,25	1,05	2,85	0,07	6,45
135	656	1,51	2,35	0,84	2,27	0,05	5,28
152	693	2,49	3,53	0,95	2,58	0,05	5,21
153	670	1,74	2,71	0,92	2,47	0,06	5,52
154	585	1,65	2,52	0,86	2,31	0,05	5,17

**Tablo 4.** Bölmelere göre bölmeden çıkarma tekniklerinin verimi ve maliyetleri (G. = Gücü; trk. = Traktörü)

Bölme No	İnsan G.		Hayvan G.		Tarım trk.		Orman trk.		Harvester		Forwarder		Oluk	
	Verim Saat/m <sup>3</sup>	Maliyet \$/m <sup>3</sup>	Verim Saat/m <sup>3</sup>	Maliyet \$/m <sup>3</sup>	Verim Saat/m <sup>3</sup>	Maliyet \$/m <sup>3</sup>	Verim Saat/m <sup>3</sup>	Maliyet \$/m <sup>3</sup>	Verim Saat/m <sup>3</sup>	Maliyet \$/m <sup>3</sup>	Verim Saat/m <sup>3</sup>	Maliyet \$/m <sup>3</sup>	Verim Saat/m <sup>3</sup>	Maliyet \$/m <sup>3</sup>
47	2,67	5,16	1,87	3,09	0,77	3,40	0,68	3,79	0,121	2,01	0,071	4,582	0,30	3,82
67	2,34	4,52	2,48	3,97	0,63	3,47	0,53	3,93	0,124	2,05	0,071	4,582	0,30	3,73
203	2,41	4,65	1,80	2,98	0,75	3,43	0,65	3,74	0,121	2,01	0,071	4,582	0,26	3,31
113	2,74	5,29	2,82	4,51	1,12	3,62	1,05	3,90	0,203	3,36	0,072	4,660	0,34	4,34
114	2,76	5,32	3,21	5,14	0,78	2,63	0,70	2,64	0,203	3,36	0,067	4,365	0,34	4,35
115	1,86	3,58	1,52	2,52	0,49	2,35	0,39	2,23	0,169	2,79	0,066	4,263	0,25	3,14
116	2,07	3,99	1,75	2,89	1,21	3,54	1,14	3,74	0,177	2,94	0,071	4,621	0,26	3,23
132	2,35	4,54	2,12	3,39	1,43	4,14	1,35	4,29	0,186	3,08	0,074	4,781	0,28	3,49
135	1,93	3,72	3,05	4,88	1,21	3,53	1,14	3,63	0,171	2,83	0,071	4,621	0,24	3,04
152	2,93	5,67	2,22	3,56	1,16	3,39	1,10	3,60	0,209	3,47	0,071	4,582	0,30	3,75
153	3,77	7,28	3,10	4,96	1,70	5,05	1,62	5,53	0,224	3,72	0,078	5,044	0,41	5,22
154	2,67	5,16	2,64	4,22	1,67	4,79	1,60	5,21	0,199	3,29	0,076	4,953	0,34	4,27

**Tablo 5.** Taşıma verim ve maliyetleri ile bileşenleri (ilk üç bölme için örnek olarak verilmiştir)

Bölme No	Rampa No	Depo No	Rota No	YOL UZUNLUĞU (m)				MALİYET (\$/m <sup>3</sup> )			VERİM (saat/m <sup>3</sup> )	
				Asfalt	Stabilize	Ham/Toprak	Toplam	Kamyon Yürüme	f (makinele yükleme)	f (elle yükleme)	f (makinele yükleme)	f (elle yükleme)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
47	47/1	2	1	9,69	3,19	0,87	13,75	0,54	2,78	3,25	0,21	0,34
	47/1	2	2	12,64	2,24	1,24	16,12	0,62	2,86	3,34	0,22	0,35
67	67/3	2	1	9,69	0,65	0,00	10,34	0,34	2,58	3,06	0,18	0,31
	67/4	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

### Çözüm yöntemi

Operasyonel karar modeli, hem doğrusal hem de karma tamsayı programlama modeli olabilecek şekilde kurulmuş ve her iki durum göz önüne alındığında; model yarı sürekli sayılarla ifade edilebilen bir LP modeli konumundayken ticari LINDO programı ile çözümlenmiştir. Ardından, 0/1 tamsayı doğrusal programlama modeline dönüştürülüp aynı programın tamsayı programlama modülü ile çözümlenmiştir. Tamsayılı çözümlenme sürecinin zaman alıcı olması ve/veya mümkün olan çözümü üretilmemesi koşulunda,

optimizasyon tabanlı sezgisel (heuristic) çözüm yaklaşımı [27] geliştirilmiştir. Modelin çözümü sırasında; maliyet katsayılarının nicel maliyet veya nitel maliyet (ÇEK ve PEK maliyetlerinin eklendiği durum) oluşuna göre 2 strateji uygulanmıştır. Her bir stratejide hem LP hem de MIP modelleri kendi içinde çeşitli senaryolara ayrılarak çözümlenmiş ve çözüm sonuçları karşılaştırılmıştır. Nicel maliyetlerle kurulan modellerin çözüm sonuçları (1. strateji), nitel maliyet katsayıları modellerin duyarlılığının kontrol edilmesi amacıyla kullanılmıştır ve bu makalede bunlara yer verilmemiştir.

