

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ORMAN YOL AĞI ÜZERİNDE ODUN HAMMADDESİ TAŞIMASININ**  
**TAVLAMA BENZETİMİ YÖNTEMİ İLE OPTİMİZASYONU**

**DOKTORA TEZİ**

**Orm. Yük. Müh. Erhan ÇALIŞKAN**

**EKİM 2008**

**TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ORMAN YOL AĞI ÜZERİNDE ODUN HAMMADDESİ TAŞIMASININ  
TAVLAMA BENZETİMİ YÖNTEMİ İLE OPTİMİZASYONU**

**Orm. Yük. Müh. Erhan ÇALIŞKAN**

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

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 06.10.2008  
Tezin Savunma Tarihi : 07.11.2008**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. H.Hulusi ACAR  
Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Selçuk GÜMÜŞ  
Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Osman ÜÇÜNCÜ  
Jüri Üyesi : Doç. Dr. Hamdi ÖĞÜT  
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Mesut HASDEMİR**

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

**Trabzon 2008**

## ÖNSÖZ

‘‘Orman Yol Ağı Üzerinde Odun Hammaddesi Taşımasının Tavlama Benzetimi Yöntemi ile Optimizasyonu’’ isimli bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalında ‘‘Doktora Tezi’’ olarak hazırlanmıştır.

Bu tez çalışmasında; tez konusunun seğıiminden çalışmaların yürütülmesi ve sonuçlandırılmasına kadar her aşamada, rahatça çalışabilmem için her türlü desteği sağlayan Tez Danışmanım Sayın Hocam Prof. Dr. H. Hulusi ACAR’a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Doktora çalışma konusunun yürütülmesinde fikir desteğini esirgemeyen ve tez izleme komitesi üyesi olan Sayın Yrd. Doç. Dr Selçuk GÜMÜŞ’e; öneri ve uyarılarından yararlandığım ve tez izleme komitesi üyesi olan Sayın Yrd. Doç. Dr. Osman ÜÇÜNCÜ’ye; bir süre tez izleme komitesi üyeliği yapan ve önerilerinden yararlandığım Sayın Prof. Dr. Hakkı YAVUZ’a teşekkür ederim. Konunun çalışılabilirliği hususunda değerlendirme ve önerilerinden yararlandığım Sayın Doç. Dr. Abdullah Emin AKAY’a teşekkür ederim. Prof. Dr. Mesut HASDEMİR, Prof. Dr. Metin TUNAY ve Doç. Dr. Hamdi ÖĞÜT hocalarıma da önerilerinden dolayı ayrı ayrı teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Visual C++ programlama konusunda yardımcı olan Öğr. Gör. Oğuzhan ÇAKIR’a, Uzman Yusuf SEVİM’e ve Arş. Gör. Emre ÖZKOP’a teşekkür ederim. Çalışma sürecinde yanımda olan destek ve yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Sadık ÇAĞLAR’a ve Arş. Gör. Yılmaz TÜRK’e teşekkür ederim.

Arazi çalışmalarımın yürütülmesinde yardımcı olan Giresun Orman İşletme Müdürlüğü yöneticilerine ve Anbardağ Orman İşletme Şefi Sayın Mustafa Duman’a ve teknik personeline teşekkür ederim. Eğitimimde emeği olan Değerli Ailem’e de ayrıca teşekkür ederim.

Bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Araştırma Projeleri Yönetim Birimi tarafından 2006.113.001.2 Kod No’lu Doktora Tezi Projesi olarak desteklenmiştir.

Bu çalışmanın, optimizasyon işleriyle ilgilenen herkese yararlı olması ve yapılacak yeni araştırmalara katkı sağlaması en büyük dileğimdir.

Erhan ÇALIŞKAN

Trabzon 2008

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	VI
SUMMARY.....	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XIII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Literatür Özeti.....	6
1.3. Ormancılıkta Odun Hammaddesi Taşımalarının Önemi ve Ülkemizdeki Durumu .....	12
1.4. Ormancılıkta Odun Hammaddesi Taşımalarının Sınıflandırılması.....	13
1.5. Ormancılıkta Odun Hammaddesi Taşımalarını Etkileyen Faktörler.....	15
1.6. Orman Yol Ağları .....	16
1.6.1. Ana Orman yolları.....	18
1.6.2. Tali Orman Yolları.....	18
1.6.3. Traktör Yolları .....	20
1.7. Orman Hammaddesi Taşımalarında Yükleme ve Boşaltma İşleri.....	20
1.8. Odun Hammaddesi Taşıma Teknikleri.....	22
1.8.1. Traktör Treylerle Taşıma.....	23
1.8.2. Kamyon ve Kamyon-Treyler ile Taşıma.....	24
1.8.3. Uzun Mesafeli Orman Hava Hatları ile Taşıma.....	25
1.8.4. Su ile Taşıma.....	25
1.8.5. Hava Yolu ile Taşıma.....	26
1.9. Orman Yolları ile Taşıma Araçları Arasındaki İlişkiler.....	27
1.10. Odun Hammaddesi Depoları ve Önemi .....	29
1.11. Odun Hammaddesinin Taşınmasında CBS'nin Kullanılması.....	31

1.12.	Odun hammaddesi Taşımada Sezgisel ve Meta-Sezgisel Yaklaşım.....	32
1.12.1.	Optimizasyon Kavramı.....	32
1.12.2.	Sezgisel ve Meta-Sezgisel Yöntemler.....	33
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	40
2.1.	Araştırmanın Sınırlandırılması ve Planlanması.....	40
2.1.1.	Araştırmanın Coğrafik, Teknik ve Zaman Açısından Sınırlandırılması.....	40
2.1.2.	Araştırmanın Planlanması.....	41
2.2.	Materyal.....	42
2.2.1.	Çalışma Alanının Tanıtımı.....	42
2.2.1.1.	Çalışma Alanının Konumu ve İklim Özellikleri.....	42
2.2.1.2.	Çalışma Alanının Orman Varlığı ve Yol Ağı Planı.....	45
2.2.1.3.	Piyasa ve Tüketim Merkezleri.....	47
2.2.1.4.	İşgücü Potansiyeli.....	48
2.2.2.	Araştırmada Kullanılan Yazılımlar ve Donanımlar.....	49
2.3.	Yöntem.....	51
2.3.1.	Veri Tabanının Oluşturulması .....	52
2.3.2.	Ağ Analizi .....	54
2.3.2.1.	Yeni Güzergâhlar (Linkler).....	55
2.3.2.2.	Mevcut Güzergâhlar (Linkler).....	56
2.3.2.3.	Yol Standartları .....	56
2.3.2.4.	Orman Depoları ve Odun Hammaddeleri .....	57
2.3.3.	Taşıma Maliyetlerinin Hesaplanması .....	58
2.3.4.	Tavlama Benzetimi (Simulated Annealing) .....	61
2.3.4.1.	Komşu Değişim Stratejisi.....	64
2.3.4.2.	Kabul Fonksiyonu ve Tavlama planı.....	65
2.3.5.	Optimizasyon Çalışması ile Önceliklerin Belirlenmesi ve Problemin Varsayımları.....	66
2.3.6.	İstatistiksel Değerlendirme .....	67
2.3.7.	Modelin Uygulanması.....	68
3.	BULGULAR VE TARTIŞMA.....	70
3.1.	Araştırma Alanına Ait Bulgular ve Tartışma.....	70
3.2.	Araştırma Alanına Ait Mevcut Orman Yol Ağı Bulgu ve Tartışması.....	76
3.3.	Araştırılan Yol Ağı Sistemi Üzerindeki Bulgular .....	80

3.4.	Odun Hammaddesi Miktarları ve Depo Fiyatları Bulguları.....	82
3.5.	Tavlama Benzetimi'nin Odun Hammaddesi Taşıma Problemine Uygulanması.....	84
3.5.1.	Sistemin Tanımlanması.....	84
3.5.2.	Değişim Stratejisi.....	84
3.5.3.	Amaç Fonksiyonu.....	84
3.5.4.	Tavlama Planı.....	87
3.6.	TB Algoritmasında Uygun Parametre Setinin Belirlenmesi İçin Bulgular ve Tartışma.....	90
3.7.	Model1-1 İçin Ağ Analizine Ait Bulgular .....	91
3.7.1.	Model1-1 İçin TB Algoritmasına Göre Deneysel Bulgular ve Tartışması...	94
3.7.2.	Model1-1 İçin TB Algoritmasına Göre Deney Tasarımı Analizi.....	96
3.7.3.	Model1-1 İçin En uygun Alternatif Güzergahlar ve Taşıma Maliyeti.....	101
3.8.	Model1-2 İçin Ağ Analizine Ait Bulgular .....	104
3.8.1.	Model1-2 İçin TB Algoritmasına Göre Deneysel Bulgular ve Tartışması...	106
3.8.2.	Model1-2 İçin TB Algoritmasına Göre Deney Tasarımı Analizi.....	108
3.8.3.	Model1-2 İçin En uygun Alternatif Güzergahlar ve Taşıma Maliyeti.....	112
3.9.	Model2-1 İçin TB Algoritmasına Göre Deneysel Bulgular ve Tartışması...	115
3.9.1.	Model2-1 İçin TB Algoritmasına Göre Deney Tasarımı Analizi.....	118
3.9.2.	Model2-1 İçin En uygun Alternatif Güzergâhlar ve Taşıma Maliyeti.....	121
3.10.	Model2-2 İçin TB Algoritmasına Göre Deneysel Bulgular ve Tartışması...	124
3.10.1.	Model2-2 İçin TB Algoritmasına Göre Deney Tasarımı Analizi.....	126
3.10.2.	Model2-2 İçin En uygun Alternatif Güzergâhlar ve Taşıma Maliyeti.....	130
3.11.	Odun Hammaddesi Taşıma Modellerinin Genel Olarak Tartışılması.....	131
4.	SONUÇLAR .....	135
5.	ÖNERİLER.....	138
6.	KAYNAKLAR.....	140
	ÖZGEÇMİŞ.....	148

## ÖZET

Ormancılıkta odun hammaddesi taşınması bölmeden çıkarma ve ana taşıma operasyonlarından oluşur. Bu operasyonlarda ortalama birim taşıma maliyetleri oldukça yüksektir. Maliyetleri azaltmanın bir çok çözüm yolları olup bunlar arasından optimizasyon, en etkili olanlarındandır.

Bu çalışmada, orman yol ağı üzerinde odun hammaddesi taşıma modeli ve çözüm yöntemi geliştirilmiştir. Odun hammaddesi taşınmasına yönelik yıllık taşıma modeli, işletme şefliği bazında ve üretimin yoğun olduğu bölmelerde, çeşitli standartlardaki odun hammaddesinin rampalardan ana depolara taşıma maliyetlerinin minimize edilmesini ve taşıma ağlarının tasarımını kapsayacak şekilde oluşturulması amaçlanmıştır. Bu amaç için teknik, topoğrafik, ekonomik kriterlere uygun bir modelleme stratejisi hedeflenmiştir. Optimizasyon çalışmasında, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yardımıyla alana ilişkin konumsal veri tabanı kurulmuştur. Modelin çözümü için meta-sezgisel teknikler arasında yer alan Tavlama Benzetimi (TB) algoritması ve Ağ Analizi kullanılmıştır.

Bu amaçla araştırma alanına ait topoğrafya, meşcere, depo satış fiyatları, işgücü, taşıma ve yükleme işleri verileri kullanılmıştır. Bu veriler ışığında oluşturulan modellerle; çeşitli standarttaki odun hammaddesi, rampalar ve depolar dikkate alınarak taşıma maliyetlerini en aza indiren güzergâhın araştırılması ve kamyonla taşıma giderleri ile odun hammaddesinin depo satış fiyatları dikkate alınarak net kârı en yüksek olan güzergâhların seçilebilmesini gerçekleştirecek problemin çözümü optimize edilmiştir.

Modeli daha iyi açıklayabilmek için çalışmaya bir deney tasarımı ve analizi uygulanmıştır. Deney tasarımı yapılırken ele alınan faktörlerin, uygulanan faktörlerin, TB algoritmasının performansı üzerinde etkin olup olmadığını belirlemek için çok yönlü varyans analizi kullanılmış ve bu faktörler için dikkate alınan düzeyler arasında anlamlı bir farklılığın olup olmadığı Duncan çoklu aralık testi ile değerlendirilmiştir.

Araştırma alanında taşıma modelinin kullanılmasıyla yıllık taşıma maliyetlerinde % 14,45 tasarruf sağlanabileceği sonucuna varılmıştır. Taşımanın planlanması çalışmalarında CBS, Ağ Analizi, TB ve İstatistik yöntemlerin kullanılması ile iş gücü, zaman ve maliyet açısından önemli derecede tasarruflar sağlamıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Orman Yolları, Odun Hammaddesi Taşınması, Coğrafi Bilgi Sistemi, Ağ Analizi, Tavlama Benzetimi, Optimizasyon

## SUMMARY

### **The Optimization of Transportation for Wood Raw Material on Forest Road Network by Simulated Annealing**

The transportation of raw wood materials in forestry is carried out in two steps including wood extraction from stump to landings and main transportation from landings to main depots. During these operations average unit cost of transportation can be very high, but there are ways to reduce the cost involved and, of these, the optimization is the most efficient.

In this study, a model was developed to provide a solution for the problem of transporting raw wood material on forest roads. This model aimed to minimize the cost of transportation of raw wood materials of various standards from the landings to the main depots in forest sections where production is done on a large scale. The model also aimed to include the designs of transportation networks. For this purpose, a modeling strategy that is compatible with technical, topographic and economic criteria was developed. During the optimization process, a spatial database was established by means of Geographical Information Systems (GIS). Simulated Annealing (SA) Algorithm and Network Analysis, which are among the meta-heuristic techniques and were used for the solution of the model. The database includes topography of the forest section, stand characteristics, sale price at the depot, labor costs, transportation cost and loading costs. By using these data, the models searches for the optimum route that will minimizes the transportation costs by considering the raw wood materials in various standards, number of landings and depots, and then finds the route with the highest net income by considering transportation costs and the sale price of the raw wood material at the depot.

To present the capabilities of the model, an experimental design and analysis were made in the study. Multiple variance analysis were used in order to understand whether the factors at work during the experimental design were effective on the SA algorithm performance and Duncan multiple test was used in order to understand whether there is a significant difference among the levels taken of these factors.

It was concluded that with the use of transportation model in the research area, 14,45 % of the total transportation cost can be saved. Through the use of GIS, Network Analysis, SA and Statistical methods during the transportation plans, a considerable amount of labor force, time, and cost were saved.

**Key Words:** Forest Roads, Wood Raw Material Transportation, Geographical Information Systems, Network Analysis, Simulated Annealing, Optimization

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Bölmeden çıkarma .....	14
Şekil 2. Orman işletmeciliğinde ana nakliyat aşaması .....	15
Şekil 3. Ormancılıkta odun taşımalarının unsurları.....	15
Şekil 4. B Tipi tali orman yolu.....	19
Şekil 5. Granab yükleyici ile odun hammaddesinin kamyonlara yüklenmesi.....	21
Şekil 6. Traktöre monteli ekipman ile odun hammaddesinin boşaltılması.....	22
Şekil 7. Tarım traktörü tarafından çekilen treyler ile taşıma.....	23
Şekil 8. Orman yolları üzerinde odun hammaddesinin kamyonla taşınması.....	25
Şekil 9. Kamyonla taşınan odun hammaddesinin yandan görünümü.....	28
Şekil 10. Kamyonla taşınan odun hammaddesinin önden görünümü.....	28
Şekil 11. Odun hammaddesinin satış deposundaki görünümü.....	31
Şekil 12. Yerel ve global optimum noktalar.....	33
Şekil 13. Anbardağ Orman İşletme Şefliği sayısal standart topoğrafik haritası.....	44
Şekil 14. Anbardağ Orman İşletme Şefliği bölme numaralarını gösteren harita.....	46
Şekil 15. Teknik standartlara uygun mevcut orman yolu.....	47
Şekil 16. Odun hammaddesi taşımalarının optimizasyonu yönteminde iş akışı.....	51
Şekil 17. Rektifiye edilmiş görüntü üzerinden çalışma alanına ait eşyükselti eğrilerinin sayısallaştırılması.....	53
Şekil 18. Ağ yapısı ve bileşenleri.....	54
Şekil 19. Rampalar ve satış deposu arasında yer alan alternatif güzergâhlar.....	56
Şekil 20. Alternatif yol standartlarının yapay link ve düğüm noktaları ile temsili.....	56
Şekil 21. İki ayrı orman deposu ve bir son durak düğüm noktası içeren ağ modeli.....	57
Şekil 22. Değişik standarttaki odun hammaddeleri için giriş düğüm noktaları ve orman depoları.....	57
Şekil 23. Bir optimizasyon problemi için Tavlama Benzetimi algoritmasının adımları... 63	63
Şekil 24. Anbardağ Orman İşletme Şefliği sayısal arazi modeli.....	71
Şekil 25. Anbardağ Orman İşletme Şefliği yamaç eğim sınıfları haritası.....	73
Şekil 26. Anbardağ Orman İşletme Şefliği bakı sınıfları haritası.....	75
Şekil 27. Orman yolları için oluşturulan grafik ve öznetelik veri tabanı.....	76
Şekil 28. Anbardağ Orman İşletme Şefliğinin mevcut yol haritası.....	77
Şekil 29. Anbardağ Orman İşletme Şefliği optimal orman yol ağı haritası.....	79

Şekil 30.	3 Kod nolu toprak yol.....	80
Şekil 31.	5 Kod nolu stabilize yol.....	80
Şekil 32.	12 Kod nolu asfalt yol .....	80
Şekil 33.	4 Kod nolu stabilize yol .....	80
Şekil 34.	Bicik Orman Deposu görünümü.....	83
Şekil 35.	Kovanlı Orman Deposu görünümü.....	83
Şekil 36.	Odun hammaddesi taşıma problemi için geliştirilen Tavlama Benzetimi algoritması akış diyagramı.....	88
Şekil 37.	Ağ 2008 yazılımının kullanıcı ara birimi.....	90
Şekil 38.	Model1-1'e ait yol verileri.....	92
Şekil 39.	Model1-1 için satış depolarına ulaşan odun hammaddesi verileri.....	92
Şekil 40.	Model1-1 için geliştirilen nakliyat güzergâhları.....	93
Şekil 41.	Model1-1 probleminin TB parametreleri ile çözümü.....	94
Şekil 42.	Model1-1 problemi için, çözüm sayısına göre taşıma maliyeti değerinin değişimi.....	96
Şekil 43.	Soğutma oranı ve başlangıç sıcaklığının taşıma maliyeti üzerindeki birlikte etkilerinin yüzey grafiği.....	99
Şekil 44.	İterasyon sayısı ve başlangıç sıcaklığının taşıma maliyeti üzerindeki birlikte etkilerinin yüzey grafiği.....	100
Şekil 45.	Soğutma oranı ve iterasyon sayısının taşıma maliyeti üzerindeki birlikte etkilerinin yüzey grafiği.....	100
Şekil 46.	T10 odun hammaddesinin R10 rampasından DK deposuna taşıma maliyetini en aza indiren güzergâh.....	103
Şekil 47.	T9 odun hammaddesinin R9 rampasından DB deposuna taşıma maliyetini en aza indiren güzergâh.....	103
Şekil 48.	Model1-2'ye ait yol verileri.....	104
Şekil 49.	Model1-2 için satış depolarına ulaşan odun hammaddesi verileri.....	104
Şekil 50.	Model1-2 için geliştirilen taşıma güzergahları.....	105
Şekil 51.	Model1-2 probleminin TB parametreleri ile çözümü.....	106
Şekil 52.	Model1-2 probleminin, çözüm sayısına göre taşıma maliyeti değerinin değişimi.....	108
Şekil 53.	Soğutma oranı ve başlangıç sıcaklığının taşıma maliyeti üzerindeki birlikte etkilerinin yüzey grafiği.....	111
Şekil 54.	İterasyon sayısı ve başlangıç sıcaklığının taşıma maliyeti üzerindeki birlikte etkilerinin yüzey grafiği.....	111
Şekil 55.	Soğutma oranı ve iterasyon sayısının taşıma maliyeti üzerindeki birlikte etkilerinin yüzey grafiği.....	112

Şekil 56.	M10 odun hammaddesinin R10 rampasından DK deposuna taşıma maliyetini en aza indiren güzergâh.....	114
Şekil 57.	Model2-1 probleminin TB parametreleri ile çözümü.....	115
Şekil 58.	Model2-1 probleminin, çözüm sayısına göre amaç fonksiyonu değişimi.....	117
Şekil 59.	Soğutma oranı ve başlangıç sıcaklığının amaç değeri üzerindeki birlikte etkilerinin yüzey grafiği.....	120
Şekil 60.	İterasyon sayısı ve başlangıç sıcaklığının amaç değeri üzerindeki birlikte etkilerinin yüzey grafiği.....	120
Şekil 61.	Soğutma oranı ve iterasyon sayısının amaç değeri üzerindeki birlikte etkilerinin yüzey grafiği.....	121
Şekil 62.	M9 odun hammaddesinin R9 rampasından DB deposuna satış kârını maksimize eden güzergâh.....	123
Şekil 63.	Model2-2 probleminin TB parametreleri ile çözümü.....	124
Şekil 64.	Model2-2 probleminin, çözüm sayısına göre amaç fonksiyonu değişimi.....	126
Şekil 65.	Soğutma oranı ve başlangıç sıcaklığının amaç değeri üzerindeki birlikte etkilerinin yüzey grafiği.....	129
Şekil 66.	İterasyon sayısı ve başlangıç sıcaklığının amaç değeri üzerindeki birlikte etkilerinin yüzey grafiği.....	129
Şekil 67.	Soğutma oranı ve iterasyon sayısının amaç değeri üzerindeki birlikte etkilerinin yüzey grafiği.....	130
Şekil 68.	S10 odun hammaddesinin R9 rampasından DB deposuna satış kârını maksimize eden güzergâh.....	131

## TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Odun hammaddesinin yurtiçi üretim ve tüketim tahminleri.....	4
Tablo 2. OGM 2006 yılı genel üretim giderleri içinde taşıma giderlerinin yeri.....	13
Tablo 3. Orman yol tipleri ve geometrik standartları.....	17
Tablo 4. Tavlama sürecinin optimizasyon problemlerine uyarlanması.....	36
Tablo 5. Anbardağ Orman İşletme Şefliği ormanlık alan varlığı.....	45
Tablo 6. Yol standardına göre kamyonla taşıma hızları.....	59
Tablo 7. Anbardağ Orman İşletme Şefliğinin eğim sınıflarına dağılımı.....	72
Tablo 8. Anbardağ Orman İşletme Şefliğinin bakı sınıflarına dağılımı.....	74
Tablo 9. Taşıma modelinde yer alan güzergâhların özellikleri .....	81
Tablo 10. Her bir bölmede üretilen çeşitli odun hammaddesinin miktarları (m <sup>3</sup> ) ve meşcere tipleri.....	82
Tablo 11. Odun hammaddelerinin 2007 yılı depo satış fiyatları.....	83
Tablo 12. Deney tasarımına dahil edilen faktörler ve düzeyleri.....	90
Tablo 13. Model1-1 problemi için yapılan denemeler ve sonuçları.....	94
Tablo 14. Model1-1'in TB algoritması parametreleri için çok yönlü varyans analizi sonuçları.....	97
Tablo 15. Model1-1'in TB algoritması parametreleri için Duncan çoklu aralık testi sonuçları.....	98
Tablo 16. Model 1-1'nin her bir odun hammaddesi için taşıma maliyetini en aza indiren güzergahlar.....	101
Tablo 17. Model1-2 problemi için yapılan denemeler ve sonuçları.....	106
Tablo 18. Model1-2'nin TB algoritması parametreleri için çok yönlü varyans analizi sonuçları.....	109
Tablo 19. Model1-2'nin TB algoritması parametreleri için Duncan çoklu aralık testi sonuçları.....	110
Tablo 20. Model 1-2'nin her bir odun hammaddesi için taşıma maliyetini en aza indiren güzergahlar.....	113
Tablo 21. Model2-1 problemi için yapılan denemeler ve sonuçları.....	116
Tablo 22. Model2-1'in TB algoritması parametreleri için çok yönlü varyans analizi sonuçları.....	118
Tablo 23. Model2-1'in TB algoritması parametreleri için Duncan çoklu aralık testi sonuçları.....	119
Tablo 24. Model 2-1'in her bir odun hammaddesi için satış karını maksimize eden güzergahlar.....	122

Tablo 25. Model2-2 problemi için yapılan denemeler ve sonuçları.....	124
Tablo 26. Model2-2'nin TB algoritması parametreleri için çok yönlü varyans analizi sonuçları.....	127
Tablo 27. Model2-2'nin TB Algoritması parametreleri için Duncan çoklu aralık testi sonuçları.....	128
Tablo 28. Modellerin maliyetler yönünden karşılaştırılması.....	132

## SEMBOLLER DİZİNİ

- BYKP : Beş Yıllık Kalkınma Planı  
CBS : Coğrafi Bilgi Sistemi  
DKGH : Dikili Kabuklu Gövde Hacmi  
DOİ : Devlet Orman İşletmesi  
EBT : Ekstrem B Tipi tali orman yolları  
GA : Genetik Algoritma  
GDN : Giriş Düğüm Noktası  
GPS : Küresel Konum Belirleme Aygıtı, (Global Position Systems)  
KK : Karınca Kolonisi  
LP : Linear Programming, (Doğrusal Programlama)  
MIP : Mixed Integer Programming (Karma Tamsayı Programlama)  
NBT : Normal B Tipi tali orman yolları  
OGM : Orman Genel Müdürlüğü  
OBM : Orman Bölge Müdürlüğü  
SAM : Sayısal Arazi Modeli  
SBT : Standartları yükseltilmiş B Tipi tali orman yolları  
TA : Tabu Arama  
TB : Tavlama Benzetimi  
YA : Yöneylem Araştırması

## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

Ormancılık çalışmaları ağaçlandırma, yetiştirme, koruma, üretim, odun hammaddesinin taşınması (nakliyatı), yangınlarla ve zararlılarla mücadele gibi çalışmalardan oluşmaktadır. Orman içinde ağaçların kesildiği yerden en kısa zamanda, en uygun teknikle ve ekonomik olarak piyasaya ulaştırılması çok önemlidir. Bunun için orman alanlarının her noktasına orman yol ağları ile planlı bir şekilde ulaşılması gerekmektedir.

Ormanların işletmeye açılması, entansif ve amaca uygun bir rasyonel ormancılık uygulamasını olanaklı hale getirmektedir. Bu amaçla ihtiyaç duyulan en önemli araçlardan birisini orman yolları teşkil etmektedir. Bu yollar, bir yandan odun hammaddesi, personel, malzeme ve ekipman nakline, bir yandan da orman köylerinin yol gereksinimleri ile halkın dinlenme isteklerinin karşılanmasına imkan sağlamaktadır. Bu suretle söz konusu yollar ekonomik, sosyal hatta kültürel faydalar yaratmaktadır (Erdaş vd., 1995).

Orman yolları, odun hammaddesinin ormandan satış depolarına ya da tüketim merkezleri vb yerlere taşınmasını, ormanın yetiştirilmesi, korunması ve denetim işlerinin rahatça yapılabilmesi ile orman içi ve bitişiği köylerin ulaşım ile ilgili sorunlarının çözüme kavuşturulmasını mümkün kılan en önemli alt yapı tesislerinden birisidir.

Türkiye ormanlarının toplam orman yolu ihtiyacı genel ormancılık amaçlarına göre 210 000 km'dir. 2007 yılı sonu itibariyle orman içerisinden geçen yol miktarı 157 295 km'dir. Bu yolların 138 689 km'sini B tipi tali orman yolları oluşturmaktadır (OGM, 2008). Hedeflenen orman yolu miktarına ulaşıldığında 20 m/ha yol yoğunluğuna da ulaşılmış olunacaktır. Avrupa ülkelerinde ortalama yol yoğunluğunun 30 m/ha ve yüksek yol standartları dikkate alınırsa yapılması gereken daha çok orman yolu işi ortaya çıkmaktadır (Acar, 2005).

Türkiye'de ormancılık çalışmaları ülkenin değişik yerlerinde ve dağınık durumda bulunan 21,2 milyon ha civarındaki orman alanı üzerinde yürütülmektedir. Bu kadar geniş ve dağınık, hatta çoğunlukla dağlık arazi üzerinde çalışmak bu alanların iyi bir yol ağına sahip olması ile mümkündür. Orman yolları her yıl yaklaşık 20 milyon m<sup>3</sup> Dikili Kabuklu Gövde Hacmi (DKGH) asli odun hammaddesinin taşınmasında kolaylık sağlaması ile

birlikte orman koruma, kadastro, bakım, erozyon ve ağaçlandırma çalışmaları gibi diğer ormancılık hizmetlerinin yürütülmesinde de önemli rol oynamaktadır (Erdaş vd., 1995).

Teknolojide meydana gelen gelişmeler ve son yıllarda odun hammaddesine olan ihtiyacın artması, odun hammaddesinin üretildikleri yerden pazara taşınmasında, taşıma tekniklerinin ve tesislerinin gelişimini zorunlu kılmıştır (Çalışkan vd, 2006).

Türkiye’de odun hammaddesinin orman yolları ve kısmen de karayolları üzerinde taşınması kamyon veya traktör-treylerle yapılmaktadır. Bunlardan kamyonla taşıma tüm ülke ormanlarında genel olarak görülmektedir. Taşıma işlerinde çoğunlukla yerel halkın mülkiyetinde olan araçlar kullanılmaktadır. Taşıma araçları genelde kooperatif üyelerine ait olup taşıma işleri, orman işletme ve kooperatif yöneticileri arasında varılan anlaşmalar uyarınca gerçekleştirilmektedir.

Türkiye’de odun hammaddesinin rampalardan ya da ara depolardan son depo ve fabrikalara taşınmasında en fazla tercih edilen araç tipi kamyonlardır. Daha çok kısa tomruk, kağıtlık odun, sanayi odunu ve maden direği gibi odun hammaddesinin taşınmasında kullanılan bu araçlar iki veya üç aksa sahiptirler.

Türkiye’de bugün mevcut orman yollarının büyük çoğunluğu üst yapısız ve ham toprak yol olarak hizmet görmektedir. Bu nedenle orman yolları üzerinde odun hammaddesinin taşınması işleri yılın ancak belirli aylarında gerçekleştirilebilmektedir. Bu durum odun hammaddesinin en kısa zamanda ormandan çıkarılmasını ve uzunca bir süre ya da bütün yıl boyunca pazarlama yada taşıma koşulları elverişli olan yerlerde depolanmasını gerekli kılmaktadır (Seçkin, 1984).