## Bulgular ve Tartışma

### *Operasyonel Karar Modellerinin Çözümüne Ait Bulgular ve Tartışılması*

#### *Nicel maliyet katsayılarıyla oluşturulan modellerin (Strateji-1) çözümü*

“Strateji-1” olarak tanımlanan yalnızca nicel operasyon maliyetlerinin kullanıldığı doğrusal ve karma tamsayı programlama modelleri irdelendiğinde; henüz 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 fonksiyonu değerinin değişmesinden dolayı, duyarlı olduğu söylenebilir. Hem LP (Zmin; 347.285,3 \$ ve ortalama üretim maliyeti; 14,92 \$/m<sup>3</sup>) hem de MIP yapıları (Zmin; 389.603,3 \$ ve ortalama üretim maliyeti; 16,71 \$/m<sup>3</sup> olarak bulunan) modellerde, periyotlara ve üretim sistemlerine göre bölmelerin tahsisinin yapılabildiği ve amaç fonksiyonunun, üretim maliyetlerinin minimizasyonuna yönelik bir denklem ile olumlu sonuçlar verebildiği belirlenmiştir. Bu bakımdan da 2. strateji için bu modellerden yararlanılması uygun bulunmuştur.

#### *Nitel maliyet katsayıları ile oluşturulan modellerin (Strateji-2) çözümü*

Odun üretim faaliyetlerini etkileyen ölçütlerin nitel değerleri, çok ölçütlü analiz yöntemleri kullanılarak elde edilen katsayılar yardımıyla nicel maliyetlere yansıtılmış ve bunlar hem LP hem de MIP tabanlı modeller için katsayı olarak kullanılmıştır.

**Doğrusal Programlama Modeli (Model – 1):** Düzgün doğrusal programlama modelinde özellikle üretim karar değişkenlerinin, deneme amaçlı modellerde kesirli sayılarla temsil edilmesi; hem teorik hem de uygulama açısından işlevsel 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.

Model; her bir periyotta üretilecek odun hammaddesi miktarının üst limiti, depolara taşınacak ürün miktarı ve yararlanılabilir işgücünün sınırlandırılması gibi koşullara göre bazı yapısal değişikliklerin uygulanmasıyla oluşturulmuştur. Modelin çözümü sonucunda; amaç fonksiyon değeri (Zmin) 299.582,6 \$ olarak elde edilmiştir. Model, bazı bölmelerin tek periyot ve tek sistemle tamamının üretilmesini uygun görürken, diğer bölmelerin sistem, periyot ve miktar bakımından bölünmesini önermiştir. Buna göre, ortalama üretim maliyeti 12,96 \$/m<sup>3</sup> olarak bulunmuştur. İnsan gücü kısıdı, 35.000 saat olarak üst sınırdadır (tam kapasite) kullanılmıştır. Bununla birlikte 13.420,14 saat motorlu testere, 5.347,91 saat hayvan gücü, 975,86 saat orman traktörü, 624 saat hava hattı, 720 saat oluk sistemi, 4.252,7 saat tarım traktörü ve 4.006,9 saat kamyon gücüne ihtiyaç olduğu belirlenmiştir. İşgücü kısıdının kaldırılması durumunda amaç fonksiyonu değeri

299.515,7 \$ ve ortalama üretim maliyeti 12,98 \$/m<sup>3</sup> olarak bulunmuştur.

Model-1’de, çeşitli senaryolarla bazı kısıtlayıcıların sağ taraf değerleri (STD) 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. Böylelikle modelin duyarlılığı da kontrol edilmiştir. Buna göre; Senaryo-1’de, Model-1 için insan gücü haricinde, alternatif olarak sunulan diğer üretim sistemlerinin kullanılmaması durumunda (işgücü kaynakları kısıtlandığında) yani temel teknoloji kullanımının ara ve ileri teknoloji karşısındaki durumu sınırladığında amaç fonksiyonu değerinin 485.455,6 olduğu ve ortalama üretim maliyetinin 20,98 \$/m<sup>3</sup> olduğu, amaç fonksiyonunun Model-1’e göre % 62 oranında arttığı bulunmuştur.

Senaryo-2’de, Model-1 için, insan ve hayvan gücü haricindeki tüm işgücü kaynakları kısıtlanmıştır. Senaryo-2’nin çözüm sonuçlarına göre; amaç fonksiyonu değerinin 439.680 \$; ortalama üretim maliyetinin 18,84 \$/m<sup>3</sup> olduğu ve amaç fonksiyonunun Model-1’den % 45 daha fazla olduğu bulunmuştur.