Orman içi istif yeri veya rampalardan doğrudan doğruya ya da bazı hallerde ara depolarda bir süre bekledikten sonra söz konusu depo alanlarına getirilen odun hammaddesi buralarda satışa sunulmaktadır. Bu depolara son depo, ana depo ya da satış deposu gibi isimler verilmektedir. Odun hammaddesi satışları genellikle bu depolarda yapılmaktadır.

Günümüzde; toplumların gelişmeye paralel olarak orman ve odun hammaddesine olan talepleri de giderek artmaktadır. Buna karşılık, özellikle az gelişmiş veya yeni gelişmekte olan ülkelerde toplumun orman üzerindeki baskıları sonucu, orman alanları giderek daralmaktadır. Böyle yerlerde ormanın sınırı yerleşim yerlerinden uzaklara, zor arazi koşullarına çekilmiş durumdadır. Ülkemizde ve özellikle Doğu Karadeniz Bölgesindeki ormanlar için de benzer bir durum söz konusudur (Acar, 1997).

Odun hammaddesi taşımalarının, optimum faydalanmayı sağlayacak şekilde, yani odunun nitelik ve niceliğini koruyarak yapılması gereklidir. Bu, aynı zamanda ormancılık bilim ve tekniğinin de amaçlarındandır. Bu amacın gerçekleştirilmesi; odun hammaddesinden faydalanma zamanı geldiğinde, onun uygun bir teknikle yetişme muhitinden alınıp toplumun ihtiyaçlarını karşılamak üzere tüketim merkezlerine hiç zarar görmeden ulaştırılmasıyla mümkün olur.

Türkiye’de Devlet Orman İşletmelerinin (DOİ) ana gelir kaynağı odun satışlarıdır. Odun fiyatlarındaki tarife bedelleri ve odun satışının azalmasından dolayı son yıllarda DOİ’ nin satış gelirleri düşmüştür. Ormancılık sektörü net maliyetlerini ulusal bütçeye göre ayarlamaktadır. OGM, 1993 yılına kadar monopol piyasa koşullarında odun satışlarına devam etmiştir. 1993’ te kıyı ticaret antlaşması (Custom Union Agreement) ile satışlarda düşme başlamıştır. İç piyasa tüketimindeki yaklaşık % 10’luk tüketimden (1,5 milyon m<sup>3</sup>) fazlası ithal edilmeye başlanmıştır. Satış fiyatları, 2000 – 2006 yılları arasında % 30–40 oranında (yuvarlak odunda) düşmüştür (OÖİKR, 2006). Üretim ve taşıma faaliyetlerindeki maliyetler, odun hammaddesinin birim satış fiyatlarını doğrudan etkilemektedir. Dolayısıyla iç piyasada, odun hammaddesi satışlarında yüksek fiyatlarla karşılaşmaktadır.

Orman kaynakları taşımacılığı, ormancılıkta ana ve yan ürünlerin üretimini ve bunları üretim yerinden depolara ya da ticarethanelere kadar akışını kontrol ederek, bu süreçteki ardışık ve ayrık etkileşimlerin (faktörlerin) maliyetleri azaltıcı, toplam faydalanmayı arttırıcı, arz-talep dengesini sağlayıcı uygulamaların optimizasyonunu planlamayı ve organize etmeyi temsil eder. Odun hammaddesinin taşınmasına ilişkin bir planın oluşturulmasında, tedarik zinciri açısından odun hammaddesi üretimi ve taşınmasında uygulanan işlemler süreci irdelenerek, matematiksel modellerle temsil edilmeye çalışılabilir.

Türkiye’deki odun hammaddesi tedariki; IX. Beş Yıllık Kalkınma Plan (BYKP) raporlarına göre odun tedarik zincirinde arz talep arasındaki ilişkinin şu şekilde olacağı tahmin edilmektedir (Tablo 1).

Tablo 1.Odun hammaddesinin yurtiçi üretim ve tüketim tahminleri (1000 m<sup>3</sup>)

Ürün		Yıllar					
		2008	2009	2010	2011	2012	2013
Endüstriyel + Yakacak Odun Genel Toplamı	Üretim	18 418	18 558	18 630	18 651	18 756	18 768
	Tüketim	21 393	21 518	21 580	21 526	21 540	21 418
	Fark	-2975	-2 960	-2950	-2875	-2784	-2650

Tablo1'deki OGM' nün tahminlerine göre, önümüzdeki 6 yıl içinde, yurtiçi üretim tüketim dengesine bağlı olarak endüstriyel ve yakacak odun arzında yıllık ortalama yaklaşık 3 milyon m<sup>3</sup>'lük bir açığın olacağı tahmin edilmektedir. Bu açığın olağan seyrinde devam etmesi ve farkın kapatılması için sertifikalandırma çalışmalarının yapılması benimsenmiştir. Böylelikle orman kaynaklarından çok yönlü ve sürdürülebilir şekilde yararlanılması planlanmaktadır. Bu planlama ile orman kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi ve piyasaya arz edilen odun hammaddesinin sürdürülebilir şekilde uygun yöntemlerle üretilerek piyasalara ve tüketicilere arz edilmesi amaçlanmaktadır (OÖİK, 2006). Bahsedilen bu sertifikasyon ve sürdürülebilirlik ilkesi çerçevesinde üretim ve taşıma operasyonlarının da bu ilkelere uygun bir yapıda gerçekleştirilmesi gereklidir. Bunun için de organizasyonel yönden uygulanabilirliği yüksek, sistemli taşıma planlarına ihtiyaç vardır. Odun hammaddesi taşıma maliyetlerinin minimizasyonu için planlar gereklidir.

Türkiye'de 1 m<sup>3</sup> odun hammaddesinin üretiminde yıllık taşıma maliyet giderleri, genel üretim giderlerinin % 56'sını kapsamaktadır (OÖİKR, 2006; OGM, 2006). 2006 yılı itibariyle genel üretim giderleri 400 000 000 YTL olarak gerçekleşmiş ve genel işletme harcamalarının % 43' ünü oluşturmuştur (OGM, 2006).

Türkiye'de odun maliyetleri dünya ortalama maliyetlerinin üstünde gerçekleşmektedir. Örneğin, üretim giderleri ve bunların içinde yol kenarından depoya taşıma oldukça yüksek değerlerdedir (OÖİKR, 2006).

Küreselleşmenin de etkisiyle giderek artan rekabet koşulları altındaki günümüz pazarları, orman işletmelerini; tüketici isteklerine çok daha hızlı uyum sağlayabilmeye,

daha kaliteli odun hammaddesini daha düşük fiyatlara satmaya zorlamaktadır. Orman İşletmeleri bu rekabet ortamında maliyetlerini sürekli olarak en alt seviyelere çekmeye çalışmaktadır. İşletmelerin önemli maliyet kalemlerinden birini taşıma maliyetleri oluşturmaktadır.

Kooperatiflere ait araçlarla satış depolarına odun hammaddesini ulaştırın orman işletmeleri açısından taşıma maliyetlerinin optimizasyonu oldukça önemlidir. Taşıma işleminde en önemli olan ise araçların, odun hammaddesini rampalardan ya da ara depolardan satış depolarına ulaştırmada izleyecekleri minimum maliyetli güzergâhların belirlenmesidir. İşletmeler bu problemlerin çözümüyle maliyette tasarruf sağlayabilir.

Doğu Karadeniz Bölgesinde orman işletmeciliği topoğrafik, klimatolojik, teknik ve ekonomik nedenlerden dolayı güç şartlar altında sürdürülmektedir. Ülkemiz ormancılığında önemli bir yere sahip bulunan Doğu Karadeniz Bölgesi, odun hammaddesinin taşınması konusunda bazı problemlere sahiptir.

Orman işletmeciliği içerisinde giderlerin büyük kısmını odun hammaddesinin üretimi oluşturur. Yine bunun % 56'sını ise orman yolları üzerinde yapılan taşıma giderleri teşkil eder. Dağlık bir arazi yapısına sahip Giresun Orman Bölge Müdürlüğü orman alanında orman yollarının yapımı güç ve pahalı olup yeterli seviyede değildir. Ancak her yıl 50000 m<sup>3</sup> odun hammaddesinin orman yolları üzerinde taşınması gerçeği de ortadadır.

Orman yol ağı ve üretimde mekanizasyon ile bağlantılı olan bu konuda özellikle organizasyon eksikliği bilinmektedir. Bu nedenle orman yol ağının da yetersiz ve işletmeye açma oranının düşük olduğu dağlık Doğu Karadeniz Bölgesi için tipik bir örnek olan Giresun Orman Bölge Müdürlüğü sınırları içerisinde yer alan, Giresun Orman İşletme Müdürlüğü'ne ait Anbardağ Orman İşletme Şefliği'ndeki üretimin yoğun olduğu bölmeler bu çalışma için baz olarak seçilmiştir.

Yapılan çalışmanın konusu; ormancılıkta odun hammaddesi taşıma modeli ve çözüm yöntemi üzerinde odaklanmaktadır. Odun hammaddesi taşınmasına yönelik yıllık taşıma modeli, işletme şefliği bazında üretimin yoğun olduğu bölmelerde, çeşitli standartlardaki odun hammaddesinin rampalardan ana depolara taşıma maliyetlerinin minimize edilmesini kapsayacak şekilde oluşturulup ortaya konulmuştur. Kısaca söylemek gerekirse konu optimizasyon yöntemi kullanılarak odun hammaddesi taşıma modeli ve çözüm yönteminin geliştirilmesidir.

Genel ifadeyle çalışmanın amacı; çeşitli standarttaki odun hammaddesi, rampalar ve depolar dikkate alınarak taşıma maliyetlerini en aza indiren güzergâhların araştırılması ve

kamyonla taşıma giderleri, odun hammaddesinin depo satış fiyatları dikkate alınarak net kârı en yüksek olan güzergâhların seçilebilmesini gerçekleştirecek modelin oluşturulması ve çözüm yöntemi amaçlanmıştır. Bu temel amaçtan yola çıkarak;

- ✓ Alan envanterini sayısal olarak gerçekleştirmek,
- ✓ CBS ile veri tabanı tasarımı oluşturmak, gerekli analiz ve sorgulamaları gerçekleştirerek model taşıma planlamasına katkı sağlamak,
- ✓ Ağ Analizi ile güzergâhların tasarımını belirlemek,
- ✓ Tavlama Benzetimi(TB) ile alternatif güzergâhlardan minimum maliyetli güzergâhı belirlemek,
- ✓ Geliştirilen modelde TB algoritması için uygulanan en uygun parametre setinin (çizelgesinin) bulunması için istatistik değerlendirilmesi yaparak, geleceğe yönelik olarak orman yolları üzerinde taşıma planlama kriterlerine ışık tutmak,
- ✓ Yeni veya benzer bir konuda yapılabilecek çalışmalara temel oluşturmaktır.

Taşıma modelinden beklenen yarar; orman idarelerinin toplam giderleri içinde büyük paya sahip olan taşıma giderlerinde düşüşler sağlayabilecek ve ayrıca planlayıcılara, yöneticilere odun hammaddesi taşıma planlanması problemleriyle ilgili çözümleyici ve rasyonel kararların alınabilmesi doğrultusunda yol gösterici bir model oluşturabilmektir.

Bütün bu amaçlar doğrultusunda şekillendirilen bu doktora tez çalışması beş ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, çalışma içerisinde geçen tanımlar, literatür özeti ve konular bir bütünlük içerisinde verilmiştir. İkinci bölümde, amaçlara ulaşmak için yapılan çalışmalar, kullanılan aletler, yararlanılan programlar ve kullanılan yöntemler hakkında bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde, yapılan çalışmalar sonucunda ulaşılan bulgular ve bu bulguların kendi içinde ve literatürle tartışması yapılmıştır. Dördüncü bölümde ise tüm bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar verilmiştir. Beşinci bölümde ise bu sonuçlar doğrultusunda öneriler sunulmuştur.

## **1.2. Literatür Özeti**

Bayoğlu (1962), yapmış olduğu “Çangal Bölgesinde Orman Nakliyatı ve Yol Sistemi Üzerine Araştırmalar” adlı çalışmasında, ormancılıkta taşıma masraflarının üretim masrafları içinde önemli bir yer kapladığını, orman yol ağının yetersiz olmasından dolayı bazı ürünlerin ormandan çıkarılamadığını ve bu yüzden orman nakliyatının daha rasyonel

ve daha ekonomik yapılabilmesi için nakliyat sistemi ve yol planlarının gerekliliğini vurgulamıştır.

Taşıma ağının planlanması, mümkün olan en kısa yolla orman içindeki bölmelerin, uzak mesafedeki taşıma ağına (karayollarına) bağlanması yoluyla orman arazisi boyunca taşıma hatlarının dağıtılması anlamına gelir (Samset, 1979).

Dağlık bölgelerde, yerleşim merkezlerinden uzakta ve güç arazi koşulları üzerinde bulunan ormanların işletmeye açılması büyük ölçüde taşıma imkânlarının etkisi altında bulunmaktadır. Ormanlardan devamlı şekilde yararlanma, onların korunması ve dolaylı faydalarının toplumun yararına sunulması, her şeyden önce bu ormanların en iyi şekilde düzenlenmiş yol ağı ve taşıma planının yapılmış olmasına bağlıdır (Seçkin, 1984).

Acar (1994), “Ormancılıkta Transport Planları ve Dağlık Arazide Orman Transport Planlarının Oluşturulması” adlı eserinde; odun hammaddesinin kendisine ve çevresine en zararla, kalite ve miktar kaybına uğramadan bölmeden çıkarılmasının önemli bir problem olduğunu belirtmiş; amenajman ve silvikültür planlarından alınan bilgilerle teknik, topografik ve ekonomik koşulları da dikkate alarak en uygun bölmeden çıkarma metodunu seçmiş, 10 yıllık periyot için zamansal ve mekansal açıdan makro ve mikro boyutta bir transport planlaması gerçekleştirmiştir. Bu planlama ile zamandan tasarruf edilebileceğini, mevcut makinelerin rantabl olarak kullanılabilceğini, kaliteli ve fazla miktarda ürün üretiminin olabileceğini ve bölmeden çıkarma maliyetlerinin düşürülebileceğini tespit etmiştir.

Bayoğlu (1996), Orman nakliyatını; kesilip kütüğü dibinde hazırlanmış durumdaki tomrukların yolların kenarına kadar sürütülmesi ve buradan da belli yoğunluktaki orman yol ağı üzerinden kamyonlarla taşınması olarak iki aşamadan oluştuğunu belirtmiştir. Kesme aşaması taşıma aşamasından ayrı tutulmuştur.

Soykan (1978), doğrusal programlama tabanlı “taşıma modeli”ni, Türkiye ormancılığındaki taşıma problemlerinin çözümü için ilk kez kullanmıştır.

Schnelle (1980), çalışmasında “Prorate” algoritması ile Mincost yazılımını geliştirmiştir. Bu yazılımın amacı, odun hammaddesinin taşınmasının planlamasında, giriş düğüm noktaları (üretim noktaları) ile orman depoları arasındaki en düşük maliyetli güzergâhı belirlemektir. Ancak, bu yazılım çok sayıda düğüm noktaları arasındaki linklere ait yol yapım masraflarının hesaplandığı problemlerin çözümünde yetersiz kalmaktadır. Yazılımın bu hatasını gidermek ve giriş düğüm noktaları ile depolar arasında

oluşturulabilecek alternatif güzergâhların sayısını artırmak için Weintraub ve Dreyfus (1985) en kısa mesafenin bulunması yaklaşımına dayalı Netcost yazılımını geliştirmiştir.

Pulkki (1984), meşcereden depoya taşıma operasyonlarının planlanması için CBS ve sezgisel programlamayı bir arada kullanmıştır.

Sessions (1985), çalışmasında “Prorate” algoritmasına benzer bir metot kullanarak Network yazılımını geliştirmiştir. Bu yazılımı benzerlerinden üstün kılan önemli nitelikleri vardır. Yazılımda kullanılan algoritma, üretilen orman ürünlerinin zaman periyotlarına ve hacimlerine göre sınıflandırıldığı giriş düğüm noktaları ile başlamakta ve en kısa mesafe problemini değişken maliyetleri ve sabit maliyetleri dikkate alarak çözmektedir. Amaç fonksiyonunda minimum maliyeti veya maksimum net karı hedefleyen Network yazılımı, planlayıcılara nispeten büyük nakliyat problemlerinin çözümünde çok sayıda zaman periyotlarını ve orman ürünlerini değerlendirme imkânı sağlamaktadır.

Vaisanen (1987), çalışmasında ormancılıkta sürütme ve kablo çekimi planlarının taşıma maliyetlerini minimize etmeyi amaçlayan taşıma planları olduğunu ve bunun için de orman alanlarındaki taşımının gelecekteki durumları üzerine yeterince bilgi sahibi olmak gerektiğini belirtmiştir. Sonuçta taşıma planı, ormanda gelecekteki durumu ve kesimleri planlayan orman amenajman planı ve silvikültür planları ile bağlantılıdır. Taşıma planı, ayrıca orman yol ağının planlanmasını ve optimizasyonunu da içerisine alır.

Shen vd. (1989), yaptıkları çalışmada ormandan depolara ve sonrasında fabrikalara kadar devam eden taşıma maliyetlerini minimize edecek bir algoritma kurarak konuya bir ağ planlaması yaklaşımı içerisinde çözüm getirmişlerdir.

Robak’ın belirttiğine göre Carlsson 1969 yılında, yıllık odun üretimi, taşıma ve depolanması etkinliklerinin orman işletmeleri düzeyinde planlanabilmesi için bir sistem tanımlaması yaparak, kabul edilebilir bir üretim, taşıma ve depolama maliyeti için doğrusal programlama tabanlı bir planlama modeli geliştirmiştir (Robak,1990).

Schuster vd.(1993), ormancılık planlarında kullanılan bilgisayar tabanlı analitik araçlar hakkında yayınladıkları eserde, ormancılıkta üretim, taşıma ve diğer operasyonlara ilişkin LP, MIP, Network, Heuristic, Simülasyon, Monte Carlo Örneklemesi, Yapay Zekâ, Uzman Sistemler, Dinamik Programlama vb. modelleme tekniklerinin kullanıldığını ve SnapIı, Gıstran, Network, Plans, Transman, Tms, Rms adlarıyla üretim ve taşıma planlamalarında kullanılabilen çeşitli karar destek araçlarının geliştirildiğini belirtmiştir.

Geniş alanları kaplayan ormanların planlanmasında, konumsal kısıtlayıcıların taktiksel ve işlevsel anlamda oldukça karışık olabilmeleri nedeniyle problemin çözüm alanı

genişlemekte ve mevcut yazılımların sınırlarını aşabilmektedir. Bu nedenle, daha az maliyette ve zamansal olarak en uygun çözümü sunabilen sezgisel teknikler geliştirilerek, taşıma ve kaynakların yönetimi problemlerine uygulanmıştır. Orman ürünlerinin zamana bağlı üretiminin düzenlenmesinde ve taşıma planının geliştirilmesinde bir sezgisel kuram serisine bağlı olan Snap yazılımını geliştirmiştir. Bu yazılımda sezgisel yaklaşım, çok sayıda ağaç türlerini, üretim maliyetlerini, alternatif orman depolarını, bölmeden çıkarma tekniklerini, satış fiyatlarını ve yaban hayvanları kısıtlayıcılarını dikkate alarak, rastlantısal araştırma ve en kısa mesafe algoritması yardımı ile taktiksel ormancılık planlaması problemlerini çözmektedir (Sessions,1993).

Dağlık arazide yapılan bir çalışmada; mikro ve makro taşıma planları yardımıyla odun taşımalarının daha kısa sürede ve daha az maliyetle yapılabileceği ortaya konulmuştur, (Acar, 1997). Dağlık alanlarda kamyonla taşıma giderlerinin minimize edilmesi amacıyla “Transport Modeli” kullanılmış ve bu modele göre organize edilen taşıma faaliyetlerinde 9,6 milyar TL tasarruf yapılabileceği ortaya konulmuştur. Orman ürünlerinin üretim maliyetinin yaklaşık % 50’sini ana taşıma oluşturmaktadır (Acar, 1998). Ana taşımanın maliyetini etkileyen en önemli faktörler; aracın saatlik birim maliyeti, araç hızı, araç taşıma kapasitesi, yolun eğimi ve uzunluğu, yol tipi ve yolun durumudur.

Gallis (2000), tarafından tarama tabanlı bir orman ürünleri lojistiği simülasyon modeli geliştirilmiştir. Bu model, Slamsystem Network Simülasyon Programlama dilinde türetilmiştir. Lojistik Network modeli orman ürünleri üretiminin son noktasından son dağıtım noktasına kadar süreçteki ürün akışının modelini sunmaktadır.

Taşıma akışının düzenlenmesi, ormancılıkta üretim operasyonları verimliliğinin bir göstergesidir. Yol kenarından alınan (kesim yerinden, kütük dibinden) odunun pahalı bir taşıma süreci olduğundan, bu sürecin kaliteli, hızlı ve maliyeti düşük olarak yapılabilmesi için çözümler ve uğraşlar gereklidir. Bunun yapılabilmesi için odun hammaddesi arz lojistiğinin kontrolü gereklidir (Sutter, 2000). Böylece taşıma maliyetleri yöresel açıdan azaltılmış olur ve yüksek kalitede, güvenli bir taşıma operasyonu gerçekleştirilmiş olur.

Ollson (2001), tarafından yuvarlak odun taşımalarını ve yol yatırımlarını optimize etmek için bir Doğrusal Programlama kullanılmıştır. Seçilen problemin yapısı tamsayı (integer) değişkenlerden kaçınmaya imkân vermektedir. Bu yüzden bu modelin geniş ölçekli problemler için kullanımı elverişli bulunmuştur ve bu model İsveç ormancılık sektöründe de bir örnek çalışma ile test edilmiştir.

Roise (2001), tarafından yapılan çalışmada, taşıma koridorlarının konumlandırılması, düzenlenmesi ve seçimi ile hareket (yaban hayvanları göç yolu) alanlarının düzenlenmesinin, ilişkili bir problem olduğu ancak uygulamada birbirinden bağımsız olarak değerlendirildiği ve her iki problemin çözümünün optimizasyonu için Nonlinear Tamsayı Program kullanılarak araştırmalar yapıldığı belirtilmiştir. Bu sistemde kullanılan modelin, GIS tabanlı ve biri negatif biri pozitif etkiye sahip olan restorasyon alanları ile hem inşaat hem de ekolojik açıdan çoklu kriterlere sahip olduğu belirtilmiştir.

Jensen (2002), çalışmasında Wtrans model programını kullanmıştır. Wtrans potansiyel odun kaynakları kullanıcılarına yardımcı olması için odun taşıma maliyetlerinin tahmini ve yakacak odun maliyetleri ile diğer alternatif yakıt kaynaklarının maliyetlerinin tahmini ve karşılaştırması için geliştirilen ve sayfa tabanlı çalışan bir model programdır. Çalışmada ev yakıtı olarak kullanılan üretim artıklarının taşınması incelenmiştir. Maliyet hesaplamaları benzer diğer programların geliştirilmesine yardımcı olması için sunulmuştur. Çalışma sonuçları modelin potansiyel odun kullanıcıları ile kullanım yerleri arasındaki taşımanın ekonomik olup olamayacağını göstermiştir.

Palmgren vd. (2003), İsveç'te odun taşıma maliyetlerinin orman endüstrisinin maliyetlerinin 1/3'ünü teşkil ettiğini, üretim planlarının odun tedarik zincirinin önemli bir ayağını oluşturduğunu, bu planlamanın aylık, haftalık ve günlük bazda yapılabildiğini belirtmiştir.

Temelde planlayıcının tecrübelerine dayalı olan geleneksel yöntemler en uygun taşıma planının geliştirilmesinde yetersiz kalmaktadır. Bu yüzden, odun hammaddesi taşınmasının planlanmasında bilgisayar destekli modeller geliştirilerek, zaman ve ekonomik yönden önemli tasarruflar yapılması amaçlanmıştır. 1980'lerin sonlarında, bilgisayar teknolojisinde ve modern matematiksel algoritmalarda meydana gelen gelişmeler, en düşük maliyetli mesafenin bulunmasını gerektiren taşıma problemlerinin çözümünde cazip alternatif metotların geliştirilmesine yardımcı olmuştur (Sessions vd., 2001).

Eker (2004), 'Ormancılıkta Odun hammaddesi Üretiminde Yıllık Operasyon Planlama Modelinin Geliştirilmesi' adlı eserinde; hiyerarşik planlama yaklaşımına göre, operasyonel düzeyde bir planlama modeli geliştirilerek yıl içindeki toplam ortalama üretim giderlerinin minimizasyonu amaçlanmıştır. Bu amaç için teknik, 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.

Palmgren vd. (2004), yaptıkları bir çalışmada, kamyonla tomruk taşımacılığında toplama ve taşıma gibi planlama problemlerini çözmek için model geliştirmişlerdir. Bu amaçla yaklaşım, ana güzergâh ve ücretler temelinde geliştirilmiştir. Önerilen matematik modelde her uygun güzergâh için yalnızca bir kamyon kabul edilmiştir.

Broman vd. (2006), İsveç'te 2005 yılında meydana gelen kasırga sonrasında etkilenen 70 milyon m<sup>3</sup> odun hammaddesinin taşınmasını incelemiştir. Afet düzeyinde olan bu olay sonucunda, ürünlerin nasıl hasat edileceği, hangi depoları kullanılacağı, ne ile taşınacağı (kamyon, tren, gemi), nerede depolanacağı konularını taşıma zinciri planlamasında önemli bir karar destek aracı olan operasyonel araştırma ile çözmüşlerdir.

Genel olarak Avrupa ülkelerine baktığımız zaman odun hammaddesinin taşınmasında kamyon taşımanın kullanılması Baltık ülkelerinde % 46,6, kıta Avrupa'sında % 69, Finlandiya da % 79,8, Rusya da % 23 ve İsveç te ise % 56 oranında kullanılmaktadır. Geri kalan kısımlar ise oranların değişmesi ile birlikte demiryolları ve suyolları ile taşınmaktadır (Björklund, 2006).

Carlgren vd. (2006), yaptıkları çalışmada tomrukların ormanda daha homojen ve özel kalitede elde edilebilmesi için düzenli bir şekilde depolanmasının önemini vurgulamışlardır. Düzenli istifleme, bölmedeki taşıma maliyetini artırdığı gibi rampadaki istif maliyetini de artırmaktadır. Bu çalışmada istif ve taşıma planlamasını dikkate alarak bir tamsayı programlama modeli geliştirilmiştir. Uygulama sonucunda maliyet artışı % 25 oranında düşürülmüştür.

Çalışkan ve Acar (2006), yapmış oldukları çalışmada, Yapay Zekâ tekniklerinden Uzman Sistemler, Bulanık Mantık, Yapay Sinir Ağları, Genetik Algoritma ve Tavlama Benzetimi yöntemlerini tanıtarak, bu tekniklerin odun hammaddesi üretiminde ve taşınmasında kullanımları üzerine bir değerlendirme yapmışlardır.

Akay vd. (2007) yaptıkları çalışmada, Türkiye'deki yol dizayn spesifikasyonlarını, ekonomik verileri ve orman özelliklerini dikkate alarak, modern optimizasyon yöntemleri ve CBS teknolojisi destekli bir orman yolu modelini sunmuşlardır.

Genel olarak bir literatür değerlendirmesi yapıldığında orman idareleri için önemli bir problem olan odun hammaddesi taşıma problemine yakın, çeşitli sayıda çalışmalar yapılmıştır. Ancak orman yolları üzerinde odun hammaddesinin taşınmasının teknik, topoğrafik, ekonomik kriterlere uygun bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu çalışma ile

yukarıdaki kriterleri göz önüne alarak literatürdeki ve uygulamadaki eksiklik giderilmeye çalışılmıştır.

### **1.3. Ormancılıkta Odun Hammaddesi Taşımalarının Önemi ve Ülkemizdeki Durumu**

Ormancılıkta odun hammaddesi taşıma çalışmaları, yol ve taşıma araçlarının gelişmesi ile ilgili olması yanında, üretimi tüketime bağlayan bir köprü olması nedeniyle de ekonominin önemli bir parçası durumuna gelmişlerdir (Acar, 2004).

Odun hammaddesinin taşınması için mutlaka bir orman yol ağı ve taşıma planına ihtiyaç duyulmaktadır. Orman alanlarının genellikle dağlık arazi üzerinde bulunması taşımanın önemini daha da arttırmaktadır (Demir, 1997).

Ormancılık faaliyetlerinde orman yolları en önemli alt yapı tesislerinden birini oluşturmaktadır. Orman yolu yapım ve bakım maliyetleri oldukça yüksek değerlere ulaşmaktadır. Orman yolu sanat yapıları ve bakım çalışmaları da dikkate alındığında ülkemizde her yıl yaklaşık olarak 50 milyon YTL orman yolu yapımı ve bakımı için harcanmaktadır. Bu rakamlar OGM yıllık bütçesinin % 20-25 gibi bir oranını oluşturmaktadır (Acar, 2005).

Dağlık arazideki ormanların işletilmesi, büyük ölçüde taşıma imkânlarının etkisi altında bulunmaktadır. Dağlık arazideki ormanlardan ekonomik bakımdan faydalanma yanında ormanların korunması, yeniden gençleştirilmesi ve tesisi imkânları geniş ölçüde taşıma problemi ile ilgilidir. Bu nedenle taşıma yöntemlerinin geliştirilmesi ve maliyetlerinin azaltılması, bu tip orman arazisinde en önemli isteklerden birisidir.

Burada amaçlanan; ormandan elde edilen ürünlerin süratle pazara taşınmasını sağlamak ve böylece verimi artırmak, ayrıca belirlenecek uygun yöntemlerle mevcut ormanların ve ürünlerin ekonomik olarak zarar görmesini engellemektir. Ülkemizde Orman Genel Müdürlüğü (OGM) tarafından hazırlanan 2006 yılı genel üretim giderleri değerleri Tablo 2’de verilmiştir (OGM, 2006).

Ülkemizde toplam 21,2 milyon ha (% 27) orman alanı bulunmaktadır. Bu alanlarda devlet tarafından yıllık ortalama değerler olarak 9 milyon m<sup>3</sup> endüstriyel odun ve 5 milyon m<sup>3</sup> yakacak odun üretimi gerçekleştirilmektedir. Özel sektör üretimi ise yaklaşık 3,5 milyon m<sup>3</sup> olarak gerçekleşmektedir. Toplam üretim miktarı ise yaklaşık olarak 17,5 milyon m<sup>3</sup> tür. 2006 yılında odun hammaddesinin orman yolu üzerinde taşıma için harcanan miktar ise 80 378 000 YTL’ dir. Bu giderin azaltılması için odun hammaddesinin

taşımasında optimizasyon tekniklerinin kullanımı kaçınılmaz bir durum haline gelmiştir. Günümüzde bu konuda kabul görmüş ve kullanılmakta olan belirli bir yöntem bulunmamaktadır.