Operasyonel planlamada, amaç fonksiyonunu en küçükleyen üretim sistemlerinin yörede kullanılabilirliği olması ve elde edilebilirliği de önemli bulunmuş ve bu nedenle ara teknolojileri yansıtmaması açısından tarım traktörü kaynak kısıdı kaldırılmıştır. Çözüm sonuçlarına göre amaç fonksiyonu değeri 348.437,7\$; ortalama üretim maliyeti 14,92 \$/m<sup>3</sup> bulunmuş ve 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 değere ulaşılmıştır. Planlama alanında bölmeden çıkarma işlerinde orman traktörleri de DOI’den kiralanabildiğinden, temel teknolojiye ara teknolojiye geçişin simgelemesi (mekanizasyon seviyesinin artırılması) açısından orman traktörü kaynak sınırı da kaldırılmış ve orman traktörü, tarım traktörü, hayvan ve insan gücünün kullanıldığı odun üretim teknolojilerine göre amaç fonksiyonunun değeri 344.475,2 \$; ortalama üretim maliyeti de 14,72 \$/m<sup>3</sup> bulunmuş ve amaç fonksiyonu Senaryo-3’e göre yalnızca % 1 oranında azalmıştır.

Senaryo-5’de, 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 4.500 saat ile kısıtlanmıştır. Orman hava hattı, harvester ve forwarder’ in yani tamamen ileri teknolojinin kullanılmasıyla birlikte, amaç fonksiyonu değeri 445.607 \$ (ortalama üretim maliyeti 19,28 \$/m<sup>3</sup>) 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 artış ile temsil edilebilir. Buna karşın, ürün kayıp miktarlarında, Model-1’e göre % 70’lik bir tasarrufta bulunduğu belirlenmiştir.

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 çok yüksek üretim maliyet ve kayıplarına sahip olmasından dolayı karşılaştırmaya konu edilmemiştir. Buna göre; planlama alanında odun üretim faaliyetlerinde kullanılacak en uygun üretim teknolojisinin, üretim sistemlerinin uygun oranlardaki bileşiminden/karışımından oluşan Model-1' e ait karar değişkenleri ile temsil edildiği bulunmuştur. Bu karşılaştırma, maliyetler yönüyle yapılmıştır. Model-1; ağırlıklı ölçüt olan maliyetlere göre, diğer ölçütler de tatmin edilmek ve tatmin edilemeyen ölçütlere karşı da bir ceza maliyeti ödemek koşuluyla en uygun üretim sistemi kombinasyonlarını sunan model olarak kabul edilmiştir.

Operasyonel planlama yönteminde, karar destek sistemi sağlayabilmesi amacıyla doğrusal programlama denklemi olan Model-1' in, operasyonel karar modeli olabileceği belirlenmiştir. Teorik açıdan uygunluğu denetlenebilen bu modelin, arazide uygulanabilirliği operasyonel plan taslağı hazırlanarak analiz edilebilmiştir. Bulgulara göre; temel çözümde yer alan ve bölmelerdeki üretim miktarlarını temsil eden üretim karar değişkenleri, doğrusal programlamanın bölünebilirlik özelliğinden dolayı, 0 ile 1 arasındaki rasyonel sayılardan herhangi bir değeri alabilmişlerdir. Bazı bölmelerin aynı yada farklı periyotlarda, farklı üretim sistemleriyle üretilmesi zorunluluğunu ortaya çıkarmıştır. Örneğin, 10 nolu bölmede aynı periyotta iki farklı üretim sistemi, 3 nolu bölmede ise aynı periyotta 3 farklı üretim sisteminin farklı oranlardaki dikili ürünün üretimi için kullanılması gerekmiştir. Teorik olarak, bu operasyonel kararların uygulanması amaç fonksiyonunu minimize edebilmektedir. Ancak, arazide bölmelerin belirtilen oranlardaki ürün hacmine bölünmesi uygulanabilirlik açısından tartışma konusu olarak belirlenmiştir.

**Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama Modeli (Model-2):** Model-2' de çevresel-kurumsal ve periyot etki maliyetleri, operasyon maliyet katsayılarına eklenmiş, üretim karar değişkenleri, ikili tamsayı değişken [0/1] ile; taşıma karar değişkenleri ise sürekli sayılarla temsil edilmiştir. Kayıp miktarı maliyet katsayıları da üretim karar değişkenlerine bağlandığından, katsayıların 0/1 tamsayılı 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' nin tamsayılı programlama tekniğine göre çözümlenmesi sonucunda, amaç fonksiyonu değeri; 333.846,9 \$ (ortalama üretim maliyeti 14,27 \$/m<sup>3</sup>) bulunmuştur. Model; her bir bölmeye, bir periyotta, bir üretim metodu ve bir üretim sistemi atayabilmiştir. Periyot sınırlarına göre üretim miktarlarını ve depo taleplerine göre de taşıma miktarlarını düzenlemiştir. Gerekli teknoloji kullanım oranını da ortaya koymuştur (Tablo 6). OP yılı boyunca 29.642 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.

Bazı kaynak kısıtlarının farklı değerde olması durumunda karar değişkenlerinin değişimini izlemek için LP tabanlı Model-1' de olduğu gibi bir takım senaryolar denenmiştir. Senaryo-1' de öncelikle varolan üretim teknolojilerin tercih edilmesi analiz edilmiş, kullanılabilirliği ve elde edilebilirliği yüksek oranda olduğundan insan ve hayvan gücü fonksiyonuna bağlı (1, 2, 5, ve 6 nolu) üretim teknolojilerini kullanımı esas alınmıştır. Temel teknolojinin kullanılması koşulunun sınırdığı bu senaryoda, 10 denemede diğer tüm çözümlerde kullanılan masaüstü bilgisayar ile çözüm elde edilememiştir. Ancak, modelin doğrusal programlama çözümünün olmasından dolayı tamsayı programlama ile de çözülebileceği bilindiğinden, % 1 optimalite toleransı [32] ile yeniden çözüm aranmış ve amaç fonksiyonu değeri 473 857.7 \$ bulunmuştur. Amaç fonksiyonu değeri, Model-2' ye göre % 42 oranında artmıştır. Ara ve ileri teknoloji kullanımı kısıtlandığından insan gücüyle çalışma miktarı olağan biçimde artmıştır. Üretim görececek bölmelerin zamansal sırası değişmiştir.