Tablo 2. OGM 2006 yılı genel üretim giderleri içinde taşıma giderlerinin yeri

Hesap İsmi	2006 yılı ödeneği (YTL)
Ölçme ve Diğer Giderler	20 115 000
Kesme Tomruklama Giderleri	84 153 000
Ardaklanmayı Önleme Giderleri	101 000
Sürütme ve Toplama Giderleri	143 565 000
Taşıma Giderleri	80 378 000
İstif Giderleri	14 678 000
Tasnif ve Depolama Giderleri	15 021 000
İstihkak Fazlaları	27 061 000
Yükleme Giderleri	14 928 000
Genel Üretim Giderleri Toplamı (1 USD=1,2 YTL)	400 000 000

Genel üretim giderleri toplamı 400 000 000 YTL'dir. Genel üretim giderlerinden sürütme ve orman yolu üzerinde taşıma 223 943 000 YTL olup bu doğrudan taşıma faaliyetleri genel üretim giderlerinin % 56' sına karşılık gelmektedir. Bu bağlamda odun hammaddesi üretimi ve yollar üzerinde taşınmasının çok zor ve aynı zamanda pahalı bir yöntem olduğu açıktır. Bu nedenle optimal bir taşıma planlamasının yapılması gereklidir.

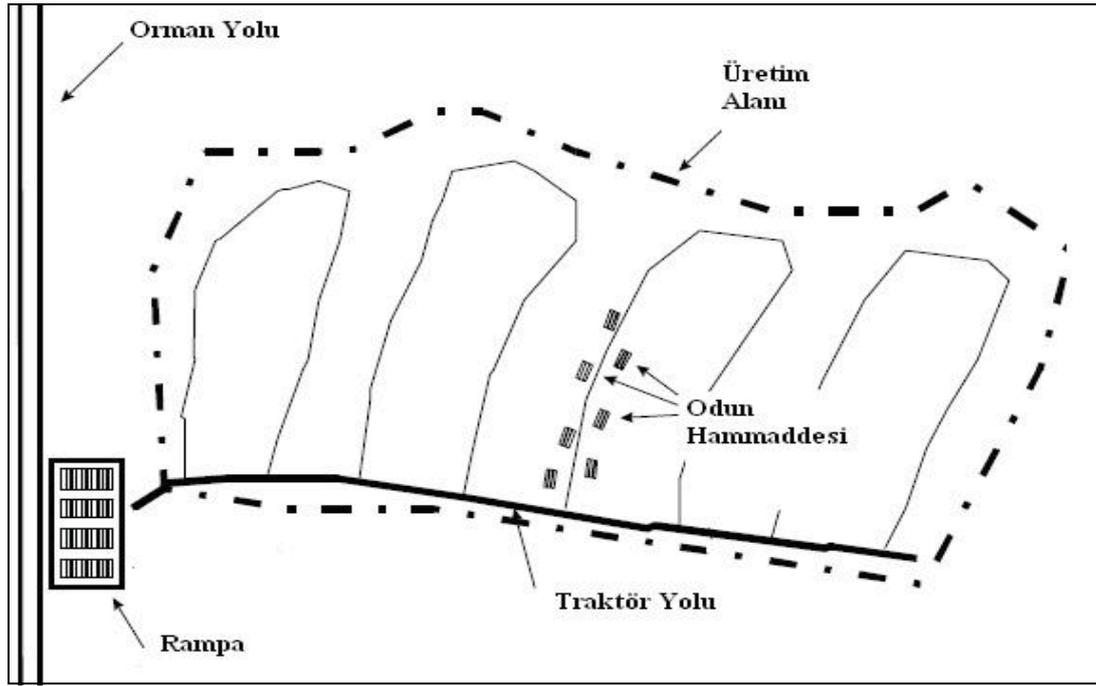
#### 1.4. Ormanlıkta Odun Hammaddesi Taşınmasının Sınıflandırılması

Odun hammaddesi üretiminde uygulanan işlemlerin özellikleri dikkate alındığında, üretim faaliyetleri iki farklı süreçte değerlendirilebilir (Erdaş, 1987; Yıldırım, 1989; Wenger, 1991, Heinimann, 1994; Bayoğlu, 1996; Karaman, 2001).

Bunlardan birincisi, dikili haldeki ağacın kesilmesi ve şekil değişimi işlemlerinden oluşan süreç ki bu, "Kesim Süreci" olarak adlandırılabilir. Kesim süreci, dikili ağaçların devrilmesi ve çeşitli işlemlerin tatbik edilerek ağaç gövdesinin hareket ettirmeye uygun hale getirilmesinden ibarettir. Söz konusu işlemler orman içerisinde, ağacın kütüğü dibinde yapılmaktadır.

İkincisi ise, kısmen veya tamamen şekil değişimine uğrayan ağaç ya da gövde kısımlarının hareket ettirilmesi işlemlerden oluşan "Taşıma Süreci"dir. Bu iki temel sürecin tamamlanmasıyla orman işletmeleri açısından söz konusu olan odun hammaddesi üretimi gerçekleşmiş olur.

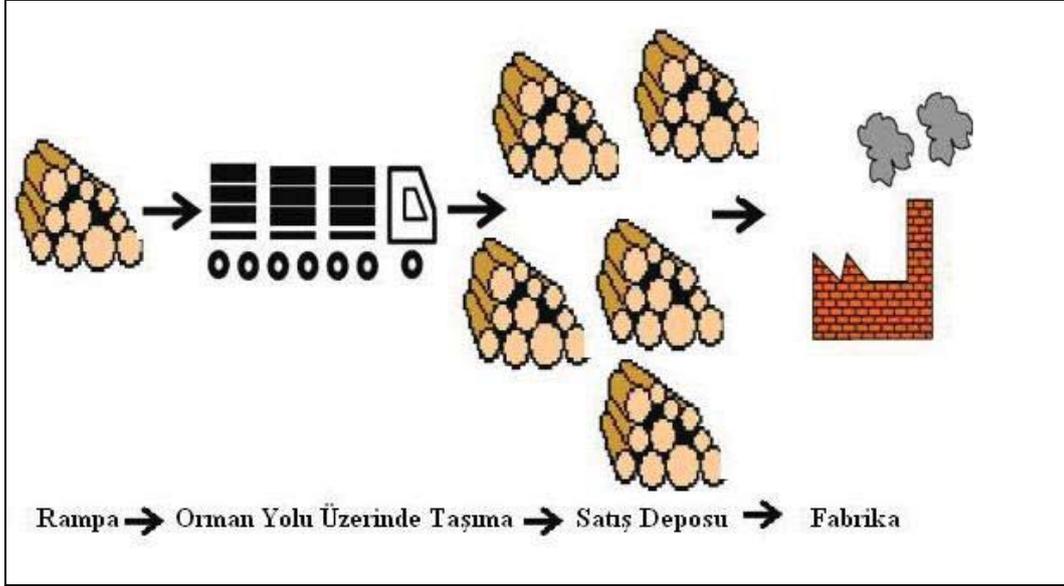
Odun hammaddesinin taşınması (nakliyatı) iki ana aşamada gerçekleşir. Bunlardan birincisi, kesim yerinde kütüğün dibinde kesim süreci tamamlanan ürünlerin buradan alınıp en yakın orman yoluna veya ara depolara kadar olan taşıma "Tali Nakliyat" ya da "Bölmeden Çıkarma"dır (Şekil 1) (Erdaş, 1986; Acar, 1997; Aykut vd, 1997).



Şekil 1. Bölmeden çıkarma (Tali Nakliyat)

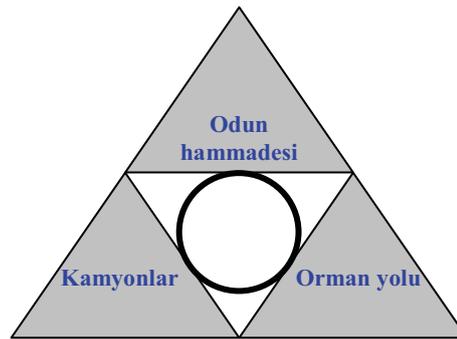
İkinci aşama ise rampalardan ve orman içerisindeki ara depolardan orman satış depolarına ya da fabrikalara kadar olan taşıma yani "ana nakliyat"dır (Şekil 2). Ana nakliyat olarak da isimlendirilen bu işlemler, orman içinde başlamakta, çoğunlukla orman yolları üzerinde, kısmen de diğer karayolları üzerinde devam ettirilmekte, orman

depolarında son bulmaktadır (Aykut, 1984; Erdaş, 1986; Bayoğlu, 1996; Acar, 1997; Acar, 1998; Çalışkan vd, 2007). Bu iki ana aşama arasında ve depolarda ise yükleme ve boşaltma işleri yapılmaktadır.



Şekil 2. Orman işletmeciliğinde ana nakliyat aşaması

Ormanlıkta odun taşımalarının unsurları orman yolu, kamyonlar ve odun hammaddesi'nden oluşmaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. Ormanlıkta odun taşımalarının unsurları

### 1.5. Ormanlıkta Odun Hammaddesi Taşımalarını Etkileyen Faktörler

Odun hammaddesi taşımalarında ekonomi, taşımaları etkileyen faktörlerin başında gelmektedir. İşletmenin ekonomik yapısı, bütün ormanlık uygulamalarında olduğu gibi taşıma ile de doğrudan ilişkilidir.

Ormancılıkta taşıma zamanı, odun hammaddesinin üretildikleri yılda, ekonomik değer kaybına uğramadan taşınması ve işletmenin giderlerini karşılayacak şekilde pazarlanabilmesi için son derece önemlidir. Bilindiği gibi odun hammaddesi taşımasının zamanında yapılamamasından dolayı büyük ölçüde kalite kaybına uğramaktadırlar.

Bu ise işletmelerin bütün programlarını etkilemekte ve beklenen girdiler sağlanamamaktadır. Bu nedenle üretim işlerinde taşıma programları son derece sağlıklı ve gerçek zaman değerleri göz önüne alınarak hazırlanmalıdır (Acar, 2004).

Odun hammaddesinin taşımada mesafe, zaman açısından çok önem taşımaktadır. Odun hammaddesinin taşıma aşamasında, taşıma mesafesi maliyet açısından doğrudan belirleyici faktördür.

Taşıma çalışmalarında etkili olan bir diğer faktör ise yükleme ve boşaltma çalışmalarıdır. Ülkemizde gerek orman içi istif yerlerinde gerekse orman depolarında genellikle insan gücü ile çalışılmaktadır. Ülkemizde mevcut olan yükleme makinelerinin günlük verimleri insan gücü ile çalışma ile karşılaştırılmayacak düzeyde yüksektir. Ancak makine sayısının az olması nedeniyle yaygın bir kullanımı yoktur. Yükleme ve boşaltma çalışmalarında bu makinelerin kullanımı ile taşıma çalışmaları zinciri daha hızlı ve ekonomik olacaktır.

Orman işleri açık hava koşullarında yapılan en ağır iş gurubudur. İşçilerin bu ağır koşullarda çalışacak kadar güçlü ve sağlıklı olmaları gereklidir. Orman işçileri genellikle orman işinin yapıldığı köylerden temin edildiği için eğitimsiz işçilerdir. Taşımanın veriminin yükseltilmesi için işçi eğitiminin mutlaka yapılması gerekmektedir. Özellikler üretim makinaları ile çalışan işçilerin, verimin yükseltilmesi için mutlaka eğitilmiş olması gereklidir. Orman işlerinde kaza riski oldukça yüksektir. Taşıma işlerinin verimli ve hızlı bir şekilde yapılabilmesi çalışan orman işçilerine bağlıdır.

## **1.6. Orman Yol Ağları**

Orman yolları; ormanların işletmeye açılmasına hizmet eden, lastik tekerlekli araçların bütün yıl taşıma yapmasına yönelik, orman içi ile orman dışı bağlantıyı sağlayan tek şeritli yollar olarak tanımlanabilir (Erdaş, 1997).

Orman yolları; ormanları entansif olarak işletmek, ormanları hastalık ve zararlarından korumak, yangınları söndürmek, orman yetiştirme ve bakımını yapmak, orman içinde yaşayan köylerin yol ihtiyacını karşılamak amacıyla yapılmaktadır. Bu amacı, gördüğü hizmeti, geometrik standartları, planlaması, yapım tekniği, yapıldığı yerlerin zorlukları ve

özelliği nedeni ile orman yolları, kamu yararına yapılan kara yolu ve köy yollarından ayrılmaktadır.

Ayrıca, orman yollarının diğer kara yollarından teknik ve ekonomik yönden de ayrıcalık gösterdiği söylenebilir. Ekonomik ayrıcalık; orman yollarının ormancılık hizmetlerini karşılayacak ölçüde yeteri kadar ucuza mal edilmesi, teknik yönden ayrıcalık ise, ekonomik görüşün yanında yol elemanlarının yolun işlevlerini en iyi biçimde yerine getirmesidir (Hasdemir ve Demir, 2000; Acar, 2005).

Ülkemizde orman yolu planlaması ve yapımı Orman Genel Müdürlüğü, İnşaat ve İkmal Dairesi Başkanlığınca yayımlanan Orman Yollarının Planlanması ve İnşaat İşlerinin Yürütülmesi isimli 292 Sayılı Tebliğ esaslarınca yürütülmektedir. Bu tebliğe göre orman yolları, bir yılda üzerinden taşınacak ürün miktarı ve yapılış amaçları dikkate alınarak iki ana gruba ayrılmışlardır. Bu yollar: Ana orman yolları, Tali orman yollarıdır (A tipi tali orman yolu ve B tipi tali orman yolu) ve Traktör yollarıdır. (OGM, 2007).

Orman yolları, bir yılda üzerinden taşınacak ürün miktarı ve yapılış amaçları, trafik yoğunluğu ve tonajları dikkate alınarak üç ana gruba ayrılmışlardır. Bu yollar: Ana orman yolları, Tali orman yolları (A tipi tali orman yolu ve B tipi tali orman yolu) ve Traktör yollarıdır. Bu yolların geometrik standartları Tablo 3’de verilmiştir (OGM, 2007).

Tablo 3. Orman yol tipleri ve geometrik standartları (OGM, 2007).

Yolun Tipi	Birimi	Ana Orman Yolu	Tali Orman Yolu				Traktör Yolu
			A - Tipi	B – Tipi			
				SBT	NBT	EBT	
Platform genişliği	m	7	6	5	4	3	3,5
Şerit sayısı	adet	2	1	1	1	1	1
Şerit genişliği	m	3	3	3	3	3	3
Maksimum eğim	%	8	10	9	12	12	20
Min. kurp yarıçapı	m	50	35	20	12	8	8
Banket Genişliği	m	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	
Hendek genişliği	m	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	
Üst Yapı Genişliği	m	6	5	4	3	3	
Köprü genişliği	m	7+(2x0.6)	6+(2x0.6)	5+(2x0.6)		4+(2x0.6)	

SBT: Standartları yükseltilmiş B Tipi tali orman yolları

NBT: Normal B Tipi tali orman yolları

EBT: Ekstrem B Tipi tali orman yolları

### **1.6.1. Ana orman yolları**

Trafiğe uygun platform genişliği 7 m ve hendek genişliği 1 m olup toplam genişliği 8 m olan ve ana dereleri takip eden yollardır. Bu genişlikte yol yapılabilmesi için o yol üzerinde bir yılda taşınacak emval miktarının 50000 m<sup>3</sup>'ten fazla olması ve Orman Genel Müdürlüğü'nden özel izin alınması gerekmektedir. Bu tip yolların tamamı 6 m genişliğinde üst yapı malzemesi ile kaplanmalı ve minimal kurp yarıçapı 50 m, maksimum eğim % 8 olmalıdır. Bu tip yollarda standart trafik işaretleri konulması zorunludur (OGM, 2007).

### **1.6.2. Tali Orman Yolları**

1) A Tipi Tali Orman Yolu: Platform genişliği 6 m ve hendek genişliği 1 m olup toplam genişliği 7 m olan ana dere yollarıdır. Bu genişlikte yol yapılabilmesi için o yol üzerinde bir yılda taşınacak emval miktarının 25000-50000 m<sup>3</sup> arasında olması ve Orman Genel Müdürlüğü'nden özel izin alınması gerekmektedir. Bu tip yolların tamamı 5 m genişlikte üst yapı malzemesi ile kaplanmalı, minimum kurp yarıçapı 35 m ve maksimum eğim % 10 olmalıdır.

2) B Tipi Tali Orman Yolu: Trafiğe uygun, platform genişliği 4-5 m ve hendek genişliği 1 m olup toplam genişliği 5-6 m olan dere ve yamaç yollarıdır. (Şekil 4). Bu yollar üzerinde bir yılda taşınacak orman emvali 25000 m<sup>3</sup>'ten azdır. Üretim ve taşıma mevsimi; nakledilecek emvalin cinsi, arazi yapısı gibi faktörler dikkate alınarak bu tip yolların tamamı 3-4 m genişliğinde üst yapı malzemesi ile kaplanmalı, minimum kurp yarıçapı 12 m ve maksimum eğim % 12 olmalıdır. Arazinin eğimi % 75'in üzerinde, saf ve sert kaya olması halinde yol platformu 3 m, hendek genişliği ise 0,5 m olmalıdır.



Şekil 4. B Tipi tali orman yolu

B Tipi tali orman yolları; Arazinin topoğrafik yapısı, ormancılık faaliyetlerinin yoğunluğu ve önceliği, iş merkezleri, trafik yoğunluğu gibi etkenler dikkate alınarak üç alt gruba ayrılmıştır.

a) Standartları Yükseltilmiş B Tipi Tali Orman Yolları: Bu yollar, ormanlık alan içerisinde ulaşımı sağlayan, treylerlerin ağır iş makinelerini manevrasız taşıyabileceği, platform genişliği 5 m, hendek genişliği 1 m, maksimum eğim %9, minimum kurp yarıçapı 20 m. ve laseleri uygun, asgari 20–30 m. görüş mesafesi olan, sanat yapısı ve üst yapı yapılması öncelikli yollardır.

b) Normal B Tipi Tali Orman Yolları: Platform genişliği 4 m, hendek genişliği 1 m, maksimum eğim genelde % 9, ender olarak % 12, kurp ve lase asgari yarı çapı 12 m olan ve ormanların geneline ulaşımı sağlayan yollardır. Bu yollar normal topoğrafik yapı ve arazi şartlarında uygulanır.

c) Ekstrem B Tipi Tali Orman Yolları: Bu yollar, çok zor arazi şartlarının bulunduğu veya orman zonundan dağ zonuna yaklaşıldığında ucu kör yollar ile çok dik yamaçlar ve som kayalıkların bulunduğu alanlarda kısa mesafelerde uygulanabilecek yollardır. Platform genişliği 3 m hendek genişliği 0,50 m. maksimum eğim kısa mesafelerde % 12 olabilmektedir.

### 1.6.3. Traktör Yolları

Mekanizasyon uygulaması henüz başlamayan üretim alanlarında sürütülerek dere içlerinde belirli bir rampada toplanan emvalin, mevcut yollara sürütülmesinin olanaksız olması halinde, sadece sürütülen bu emvali almak amacıyla yapılan geçici yollara traktör yolu denir. Traktör yollarında iniş aşağı taşımada maksimum eğim % 20, yokuş yukarı taşımada maksimum eğim % 12 olmalıdır. Traktör yollarının genişliği 3,5 m olmalı ve yol platformu dere tarafına % 2-3 eğimli olmalıdır (OGM, 2007).

Odun hammaddesi öncelikle sürütme yollarına getirilir, buradan B tipi veya A tipi orman yolları üzerinde taşınarak ara depolara ulaştırılırlar. Odun hammaddesinin ana depolara veya pazarlama merkezlerine taşınması ise ana orman yolları ve devlet karayolları üzerinde yapılır.

### Odun Hammaddesi Taşımada Yükleme ve Boşaltma İşleri

Yükleme, depo ya da istif yerlerindeki tomrukların taşıma aracına çeşitli yöntemlerle aktarılması, boşaltma ise yüklemenin tamamen tersi bir iş olup tomrukların taşıma aracından depolara indirilmesidir. Genel olarak hacim miktarı arttıkça yükleme, boşaltma aynı zamanda sınıflama ve istifleme işleri de daha fazla önem kazanır.

Yükleme, odun hammaddesi nakliyatının aksaksız olarak gerçekleştirilmesi bakımından önemli fonksiyona sahiptir. Bu fonksiyonun etkinliği, yükleme faaliyeti ile kesim, bölmeden çıkarma, istifleme ve ana taşıma arasında iyi bir koordinasyonun sağlanmasına bağlıdır. Genel olarak, yüklenecek mal miktarı arttıkça yükleme, dolayısıyla boşaltma, aynı zamanda sınıflama ve istifleme işleri de daha fazla önem kazanır.

Yükleme işinde duruma göre elle yükleme aletlerinden kendi gücü ile iş gören yükleyicilere kadar çok değişik tipte araç, dolayısıyla metot kullanımı söz konusudur. Kullanılacak araçların tipi, yüklemenin yapıldığı yere, yüklenecek parçanın boyut ve miktarına, ayrıca işgücü durumu ile ekonomik koşullara bağlı olarak değişir.

Genelde Türkiye’de tomruk yükleme ve boşaltma işlerinde doğrudan insan gücü kullanımı yaygın çalışma şeklini oluşturmakla birlikte, özellikle son yıllarda, motor gücüyle çalışan bazı sistemler de söz konusu olmaktadır. Son zamanlarda, işletme satış depolarında ve ormanda istif yerleri ve rampalarda da Caterpillar 920 istifleyici, Granab 900 yükleme vinci ve Liebherr yükleme vinci gibi makinelerle yükleme ve boşaltma

işlerinin yapıldığı görülmektedir (Şekil 5 ve Şekil 6). Türkiye'de uygulanmakta olan odun hammaddesi yükleme şekillerini şöyle özetlemek mümkündür (Acar, 1998):

- Elle yükleme

Yerden yükleme

Rampadan yükleme

- Çapraz yükleme

İnsan gücüyle halat çekimi suretiyle yükleme

Hayvan gücüyle halat çekimi suretiyle yükleme

Motor gücüyle (kamyon ya da traktör motoru) kablo çekimi suretiyle yükleme

- Taşıma araçlarına monte edilen hidrolik kreyinlerle yükleme

- Yürür-döner kreyinlerle (kablolu yükleyiciler) yükleme

- Kısaçlı kaldırımlarla (istif makineleri) yükleme

Boşaltma işlerinde de esas itibariyle aynı araç ya da ekipmanlardan yararlanılmaktadır.



Şekil 5. Granab yükleyici ile odun hammaddesinin kamyonlara yüklenmesi



Şekil 6. Traktöre monteli ekipman ile odun hammaddesinin boşaltılması

### 1.8. Odun Hammaddesi Taşıma Teknikleri

Genel anlamda işletme, insan ihtiyaçlarının karşılanması amacıyla mal ve hizmet üretiminde bulunan teknik ve ekonomik bir birimdir. İşletmenin üç temel işlevi vardır ki bunlar; üretim araçlarının sağlanması, mal ve hizmet üretimi ile üretilen mal ve hizmetlerin piyasaya sunulmasıdır (Acar, 1994).

Odun hammaddesinin orman içinden rampa ve ara depolara, oradan da satış depolarına ve fabrikalara taşınmasında genelde kamyonlar kullanılmaktadır. Bir defada taşıdıkları yükün fazlalığı, hızlı olmaları ve verimli çalışmaları bakımından kamyonların kullanım yaygınlığı her geçen gün artmaktadır. Çok çeşitleri olan kamyonların pek az çeşidi, yurdumuz orman yollarında çalışabilecek ölçülerdedir. Orman yollarının düşük standartlarda olmaları bu kısıtlamayı getirmektedir.

Odun hammaddesi kamyonlara, Karayolları Genel Müdürlüğü'nün belirlediği boyut ve ağırlıklara göre yüklendikten sonra karayoluna çıkarlar. Bu boyut ve ağırlıkları aşan bölünemeyecek ve parçalanamayacak şekildeki ürünlerin karayollarında taşınabilmesi için, Karayolları Genel Müdürlüğü'nden özel yük taşıma izin belgesi alınır.

### 1.8.1. Traktör Treylerle Taşıma

Traktörlerle taşımada traktörlerin arkasına bağlanan treylerler genellikle bir veya iki akslı olmaktadır. Lastik tekerlekli traktör-treylerler, kamyonlar ile birlikte ülkemizde orman yolları üzerinde taşımacılıkta en fazla kullanılan araçlardır.

Traktörlerle çekilen treylerler çeşitli tipte ve büyüklükte olmaktadır. Bunlar paletli ve lastik tekerlekli olmak üzere ikiye ayrılmakta, ayrıca bunları çeken traktörler de paletli ve lastik tekerlekli olabilmektedir. Paletli olanlar 4 tekerlekli olup bunların iki tanesi arka arkaya bağlanıp çekilerek kullanılabilir ve öndeki olanda demirden iki adet yön tekerleği bulunmaktadır. Bunlar, lastik tekerlekli araçlarla geçilmesi mümkün olmayan yaş hava ve fena yol şartlarında ağır tomrukların taşınmasında kullanılmaktadır (Acar, 1998).

Traktörlerle çekilen lastik tekerlekli treylerler de 1-2 akslı ya da 2-4 tekerlekli olabilmektedir. Ülkemizde uygulamada bu treylerler daha çok tarım traktörleri tarafından çekilmek suretiyle kullanılmaktadır. Söz konusu tarım traktörleriyle çekilen bu treylerler çoğunlukla tek akslı olmakta ve tomruklar bunlarla da taşınmaktadır (Şekil 7). Fakat bunların yük kapasiteleri fazla olmamakta ve daha çok 5-7 m<sup>3</sup> civarında tomruk taşıyabilmektedirler.



Şekil 7. Tarım traktörü tarafından çekilen treyler ile taşıma

### 1.8.2. Kamyon ve Kamyon-Treyler ile Taşıma

Ülkemizde odun hammaddesinin rampa yerlerinden ya da ara depolardan satış depolarına ve fabrikalara taşınmasında en fazla tercih edilen araç tipi kamyonlardır (Şekil 8). Daha çok kısa tomruk taşımacılığında ya da kâğıtlık odun, sanayi odunu ve maden direği gibi odun hammaddesinin taşınmasında kullanılan bu araçlar iki veya üç akstan meydana gelirler. Taşıma şekli kamyon kasası kapalı olarak veya özel dikmelerin kullanılması halinde açık olarak yapılır.

Üç akslı olan bazı kamyonlarla yapılan boş geri dönüşlerde arkada bulunan iki akstan geride olanı özel bir tertibatla havaya kaldırılarak bu aksa bağlı tekerleklerin kısa sürede yıpranmaları önlenir (Acar, 1998).

Kamyonlarla taşımada verimin artırılması ya taşıma mesafesinin kısa sürede kat edilmesi ya da yükleme süresinin kısaltılması suretiyle olur. Taşıma mesafesinin daha kısa sürede kat edilmesi orman ana ve yan yollarının bu taşıma şekline uygunluğuna yani bu yolların belli bir hızla seyredebilecek durumda olmalarına bağlıdır. Yol standartları uygun duruma getirildiği takdirde bir seferde taşınabilecek kamyon yükünü aks ilave etmek suretiyle artırmak ve böylece günlük verimi yükseltmek mümkün olacaktır. Bugün ana orman yollarında seyreden kamyonlara iğne yapraklı ağaç tomruklarından 15–25 m<sup>3</sup>, yapraklı ağaç tomruklarından ise 15–20 m<sup>3</sup> tomruk yüklemek mümkün olabilmektedir. Bu miktarları artırdığımız oranda taşımadaki verimde kendiliğinden artmış olacaktır (Acar ve vd., 2001).

Kamyon ve kamyon-treyler ile yapılan taşımalarda Karayollarınca belirlenen yük sınırları içinde kalmaya dikkat edilmelidir. Bazı büyük taşıma araçlarında bulunan yük ağırlık göstergeleri yükleme sonrası aracın sürücü tarafından ağırlık kontrolünün yapılabilmesini sağlar. Yine kamyon ve kamyon-treylerde karoser genişliği, uzunluğu, yükün çıkıntı derecesi, fren sistemleri ve farlar yasal sınırlar içinde olmalıdır. Özellikle Avrupa ülkelerinde uzun mesafelerde kamyon ve kamyon-treyler ile karayolu taşımacılığına sık sık başvurulur. Ülkemizde de zaman zaman bu tip taşımacılık uygulanmaktadır (Acar, 2004).



Şekil 8. Orman yolları üzerinde odun hammaddesinin kamyonla taşınması

### 1.8.3. Uzun Mesafeli Orman Hava Hatları ile Taşıma

Uzun mesafeli orman hava hatları ile genellikle fazla miktarlardaki tomruklar sabit bir ara depo ya da istif yerinden uzak mesafelere taşınmaktadır. Böylece bu tesisler bir araya toplanmış bulunan tomrukların ana taşıma safhasını yerine getirebilmektedirler. Bu şekilde uzun mesafeli kablo hat sistemleri bazı şartlarda orman yollarının yerini almakta ve buralarda odun hammaddesinin taşınmasını mümkün kılmaktadır. Taşıma kapasiteleri yüksek olan sabit ve uzun mesafeli hava hatlarının uzunluklarını sınırlayan teknik bir neden söz konusu olmamaktadır.

Kablolu hava hatlarının hem doğrudan doğruya yerin çekim kuvvetinden yararlanan ve bir taşıyıcı ve frenleme görevi yapan açık ya da sonsuz bir çekme kablosu bulunan herhangi bir çekme kuvvetine gerek göstermeyen ve hem de bir motor gücünden yararlanan tipleri mevcut bulunmaktadır.

### 1.8.4. Su ile Taşıma

Tomrukların sularla taşınması, akışı düzenli ve bol suyu olan akarsuları bulunan ülkelerde yapılmaktadır. Tomruklar ya salları halinde ya da etrafı çevrilmiş büyük gruplar halinde su üzerinde yüzdürmek ya da çekilmek suretiyle taşınmaktadır.

Su ile taşımamanın başlıca yararları taşınan tomruğun dayanaklılığının artması, dış etkilerden korunması, kolay işlenmesi ve sonuçta diğer taşıma şekillerine göre daha ucuz olmasıdır. Buna karşılık taşıma sırasında tomrukların akarsu yatağı içerisindeki engellere

takılması ve kenarlarda kalması, batması, gövdelerin yaralanması ve kırılması, taşıma yapılan akarsuyun denize ulaştığı yerde tomrukların denize kaçması ve son olarak da taşımanın kesin olarak kontrol altına alınamaması gibi olumsuz yanları bulunmaktadır.