Senaryo-2' de, 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 düşünüldüğünde amaç fonksiyonu değeri 361.475,2 \$ bulunmuştur. Bu senaryoda amaç fonksiyonu değeri, Model-2' ninkinden % 8 oranında fazla; Senaryo-1' den ise % 24 oranında daha az bulunmuştur.

MIP tabanlı operasyonel karar modeli olan Model-2' nin çözümünden elde edilen bulgulara göre üç boyutlu, bir operasyon plan taslağı tablosu oluşturulabilmiştir (Tablo 7).

Buna göre; başlangıç sırası, bölmenin özel hallerine (meşcere özellikleri, yol durumu, bölmenin uzaklığına, vb.) yada karar verici ve/veya uygulayıcıya bırakılmak üzere, üretim için (örneğin) öncelikle 5 nolu bölmeye girilecek; kesme, budama-tomruklama ve kabukların soyulması için motorlu testere kullanılacak; uzun boy tomruk metodunun tercih edildiği bu bölmede, bölmeden çıkarma için orman traktörleri kullanılacaktır. Bölmede bulunan etanın tamamı alınarak 8 veya 9 nolu bölmeye geçilecek ve işlemler devam ettirilecektir. OP modelinin sunduğu çözüm kümesinin analizi bu şekilde yapılabilmektedir. Ardışık periyotta da tabloda verilen sistemler kullanılarak işlemler sürdürülecektir. Her bir bölmeye, bir periyot ve bir üretim sistemi atandığından, uygulama açısından anlaşılabilir bir plan taslağı oluşturulduğu ortadadır. Bu plan için gerekli olacak işgücü miktarları da Tablo 6' da özetlenmiştir.

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 güzergahtan/rotadan taşıma yapılacağı plan taslağında gösterilebilmiştir (Tablo 8).

**Tablo 6.** 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

**Tablo 7.** Model- 2 temel çözümünde yer alan üretim karar değişkenlerine göre OP çizelgesi

BÖLMELER																
ÜRETİM SİSTEMLERİ	No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	No	PERİYOTLAR	
	3									1	1					I
	7					1										
	1							1								II
	4				1						1		1			
	7						1									
	3											1				III
	4		1													
	8	1														
	4			1												IV

**Tablo 8.** Model-2 Temel çözümünde yer alan taşıma karar değişkenlerine göre OP çizelgesi

BÖLMELER																
GÜZERGAHLAR	No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	No	PERİYOTLAR	
	1					540,3				563,5	642,9					I
	1						261,9	711,7			679,1		573,3			II
	6				720,9											
	1											656,6				III
	3	4219,9	8280													
	1			348,7												IV
	2			4476,3												

**Model -1 ve Model -2' nin 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 OP temel algoritması ile desteklenebilmektedir. Ancak, Model-1 ve Model-2 amaç fonksiyonu değerlerine göre 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. LP tabanlı Model-1, MIP tabanlı Model-2'den % 11 daha düşük amaç fonksiyonu değerine sahiptir ki, minimizasyon denkleminde dolayı bu istenen yönde bir üstünlüktür.

Model - 1, üretim bölmelerini hem periyotlara hem de üretim sistemlerine göre bölmüştür. Model-2 ile temsil edilen 0/1 MIP problemi, doğrusal programlama modelinin tamsayılı değişkenlerle ifade edilmesi sonucunda ortaya çıkmıştır. Modelin bu yapıya dönüşmesinde, orman bölmelerinin bölünmezliği, her bir bölme/bölmeciğe yalnızca bir üretim sisteminin atanması, minimizasyon denkleminde kayıp maliyetlerinde gösterilmesi, etkili olmuştur. Model-2' de her bir bölmeye; bir periyot, bir üretim metodu ve bir üretim sistemi atanmıştır.

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 yapısını ve tipini

belirleyebilmektedir. Teknoloji düzeyinin temsiline bağlı olarak manuel biçimde STD'si değiştirilerek gerçekleştirilen MIP modelinin (Model-2) çözüm sonuçlarına göre; üretim karar değişkenlerinin alternatiflere karşı daha hassas olduğu anlaşılmıştır. 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-1, yarı sürekli ve sürekli sayılarla temsil edilen doğrusal programlama denklemdir. LP denklemlerinin karakteristiği, karar değişkeni değerlerinin bölünebilmesidir. Yani, temel çözümde yer alan karar değişkenlerinin kesirli değerler alabilmesidir [31, 33, 34]. Model-1, bu karakteri taşıyarak üretim bölmelerini hem periyotlara hem de 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; teorik olarak kaynakların paylaşılması ve üretim çizelgelerinin ekonomik ve teknik yorumu oldukça kolaydır. Uygulamada ise, her bir bölmeye bir atama olacağından planlama ve uygulama karmaşası olmayacaktır. Bu yönüyle, MIP denklemlerinin üstünlüğü göze çarpmaktadır.