Buna göre su ile taşımada mevcut akarsuyun düzenli akıp akmaması ve suyun bol olup olmamasına göre taşıma şekli de değişmekte akışı düzenli olmayan sularda tomruğun salma şeklinde yani tek tek suya salınarak taşınması söz konusu olmaktadır. Akışı düzenli olan akarsularda ise sal halinde taşıma yapılmaktadır. Bazen de akarsu yatakları büyük ve geniş olduğu takdirde ya da göl ve denizlerde tomruklar, etrafı çevrilmiş büyük gruplar halinde bir çekici motor yardımıyla su üzerinde çekilmekte ya da tomruk taşımaya özel olarak yapılmış tekneler yardımıyla taşınmaktadır (Acar, 2004).

Bunların boşaltılması teknenin yana yatırılması suretiyle kendi kendine olabilmektedir. Bazen de düz platformlar üzerine yüklenen tomruklar bir çekici tekne ile su üzerinde çekilerek taşınmaktadır.

#### **1.8.5. Hava Yolu ile Taşıma**

Uygulamada iki tür hava yolu taşıma sistemleri kullanılmaktadır. Bunlar, helikopter ve Balon'la taşıma sistemleri'dir.

Helikopterlerle taşıma 25 yıla yakın bir süredir dünyanın çeşitli ülkelerinde denenmekte ve aynı zamanda uygulanmaktadır. Bu taşıma yöntemi Orta Avrupa'da ancak son yıllarda özel ve münferit durumlarda kullanılacak biçimde önem kazanmıştır. Taşıma ve işletme masrafları son derece yüksektir. Ülkemizde uygulanmamaktadır

Balonlarla taşıma, helikopterler ile taşımaya benzemektedir. Hava gazından daha hafif (genellikle helyum) gazla dolu balonları kullanarak kaldırma kuvveti sağlayan, taşıma boyunca tomruk yükünü tamamen askıda tutan sistemlerdir. Bunlar kablo hat sistemleri ile kombine bir şekilde kullanılmakta ve böylece kablo hatlar balonun kaldırma gücünden yararlanmakta ve bu şekilde taşıma hızı artmaktadır. İlk kuruluş maliyetinin yüksek olmasından, özel teçhizat ve eğitilmiş ekip gerektirmesinden dolayı az sayıda balon taşıma sistemleri aktif olarak kullanılmaktadır.

### 1.9. Orman Yolları ile Taşıma Araçları Arasındaki İlişkiler

Orman yollarında araç sayısı ve yoğunluğu bir yandan işletmeye açma alanının büyüklüğü ve yerine, diğer yandan yolun fonksiyonlarına bağlıdır. Bu nedenle araç sayısı ve yoğunluğu yerleşim alanlarına yakın olan yerlerde ve görevi çok olan yollarda, dağlık arazideki bir yola nazaran daha fazladır.

Ülkemizde genelde yaz nakliyatı yapıldığından yıllık taşıt sayısı yaz aylarında yoğunlaşır. Orman yollarında yıllık araç sayısı ortalama 1000-2000 arasında değişir. Araştırmalar orman yollarında yıl içinde % 78 oranında insan taşıyan araçlar, % 22 oranında yük taşıyan araçlar olarak araç tiplerine göre taşıt sayısının dağılımını göstermektedir (Erdaş, 1988).

Orman yollarında taşıma yapılacak araçlar belli kurallara ve ölçülere uymak zorundadır. Bunun nedeni, orman yolunun yapılırken dikkate alınan, yolun kaldırabileceği yükten daha fazla bir yüke maruz kalıp çabuk bozulmasını önlemek ve güvenli bir taşıma yapılmasını sağlamaktır. Orman yolları ile karayollarının araç ölçü ve yüklerini sınırlandırmaları arasında orman yolları standartlarının, karayolları standartlarından daha düşük olmasından kaynaklanan farklılıklar vardır. Buna göre orman yollarında uygulanan ölçü ve ağırlıklar şöyledir (Erdaş, 1998; Acar, 2004):

#### a) Kamyonların Boyuna Sınırlandırılma

Uygulamada sıkça rastlanan kamyon tipleri ile bunların boyutsal ölçüleri aşağıda verilmiştir.

- Akslar arası mesafe: 3,2-5,5 m
- Arka akslar arası mesafe: 1,0-2,0 m
- Toplam uzunluk: 5,0-11,0 m
- Faydalı yükleme alanı uzunluğu: 4,1-9,2 m
- Şasi ön çıkıntısı: 0,7-1,8 m
- Şasi arka çıkıntısı: 1,6-3,3 m

Tek römorklu araçlarda boyuna sınırlandırma iki şekilde incelenir, bunlar:

Normal Römorklu Araçlar: Genel olarak sanayi odunu, yakacak odunu, yonga levha vs. gibi orman ürünleri taşımacılığında kullanılan ve normal kamyonu eklenen normal boyutlardaki bir römorku kapsayan taşıtlar.

Özel Römorklu Araçlar: Genellikle orman yollarında uzun tomruk nakliyatı için kullanılabilir. Bu tip kamyonlarda kullanılan özel römork bir veya birden fazla akslı olabilir.



Şekil 9. Kamyonla taşınan odun hammaddesinin yandan görünümü

#### b) Kamyonlarda Enine Sınırlandırma

Genel olarak bütün taşıtlarda enine sınırlandırma ile genişlik birbirinden ayrı olup: Maksimum araç genişliği;  $D_{\max}=2,50$  m olmaktadır. Bununla birlikte bazı ziraat makinelerinde maksimum araç genişliği ise;  $b_{\max} = 3,05$  m olarak sınırlandırılmıştır.



Şekil 10. Kamyonla taşınan odun hammaddesinin önden görünümü

### c) Kamyonun Aks Yüğü Sınırlandırılması

Orman yollarında taşıma yapan araçların azami ağırlık sınırlandırılması ise aşağıdaki gibidir:

- Azami aks ağırlığı: 8,0 ton
- İki akslı motorlu araçlarda: 16,0 ton
- Üç akslı motorlu araçlarda:
  - a) Sadece tek aks ise: 19,0 ton
  - b) En az iki aks ise: 25,0 ton
- İki veya daha fazla akslı normal römork: 12,0 ton
- Arkada çift akslı bir normal römork: 10,0 ton
- Tek akslı normal römork: 8,0 ton
- En az üçten fazla akslı uzun tomruk taşıması yapan araçlarda: 28,0 ton

Yukarıda belirtilen aks yüğü sınırlandırmasında görüldüğü üzere, sınırlandırma tek aks veya çift aks üzerinde farklı şekilde gerçekleşmektedir. Akslar arası 1 m'den daha yakın bulunmayan ve 2 m'den de daha fazla birbirinden uzak olmayan akslar çift aks olarak kabul edilir.

### d) Kamyonlarda Yükseklik Sınırlandırılması

Karayollarında taşıma yapan tüm araçlar için genel olarak bir yükseklik sınırlaması vardır. Bu yükseklik genellikle, tünel, köprü ya da üst geçit yükseklikleri olarak belirtilmekte ve bu gibi yerlerde önem kazanmaktadır. Ayrıca araçların kendi geometrilerinden kaynaklanan ve savrulmalarını engellenmek için bir yük yükleme yüksekliği olmaktadır. Genel olarak orman yollarında nakliyat yapan araçlar için yükleri ile birlikte yüksekliği 4,0 m'yi geçmemelidir (Erdaş, 1988; Acar, 1996).

## 1.10. Odun Hammaddesi Depoları ve Önemi

Orman işletmelerinin gelir kaynağının en büyük kısmını odun hammaddesi satışı oluşturmaktadır. Bu yüzden odun hammaddesinin depolanması ile işletmenin başarısı arasında doğrusal bir ilişki söz konusudur. Odun hammaddesinin depolarda en iyi şekilde muhafaza edilmesi ve pazarlanması işletme başarısında önemli bir artış sağlayabilmektedir.

Orman depolarının kuruluş yeri seçilirken ve düzenlenirken odun hammaddesinin özelliklerinden hareket edilir. Odun hammaddesinin en belirgin özelliği, ağırlık ve hacmidir; odun hammaddesinin ağırlığına göre hacmi fazladır.

Yeni kesilmiş bir ağaç fazla miktarda su ihtiva ettiğinden kurumuş haline göre ağırdır. Odunun bu özellikleri dikkate alındığında, depolama ve taşınmasının özellik gösterdiğini söyleyebiliriz. Her mevsim ulaşımına açık, orman içinde veya kenarında, yükleme ve boşaltma yapmaya uygun alanların odun hammadde deposu olarak seçilmesi akılcıdır. Bu gibi yerlerde teknik, ekonomik ve organizasyon açısından önlemler daha rahat alınır (Acar, 2004).

Türkiye’de ormandan kesilen odun hammaddesi genel olarak dört farklı yerde depo edilmektedir. Bunlardan birincisi maktalar ya da kesim yerleridir. Buralarda odun hammaddesi genellikle dağınık bir vaziyette bulunmaktadır, ikincisi rampalar ya da orman içi istif yerleridir. Bölmeden çıkarılan odun hammaddesi kamyon ve benzeri araçlara yüklenmek üzere istif edilmektedir. Üçüncüsü ara depolardır. İşletme ormanlarının belirli ve uygun yerlerinde özel koşulların bir gereği olarak, odun hammaddesinin taşınması sırasında aktarma yapılması zorunlu olduğunda, bu aktarma yerleri yani ara depolar söz konusu olmaktadır. Dördüncüsü de son depo, satış deposu ya da ana depolardır. Bunlar, işletmenin ürünlerinin satış suretiyle elden çıkarıldığı yerlerdir. Bu depolar birer dağıtım merkezidir (Şekil 11).

Ülkemizde odun hammaddesi kaynağına yani ormanlara toprak yollar üzerinden ulaşım sağlanmaktadır. Bu yollar üzerinde ulaşım ve taşıma, yörenin iklim ve arazi şartlarına göre değişmekte ve genelde az yağışlı yaz aylarında gerçekleşmektedir. İşte bu nedenle orman işletmelerinin vitrini durumunda olan odun hammaddesi depolarının ulaşımın her mevsim sağlanabildiği pazara yakın yerlerde kurulması gereklidir.



Şekil 11. Odun hammaddesinin satış deposundaki görünümü

### 1.11. Odun Hammaddesinin Taşınmasında CBS' nin Kullanılması

Bilgi sistemlerinin doğuşu ile birçok sektörde devrim niteliğinde değişimler olmuştur. Bu değişim konuma dayalı faaliyetlerin yürütüldüğü sektörlerde oldukça etkili olmuştur. Bunun sonucu olarak da coğrafi bilgi sistemleri (CBS) kavramı ortaya çıkmıştır.

CBS, konuma dayalı gözlemlerle elde edilen grafik ve grafik–olmayan bilgilerin toplanması, saklanması, işlenmesi ve kullanıcıya sunulması işlevlerini bütünlük içerisinde gerçekleştiren bir bilgi sistemidir (Yomralıoğlu, 2002).

CBS tanımında yer alan temel fonksiyonlardan coğrafi bilgi toplama, depolama ve işleme fonksiyonları, coğrafi veri tabanı oluşturulmasına yöneliktir. Bu fonksiyonlar kullanılarak, grafik ve öznitelik bilgiler bilgisayar ortamına aktarılmakta; gerekli düzeltmelerin yanı sıra koordinat ve projeksiyon dönüşümleri yapılmakta; bu bilgiler yapılandırılmakta, aralarındaki mantıksal ve topolojik ilişkiler kurulmakta ve sonuçta coğrafi veri tabanı kullanıma hazır duruma getirilmektedir (Aranoff, 1989).

Bilgisayar yazılım ve donanımlarında meydana gelen gelişmeler sonucu ortaya çıkan Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) günümüzde de birçok alanda kullanım olanağı bulmuştur. Yeryüzünün en önemli doğal kaynaklarından biri olan ormanların işletilmesi, orman yollarının planlanması, odun hammaddesinin taşınmasını konu alan ormancılık ise coğrafi bilgi sistemlerinin en önemli uygulama alanlarından birini oluşturmaktadır (Koç,1995).

CBS, ormancılıkta odun üretimi ve taşıma planlarında karar destek mekanizması olarak kullanılmıştır (Chung, 2003). Özellikle CBS'ye ait sayısal arazi modeli (SAM) gibi modüllerin kullanılmasıyla, üretim sistemlerinin fiziksel planlaması, üretim ekipmanlarının konuşlandırılması, rampa yerlerinin seçimi, hava hattı koridorlarının tespiti, taşıma güzergâhlarının belirlenmesi gibi çeşitli planlama adımları gerçekleştirilebilmektedir. (Chung ve Sessions, 2000; Sessions vd., 2001).

CBS, özellikle taşıma ve orman yollarının planlanmasında etkili biçimde kullanılarak, odun üretim planlaması için mekansal düzenlemeye yardımcı olmaktadır (Eker ve Acar, 2002; Demir, 2002; Gümüş, 2003).

## **1.12. Odun hammaddesi Taşımada Sezgisel ve Meta-Sezgisel Yaklaşım**

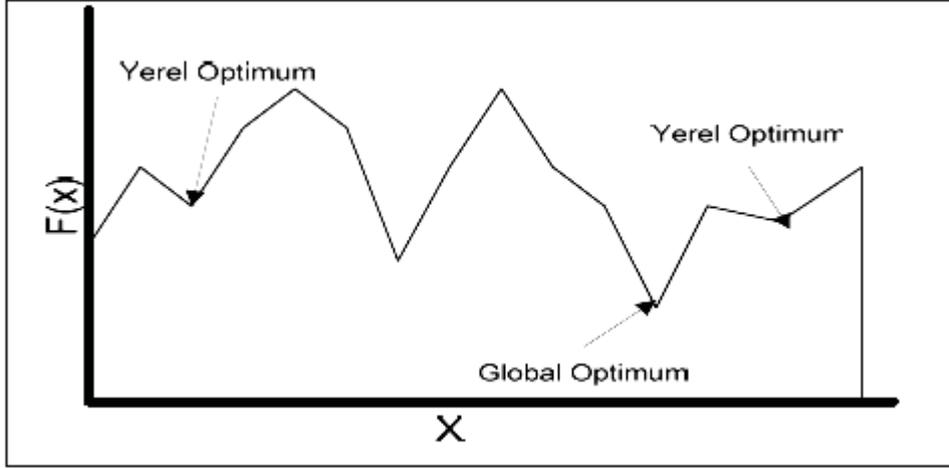
### **1.12.1.Optimizasyon Kavramı**

Optimizasyon, bazı etkinlik kriterlerinin veya iyiliği gösteren ölçütlerin mümkün olan çözümlere uygulanması sonucu, bunların arasından en iyi çözümün elde edilmesini ima eder (Akgül, 1998).

Söz konusu etkinlik kriteri amaç fonksiyonu olup, genellikle tasarım veya karar değişkenlerinden oluşan matematiksel bir ifadedir. Amaç fonksiyonu, tasarım değişkenlerinin bir fonksiyonu olarak mümkün çözümlerin iyilik durumlarını ifade edecek şekilde matematiksel terimlerden oluşturulur.

Matematiksel olarak ifade etmek gerekirse, optimizasyon bilinen bir fonksiyonun (amacın) belirli bir kısıtlar altında ya da kısıtlar olmaksızın optimumunun bulunması demektir (Akgül, 1998).

Bir optimizasyon problemi  $f(X)$  amaç fonksiyonunu belirlenmiş kısıtlar altında optimize eden  $X=(x_1,x_2,x_2,\dots,x_n)$  çözüm kümesinin belirlenmesi olarak tanımlanabilir. Johnson vd. (1989), optimum çözümü, amaç fonksiyonuna en iyi olası sonucu veren çözüm kümesi olarak tanımlamışlardır. Problemlerin arama uzayında birden fazla optimum çözüm bulunabilir. Şekil 12 incelenirse bu daha net anlaşılabilir. Bu çözümler yerel optimum çözümler olarak tanımlanırlar.