Üretim miktarının üretim sistemlerine dağıtılma oranları kullanılarak çok ölçütlü analizlerle yapılan işlemler sonucunda elde edilmiş göreceli önemlilik değerlerini gösteren skor değerleri çarpılarak Model-1 ile Model-2'nin tercih ettiği üretim sistemlerinin uygunluk değerine bakıldığında, 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 ve ergonomik açıdandır.

LP modelinin tüm bu üstünlüklerine rağmen, problemin teorik çözümlene 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 tamsayı doğrusal programlama modelinin kullanılması uygun bulunmuştur.

### **3.2. Alternatif Yaklaşımların Üretim Maliyetlerine Göre Karşılaştırılmasından Elde Edilen Bulgular ve Tartışılması**

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 ve amaç fonksiyonu değerleri bakımından karşılaştırılmıştır.

#### **Planlama olmaksızın gerçekleşen üretim faaliyetleri**

**Yaklaşım-1:** Operasyonel planlamaya konu alanda; yalnızca insan gücü kullanımının ve hayvan gücü kullanımının fonksiyonu olan iki odun üretim sistemi kombinasyonu oluşturulabilmektedir. Bu durumda, herhangi bir sınırlandırıcı faktör olmaksızın operasyonların maliyetleri hesaplandığında; üretim için toplam 868.583,6 \$ ödenmesi gerektiği hesaplanmıştır. İnsan gücüne bağlı üretim sisteminin seçilmesi koşulunda, bölmeden çıkarma operasyonları sırasında çeşitli nedenlerden dolayı toplam 3.059 m<sup>3</sup> ürün kaybının meydana gelmesi ve bu miktarın satılmamasından dolayı oluşacak gelir kaybının da maliyetler üzerine eklenmesiyle 1 m<sup>3</sup> odun hammaddesi üretmek için toplam 24,84 \$/m<sup>3</sup> bedel ödenmiş olacaktır. Buna karşın, günlük ortalama 8 saat çalışılacağı düşünülerek 5 kişiden oluşan bir üretim ekibinin 94.040,4 saat çalışması gerektiği belirlenmiştir. Yıllık çalışılabilir gün sayısı 220 olarak karşılaştırıldığında, yaklaşık 53 üretim ekibinin (265 adam/yıl) gerektiği ortaya çıkarılmıştır.

**Yaklaşım-2:** Yaklaşım-1'deki problem yapısına bu kez, operasyonel planlama stratejilerinde kullanılan zaman kısıtlayıcıları eklenmiştir. LP denklemleri kullanılarak, insan gücüne bağlı üretim sistemleri dışındaki diğer üretim sistemlerinin kullanılmayacağı koşulu getirilmiştir. Buna göre, toplam 520.810,6 \$ üretim maliyetinin oluşacağı; ortalama birim üretim maliyetinin ise 25,44 \$/m<sup>3</sup> olacağı bulunmuştur. Sınırlanan zaman çerçevesinde, insan gücüyle üretim yapmak için gerekli işgücü saatinin, 119.972,25 saat olduğu ve bir önceki yaklaşıma göre yaklaşık % 27 oranında arttığı belirlenmiştir.

**Yaklaşım-3:** Planlama alanı olarak alınan orman işletme şefliğinde, OP yılında, mevcut yönetmelik ve yörede kullanılan üretim sistemlerine göre gerçekleştirilmiş odun üretim maliyetlerine ilişkin elde edilen gerçekleştirme sonuçları, "bölme üretim dosyaları" üzerinden incelendiğinde, birim fiyat kararları ve metraj cetveline göre, bölmelerin ortalama toplam üretim birim maliyetlerinin 11,51 \$/m<sup>3</sup> olduğu bulunmuştur. Bu maliyet değeri, üretim sonrası primleri içermemektedir. Maliyetler, insan gücüne bağlı üretim sistemi maliyetlerinin fonksiyonudur. Uygulamada, insan gücüne dayalı üretim sistemi kullanıldığından % 13' lük bir kalite ve miktar kaybının olduğu dikkate alınırsa, bunun maliyetler (giderler) üzerindeki etkisinin de hesaplanması ile ortalama birim maliyetin, 18,24 \$/m<sup>3</sup> olduğu ortaya çıkarılmıştır.

#### **3.2.2. Transport planlaması**

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; operasyonlar sırasındaki ürün kayıp miktarının maliyetleri de yansıtılarak toplam ortalama birim maliyetlerin 16,84 \$/m<sup>3</sup> olarak gerçekleşebileceği hesaplanmıştır.

#### **Katsayıların nicel maliyetlere dönüştürülerek kullanıldığı operasyonel planlama modeli**

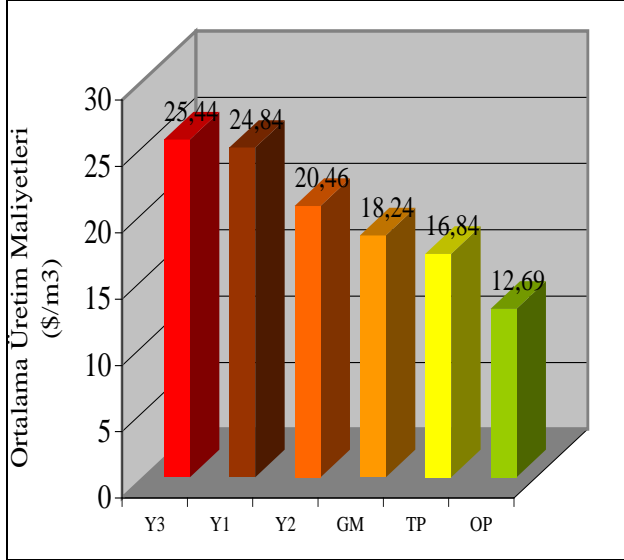
Operasyonel planlama modelinin kıyas edilebilir maliyetini bulmak için, MIP modelinin (Model-2), çevresel ve kurumsal maliyetlere göre düzenlenmiş denkleminin çözüm raporundan yararlanılmıştır. Temel çözüm kümesine giren üretim karar değişkenleri üzerinde ÇEM ve PEM katsayıları kaldırılarak, nicel maliyetlere göre gerçek maliyetler bulunmuş ve bunlar; periyoda, üretim yöntemine ve üretim sistemine göre yeniden hesaplanmıştır [27]. Üretim operasyonlarının bu modele göre gerçekleştirilmesi durumunda, toplam ortalama üretim maliyetinin 12,69 \$/m<sup>3</sup> olduğu bulunmuştur. Bu, uygun modelin tercih ettiği sistemlerin, gerçek maliyet katsayılarına göre hesaplanmış durumudur.

#### **Operasyonel planlamanın diğer yaklaşımlarla karşılaştırılması**

Operasyonel planlama yaklaşımı ile gerçekleştirilecek odun hammaddesi üretiminde, elde edilen toplam ortalama üretim maliyetlerinin diğer yaklaşımlardan daha düşük olabileceği belirlenmiştir (Şekil 1). Operasyonel planlama yaklaşımını (OP) kullanmakla ortalama üretim maliyetlerinde;

- Bir planlama yapılmaksızın yalnızca var olan insan gücü ile üretim yapılmasına (Y1) göre % 49,
- Herhangi bir plan olmaksızın insan ve hayvan gücünden oluşan ve hiç bir işgücü kısıdının konulmadığı odun üretim operasyonlarına (Y2) göre % 38,

- Operasyonel planlamada kullanılan kaynak kısıtlayıcılarının aktüel işleyişe uygulanmasına (Y3) göre % 50,
- OP yılında, işletmede üretim programlarının uygulanmasıyla ortaya çıkan (kayıp maliyetlerinin eklendiği) gerçek maliyetlere (GM) göre % 30,
- Transport planlaması yaklaşımına (TP) göre ise % 25, tasarruf sağlanabileceği belirlenmiştir.



Şekil 1. OP' nin alternatif yaklaşımlarla karşılaştırılması

Karşılaştırmalarda, uygulama sonucu elde edilen ortalama üretim maliyetleri haricindeki diğer rakamlar, teorik olarak hesaplanmıştır. Ancak, uygulamada gerçekleşen maliyetler (GM); bu tez çalışmasında konu edinilen alanda ve yılda gerçekleşmiş odun üretim operasyonu ortalama maliyetlerini yansıtmaktadır. Üstelik, bu rakamlarda işçilere ödenen primler de eklenmemiş durumdadır.

OP' nin 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.

OP' nin ortalama üretim maliyetleri bakımından elde edilen üstünlüğü yanında, çok ölçütlü analizlerle oluşturulmuş nitel değerlendirmelere göre de üstünlük gösterdiği bulunmuştur. Örneğin; transport planının nitel değeri 5,8' dir. Ancak, OP yaklaşımının nitel değeri ise 8,06'dır. En uygun değer 9 olduğu hatırlanırsa, OP yaklaşımının bu bakımdan da üstünlüğü ortaya konulmuştur.

Operasyonel planlama için, ortalama üretim maliyetleri hesaplanmasında daima üretim kayıplarından doğan zarar da, maliyete eklenmiştir. Ancak, bu olması beklenen sabit bir sayı ile nitelendirildiğinden, her zaman bu kadar oranda ürün kaybının ortaya çıkması söz konusu olmayabilir. Gerçek maliyetlerle karşılaştırmada, bölme dosyalarından elde edilen bilgilere göre ortalama % 13' lük ürün kaybı meydana geldiği anlaşıldığından

gerçekleşme sonuçlarının bu miktar kadar olduğu görülmüştür. Buna rağmen, ürün kayıplarının işleme sokulmadığı bir hesaplamada OP yaklaşımı ile elde edilen ortalama üretim maliyetinin (11,02 \$/m<sup>3</sup>); uygulama sonuçlarında ulaşılan (11,51 \$/m<sup>3</sup>) ortalama üretim maliyetinden % 4 daha az bir maliyete tekabül ettiği bulunmuştur. Uygulama sonuçlarında ortaya çıkan maliyetin, herhangi bir kısıt olmaksızın birim fiyat üzerinden hesaplanmış olduğu ve primleri içermemesi de dikkate alınırca 1 m<sup>3</sup> odun hammaddesi elde ediniminde OP yaklaşımının kazandırdığı avantajın % 4'den daha fazla olacağı açıkça ortadadır.

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 \$/m<sup>3</sup> ortalama üretim maliyetinin oluşacağı; bunun da, uygulama sonuçlarından % 16 daha düşük bir maliyete tekabül edeceği bulunmuştur.

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 1.344 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 tanınmıştır.

Bu bakımdan operasyonel planlama modeli, halihazırda gerçekleştirilen odun üretim faaliyetlerinden ve fiziksel planlama yaklaşımlarından; ortalama üretim maliyetlerinin minimizasyonu yönüyle daha iyi sonuçlar vermiştir. Bu bulgular; çevresel, sosyo-ekonomik, ekonomik ve teknik yönden de OP' nin diğer odun üretim yaklaşımlarından daha üstün olabileceğini göstermektedir.

## Sonuçlar ve Öneriler

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 ölçütlü analizlerle operasyonların çevresel zararlarını azaltıcı yöntemlerin kullanılması, sağlanmaya çalışılmıştır. Aynı süreçte, işçi sağlığı ve iş güvenliğini amaçlayan insancıl ve kurumsal faktörleri de dikkate alan bir operasyonel planlama yönteminin ortaya konulması hedefi de 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. Yıllık düzeyde operasyonel planlama metodolojisinin geliştirilmesi ve bu yönde bir model oluşturulması bakımından da, bu çalışma ile;

- Kurgulanan model çalışmış ve CBS – AHP –YA gibi modern planlama araçlarının bir arada kullanıldığı operasyonel bir planlama modelinin çerçevesi oluşturulmuştur.
- Operasyonel kararların desteklenebilmesi amacıyla matematiksel programlama tekniklerinden, doğrusal ve tamsayılı programlama modelleri geliştirilmiştir. Doğrusal programlama modelleri, bölünebilirlik özelliklerinden dolayı uygulanabilirlik açısından uygun bulunmazken; MIP modeli uygulanabilirlik bakımından, operasyonel karar modeli olarak benimsenmiştir.
- Alternatif üretim sistemlerinin analiz edilmesiyle, başpamak kuralı denilen bilindik işleyişe göre, motorlu testereye bağlı olan mekanizasyon düzeyi, orman köylülerinin istihdam edilebilme koşuluyla birlikte, toplam üretim miktarı başına % 65-75 oranında yükseltilebilecektir.
- Operasyonel karar modeline bağlı planlama ile odun hammaddesi toplam ortalama üretim maliyetleri; eğer üretim kayıplarından dolayı meydana gelen satış geliri zararı dikkate alınmazsa, en az % 4; dikkate alınrsa yaklaşık % 30 azaltılabilmektedir. Buna karşın model, yoğun insan işgücüne 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 niteliktedir.

Son olarak; DOİ' lerin yada yerini alabilecek özel/tüzel odun hammaddesi üreticilerinin kabul edilebilir bir üretim

## Teşekkür

Bu çalışma; SDÜ Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Tarafından 521 Kod Nolu Doktora Tezi Projesi olarak Desteklenmiş ve KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman

## Kaynaklar

- (1) Erdaş, O., 1986, Odun Hammaddesi Üretimi, Bölmeden Çıkarma ve Taşıma Safhalarında Sistem Seçimi, Karadeniz Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi 9 (1-2), 91-113
- (2) OGM, 2004. Orman Genel Müdürlüğü 2004 Yılı Döner Sermaye Bütçesi, Çevre ve Orman Bakanlığı OGM/APK Dairesi Başkanlığı, Şubat-2004, Ankara, 127 s.
- (3) Gürtan, H., 1975. Dağlık ve Sarp Arazili Ormanlarda Kesim ve Bölmeden Çıkarma İşlerinde Uğranılan Kayıpların Saptanması ve Bu İşlerin Rasyonelizasyonu Üzerine Araştırmalar, TUBİTAK Yayın No: 250, TOAG Seri No: 38, Ankara.

etkinliği için planlamaya gereksinimi vardır. OP modeli, yıllık operasyonel planlama için oldukça uygundur. Gerek halihazır işleyişte gerekse odun üretim sistemlerinin yeniden tasarımı bu yöntem uygulanarak maliyet, sosyo-ekonomi ve çevresel ölçütleri tatmin edici kararların alınması desteklenebilir.

Orman kaynaklarının sürdürülebilirliği için uzun ve orta dönemli planlama yaklaşımları kadar kısa vadeli operasyonel planlama yaklaşımları da gündeme getirilmelidir. Bu nedenle, işletme bazında OP uygulamalarına ivedilikle geçilmelidir. Üretim programlarının yerine yada bunlarla birlikte OP modelinin kullanılması maliyetleri azaltıcı yönde avantajlar sağlayacaktır. Bu bakımdan;

- Odun hammaddesi üretiminin planlanması için konumsal veritabanı (CBS ile) oluşturulmalı ve operasyonel envanter yöntemleri geliştirilmelidir.
- Yıllık odun taleplerinin belirlenebilmesi amacıyla yöresel bazda piyasa araştırılması yapılmalıdır. Orman işletmesi ile alıcılar arasında bir iletişim sistemi (Lojistik sistem çerçevesiyle) kurulmalıdır.
- Önerilen planlama yaklaşımının uygulamaya aktarılabilmesi için CBS ile birlikte, matematiksel programlama gibi sayısal karar verme tekniklerinin yer aldığı teknolojilerin yazılımı, donanımı ve kullanımı da orman işletmelerine kazandırılmalıdır.
- 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.
- 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.

Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Doktora Tezi olarak tamamlanmıştır.

- (4) Acar, H.H., 1994. Ormanlıkta Transport Planları ve Dağlık Arazide Orman Transport Planlarının Oluşturulması, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Doktora Tezi, 150 s., Trabzon
- (5) ÖİKRT, 2005. "IX. Beş Yıllık Kalkınma Planı Ormanlık Özel İhtisas Komisyonu Raporu: Birinci Taslak", www.ogm.gov.tr 10 Mart 2006
- (6) Engür, O.M., 1996. Orman Ürünlerinin Hasadında Teknoloji Seçimi ve Mekanizasyon Olanakları, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Doktora Tezi, İstanbul, 216 s.
- (7) Bayoğlu, S., 1996. Orman Nakliyatının Planlanması, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yayınları No:3941/8, İstanbul, 169 s.

- (8) Acar, H.H., 1997, Dağlık Arazide Orman Traktörleri ile Bölmeden Çıkarma Çalışmalarının İncelenmesi, TUBİTAK Doğa Dergisi, 21 [2], 195 -200
- (9) Tavşanoğlu, F., 1964. Orman Transport Tesisleri ve Taşıtları, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları No: 1069/95, İstanbul
- (10) Seçkin, Ö.B., 1978. Demirköy Karamanbayırı Devlet Orman işletmesi Çakmaktepe Bölgesi Yol Şebekesinin Planlama Tekniği Bakımından Araştırılması, OGM Yayınları No: 622/132, İstanbul.
- (11) 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.
- (12) Mathews, D. M. 1942. Cost Control in the Logging Industry. McGraw-Hill.
- (13) Bayoğlu, S., 1972. Türkiye’ de Orman Nakliyatı ve Geliştirilmesi İmkanları Üzerine Bir Etüd, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları No: 1747/185, İstanbul, 73 s.
- (14) Mikkonen, E., 2002. Recent Developments and Research Needs 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.
- (15) Reimer, D.R., 1979. An Operational Computer Assisted Forest Engineering System, Proceedings of Symposium on Mountain Logging, Ed. by W. Carson, J. Jorgensen, H. Lyons, IUFRO, 10-14 September, University of Washington.
- (16) 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
- (17) Soykan, B., 1978. Ormancılıkta Transport Sorunlarının Çözümü. KÜ-Orman Fakültesi Dergisi 1 (2), 17-32
- (18) 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 Achieve Sustainable Forests, Ed. by C.R. Blinn, M.A. Thompson, COFE - 19<sup>th</sup> Annual Meeting and IUFRO, July 29 – August 1., USA, pp.201-212.
- (19) 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.
- (20) 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.
- (21) Weintraub, A. ve Cholaky, A., 1991. A Hierarchical Approach to Forest Planning, Forest Science 37 (2), 439-460
- (22) Laroze 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
- (23) 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
- (24) 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
- (25) Martell, D.E., Gunn, E. ve Weintraub, A. 1998. Forest Management Challenges for Operational Researchers, European Operational Research 104(1), 1-17
- (26) Branney, P., Dutton, T., 2003. Operational Planning –Forest Management Planning Code of Bhutan, Working Draft – Forest Resource Development Division, Ministry of Agriculture, Thimphu-Bhutan, 44 p.
- (27) Eker, M. 2004. “Odun Hammaddesi Üretiminde Yıllık Operasyonel Planlama Modelinin Geliştirilmesi”, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendis. Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Eylül 2004, Trabzon, 239 s.
- (28) Robak, E.W., 1990. Integrated Forest Operations Planning, Forest Modelling Symposium, 13-15 March 1989, Canada
- (29) Samset, I., 1979. The Accessibility of Forest Resources, Proceedings of Symposium on Mountain Logging”, Ed. by W. Carson, J. Jorgensen, H. Lyons, IUFRO, 10-14 September, University of Washington.
- (30) Erdaş, O., 1997. Orman Yolları – Cilt I, KTÜ Orman Fakültesi Yayınları No:187/25, Trabzon, 390 s.
- (31) Taha, H.A., 2000. Yöneylem Araştırması, Çev. Baray, Ş.A. ve Esnaf Ş., Literatür Yayınları: 43, 905 s., İstanbul
- (32) LINDO, 2004. [www.lindo.com](http://www.lindo.com) 03.Aralık.2004
- (33) Rardin, R.L., 1998. Optimization in Operation Research, Prentice Hill, USA, 905 p.
- (34) Bakır, M.A., Altunkaynak, B., 2003. Tamsayılı Programlama – Teori, Modeller ve Algoritmalar, Nobel Basımevi, Ankara, 927 s.