Şekil 12. Yerel ve global optimum noktalar

$F(X)$ : amaç fonksiyonu,  $X$ : çözüm kümesi

Şekil 12’de Johnson vd. tarafından tanımlanan yerel arama algoritmasının akışını vermektedir. Bu tarz algoritmalar uygulaması kolay ve çözüm veren algoritmalarlardır. Fakat sadece yeni çözüm üzerinden devam ederler ve bir önceki çözümü elerler. Tavlama Benzetimi tarafından bulunan çözümler başlangıç çözüm ile sınırlı kalmaz ve dolayısıyla global optimuma yakın sonuçlar verirler.

Optimizasyon problemleri, karar değişkenlerinin sürekli ve kesikli olmasına göre iki kısımdan oluşur. Karar değişkenleri kesikli olanlara kombinatoriyal optimizasyon problemleri denir. Kombinatoriyel optimizasyon problemlerinin büyük bir kısmı, meta-sezgisel yöntemler yardımı ile çözülebilmektedir. En kısa mesafenin bulunması, en uygun taşıma planının oluşturulması gibi problemler kombinatoriyel yapıdadır (Başkent, 2001).

### 1.12.2. Sezgisel ve Meta-Sezgisel Yöntemler

Sezgisel kelimesinin İngilizcesi olan "heuristic" Yunanca kökenlidir ve bulmak, keşfetmek anlamına gelmektedir. Ancak bugün sezgisel, herhangi bir şeyin bulunmasını garanti etmeyen bir "arama" (seeking) metodu olarak tanımlanmaktadır.

Sezgisel yöntem teknikleri, bağımsız bir yöneylem araştırma tekniği (modeli) olarak geliştirilmiştir. Sezgisel, iyi yani en iyi çözüme yakın çözümleri araştıran bir tekniktir ve bu işlemi fizibiliteyi ya da en iyi sonucu bulmayı garanti etmeksizin makul bir hesaplama maliyeti ile yapar.

İyileştirme, problemin her bir adımında sağlanarak, toplamda probleme ait en iyi çözümün bulunması sağlanır. Yani bir çeşit çözümlenme algoritmasıdır. Ancak, her bir adım

problem yapısından bağımsız işlemleri gerektirebilir. Var olan çözüm yöntemleri, bir arada kullanılarak yeni bir çözüm bulma yolu oluşturulur. Çözümler, matematiksel programlama ile yapılarak doğrusal programlama, karışık tam sayılı doğrusal programlama gibi tam çözüm bulan algoritmalarla benzer, tek optimize olmuş sonuçlar vermez. Ancak, optimele yakın değerlerde sonuçlar verebilir. En büyük avantajı, matematiksel programlardaki çözüm süresini kısaltması, adımlar arasında ileri geri beslemenin yapılmasını sağlaması ve en iyi çözüm stratejilerini birleştiren harmanlanmış bir çözüm kurgusunun, planlayıcının sezgileri doğrultusunda programlanması olarak gösterilebilir (Eglese, 1990; Nabiyev, 2003).

Bu sezgisel yöntemler aşağıdaki gibi sınıflandırılır;

- 1-Kurucu algoritmalar
- 2-Geliştirici algoritmalar
- 3-Melez algoritmalar
- 4-Graf Teorisi algoritmalar'dır.

Ancak, sezgisel yöntem ile meta-sezgisel yöntem ya da yaklaşımlarını ayırt etmek gereklidir. Meta-sezgiseller ise sadece mevcut çözümün yerel komşularını tararlar ve yerel optimuma yakalanma olasılıkları oldukça yüksektir. Bu yüzden başlangıç çözümüne ve değişim metoduna çok fazlasıyla bağımlıdırlar. Meta-sezgisel yöntemler, geliştirici sezgisel yöntemlerin performanslarını önemli ölçüde arttırmışlardır.

Meta-sezgisel yöntemlerin pek çok ortak yanları olmalarına karşın, çözüm uzayının araştırılması için kullanılan stratejileri farklıdır. Meta-sezgisel yöntemlerin önemli bir avantajı da, genel amaçlı kullanıma sahip olmalarıdır. Meta-sezgisel yöntemler şunlardır;

- 1- Genetik Algoritma(GA)
- 2- Tavlama Benzetimi(TB)
- 3- Tabu Arama(TA)
- 4- Karınca Kolonisi(KK)

### **1-Genetik Algoritma (Genetic Algorithm-GA)**

Genetik algoritmalar 1970'lerin başında John Holland tarafından ortaya atılmıştır. Genetik algoritmalar, karmaşık optimizasyon problemlerin çözülmesinde kullanılan bir teknolojidir. GA, rassal arama tekniklerini kullanarak çözüm bulmaya çalışan, parametre kodlama esasına dayanan bir arama tekniğidir (Bingül vd., 2000).

Esasen doğadaki değişim süreçlerinin bilgisayar ortamında modellenmesine dayanan GA, çok büyük karmaşık, sürekli ve doğrusal olmayan problemlerin çözümünde kullanılan

stokastik bir arama yöntemidir (Goldberg, 1989; Sinriech vd, 1999; Yeniay, 2001; Başkent, 2004).

Genetik algoritmalar doğada geçerli olan en iyinin yaşaması kuralına dayanarak sürekli iyileşen çözümler üretir. Bunun için “iyi”nin ne olduğunu belirleyen bir uygunluk (fitness) fonksiyonu ve yeni çözümler üretmek için yeniden kopyalama (recombination), değiştirme (mutation) gibi operatörleri kullanır. Genetik algoritmaların bir diğer önemli özelliği de bir grup çözümle uğraşmasıdır. Bu sayede çok sayıda çözümün içinden iyileri seçilip kötülerini elenebilir.

Bir problemi çözebilmek için öncelikle rasgele başlangıç çözümleri belirlenir. Daha sonra çözümler birbirleri ile eşleştirilerek daha iyi çözümler üretilir. Bu şekilde çözümler birleştirilerek yeni çözümler aranır. Bu arama daha iyi bir çözüm üretilmeyinceye kadar devam eder.

## **2-Tavlama Benzetimi(Simulated Annealing-SA)**

Tavlama Benzetim (TB) yöntemi, karmaşık kombine problemlerin optimal çözümünde kapsamlı arama ve belli alanlarda yoğunlaşma arama tekniklerini kullanan ardışık çözüme dayalı matematiksel çözüm tekniğidir (Beasley, 1993). Kapsamlı arama denilince, problemi oluşturan çözüm alanı içerisinde yeni ve bilinmeyen çözüm alanlarının taranması ve denenmesi anlaşılır. Uygun çözüm alanına yoğunlaşma denildiğinde ise, daha önceki çözüm alanlarını dikkate alarak daha iyi çözüme ulaşmak için bu çözüm alanlarındaki potansiyel çözüm kombinasyonlarını yahut alternatifleri mümkün olduğunca yoğun bir şekilde taraması kastedilmektedir (Beasley, 1993; Başkent, 2002).

Tavlama benzetiminin özelliklerini şu şekilde özetlemek mümkündür (Eglese, 1990; Başkent, 2004):

- Olasılıklı bir arama tekniğidir
- Çok sayıda karar seçenekleri değerlendirir
- Optimale yakın çözüm verir
- Gereksiz kısıtlayıcı varsayımlar yoktur

Problemlerde kısıtlar varsa; çözüm kümesi bu kısıtları sağlamalı veya kısıtları sağlamayan çözümler uygun bir ceza fonksiyonu dikkate alınarak çözüm uzayına dahil edilmelidir (Eglese, 1990).

TB ve optimizasyon problemleri birbirine çok benzemektedir. Bu ilişki Tablo 4’de açıklanmaktadır (Eglese, 1990).

Tablo 4. Tavlama sürecinin optimizasyon problemlerine uyarlanması

Tavlama Süreci	Optimizasyon Problemi
Sistemin Durumları	Uygun Çözüm
Enerji	Maliyet
Durumun Değişmesi	Komşu Çözüm
Sıcaklık	Kontrol Parametresi
Donma Durumu	Meta-Sezgisel Çözüm

Sıcaklık, bir önceki çözümden daha kötü olan bir çözümün, kabul edilme olasılığının hesaplanmasında kullanılmaktadır. TB’nde soğutma işlemi yavaş yavaş yapılmalıdır. Bunun için bir sıcaklık azaltma fonksiyonundan yararlanılır. Literatürde önerilen farklı sıcaklık azaltma fonksiyonları vardır (Eglese, 1990).

Örnek olarak aşağıda dört tanesi verilmiştir.

$$a) \text{Aritmetik fonksiyon } T_k = T_{k-1} - Cte \quad (1)$$

$$b) \text{Geometrik fonksiyon } T_k = T_{k-1} * \alpha \quad (2)$$

$$c) \text{Ters fonksiyon } T_k = Cte / (1+k) \quad (3)$$

$$d) \text{Logaritmik fonksiyon } T_k = Cte / (\text{Log}(1+k)) \quad (4)$$

TB hakkında ayrıntılı bilgi yöntem kısmında verilmiştir.

### 3. Tabu Arama (Tabu Search-TS)

Tabu Arama (TA), Glover (1989), tarafından kombinatorial problemlerin çözümü için önerilmiş olan meta-sezgisel tekniklerden biridir. Tabu Arama, Tavlama benzetiminin bir benzeri tekniğidir. Lokal aramaya dayanan bu teknik, ardışık çözümleri hafızada saklama ve çözüm eğilimini zamanla değiştirme özelliği ile bilinmektedir (Glover ve Laguna,1997; Nabiyev, 2003). TA metodunun temelini, komşuluk yapısı, hareketler, tabu listesi ve arzu edilme kriteri oluşturmaktadır. Hareket mevcut bir çözümden komşu bir çözümün üretilmesi işlemidir. Tabu listesi ise, yasaklanan hareketlerin oluşturduğu bir listedir ve bu listedeki bir harekete izin verilmez. TA işlemi, bir başlangıç çözümle başlar ve komşu çözümler arasında, amaç fonksiyon değerinde en fazla iyileşme sağlayan, diğer bir çözüme yasak olmayan bir hareketle devam eder.

TA, değişim stratejileri arasında düşük amaç fonksiyonu oluşturan değişim stratejilerini değerlendirerek yerel optimal tuzağından kurtulmaktadır. Yani, t iterasyonu sonucunda amaç fonksiyonunda herhangi bir iyileşme olmadığında iterasyon sonlandırılmamaktadır. Bunun yerine amaç fonksiyonunu, en az etkileyen  $N(x(t))$  çözüm

seçeneği ile çözüme devam edilir. Ancak bu durum daha önce ziyaret edilen çözüm alanlarıyla aynı olması durumunda çözümü bir döngü içerisine atabilir ki, bu durumdan çözüm kurtulmalıdır. Bu tekrar eden döngüden kurtulmak için yakın geçmişteki değişiklikler listelenerek hafızaya kaydedilir ve belirli T iterasyonunda yasaklanabilir (Tabu anlamı da buradan gelmektedir). Burada T tabu süresi olarak adlandırılır ve TA' nın önemli bir özelliğidir.

Bu yasaklama ile komşu çözüm alanları değişecek ve probleme daha iyi çözüm arama fırsatı verilecektir. Dolayısıyla Tavlama benzetimine benzer olmasına rağmen, TA tekniği yasaklama, yoğunlaşma ve yönlendirme teknikleri ile Tavlama Benzetiminden ayrılmaktadır (Başkent, 2004; Ponnambalam vd, 2000).

#### **4. Karınca Kolonisi (Ant System-AS)**

Karınca Koloni sistemi (KKS) ilk olarak Dorigo vd, (1991) tarafından kombinatorial problemlerin çözümü için, genel bir meta-sezgisel yaklaşım olarak önerilmiştir. Gerçek hayattaki karıncaların, yiyecek bulmak için kullandıkları yöntemleri, yapay karıncalar üzerinde uygulayarak kombinatorial optimizasyon problemlerine çözüm aramışlardır.

Doğadaki karıncalar kör olduklarından, koloniler halinde yiyecek toplamadaki, en kısa yolu seçme mekanizmalarına göre algoritma oluşturulur. Karıncalar, koloniler halinde çalıştıklarından, bu algoritma ile etkin sonuçlar elde edilebilmektedir. Doğadaki karıncalar, yiyecek toplarken, geçmiş oldukları yollar üzerinde bir sıvı madde (iz-trial) bırakırlar. Bu madde uçucu olup belirli zaman sonra kaybolur. Belirli bir t zaman aralığında belirli bir yoldan ne kadar çok karınca geçer ise iz miktarı o kadar fazla olur. Daha sonra, aynı yol üzerine gelen karıncalar kısa yolu, iz miktarına bağlı olarak seçerler. Diğer bir deyişle, gidebileceği birden fazla yol olduğunda iz miktarı fazla olan yolu tercih ederler.

Dijkstra (1976), üretim ekipmanlarının tahsislendirilmesi ve üretim ünitelerinin düzenlenmesi için “cascading fixed charge facilities location model” adlı bir yaklaşımla “yaklaşıklık” algoritmasını kullanmıştır. Bu yaklaşımla meta-sezgisel programlama ile matematiksel programlamayı kullanarak üretim operasyonlarının planlanmasında hava hattının kuruluş yerleri ve ilgili etkinlikler için kaynak tahsislendirmesini yapmıştır.

Bu modelde, yalnızca traşlama kesimi yapılan üretim alanları dikkate alınmış ve alternatif yol konumlarını değerlendirmemiştir.

Murray ve Church (1993) operasyonel orman planları için, tavlama benzetimi ve tabu arama'dan oluşan iki meta-sezgisel optimizasyon yaklaşımını kullanmıştır. Yaklaşık optimal sonuçlar veren bu yaklaşım kısa bir zamanda çözüme ulaşabilmiştir.

Schuster vd. (1993), ormancılık planlarında kullanılan bilgisayar tabanlı analitik araçlar hakkında yayınladıkları çalışmada, ormancılıkta üretim, taşıma ve diğer operasyonlara ilişkin Lp, Mıp, Network, Sezgisel, Meta-Sezgisel, Simülasyon, Monte Carlo Örnekleme, Yapay zeka, Uzman sistemler, Dinamik Programlama vb. modelleme tekniklerinin kullanıldığını ve Snap-Iı, Gıstran, Network, Plans, Transman, Tms, Rms adlarıyla üretim ve taşıma planlamalarında kullanılabilen çeşitli karar destek araçlarının geliştirildiğini belirtmişlerdir.

Robak (1994), yaptığı bir çalışmada meta-sezgisel kurallara dayalı bir simülasyon programı olan OP-PLAN' ı geliştirmiştir. 18 aylık planlama periyodunda içinde işletmenin bütçe sınırına göre, odun üretim ve yol yapım maliyetlerini belirleyen bir programdır.

Ichihara vd. (1996), yol yapım maliyetini en aza indiren optimum düşey güzergahı tespit etmek için "Meta-sezgisel" yöntemler kullanarak bir optimizasyon modeli geliştirmişlerdir. Bu modelde, yol güzergahı boyunca eğimin değiştiği optimum kontrol noktaları Genetik Algoritma (GA) kullanılarak yerleştirilirken, toplam yapım maliyetini en aza indiren optimum yol eğimini tespit etmek için Dinamik Programlama (DP) kullanılmıştır. Daha sonra, örnek bir yol dizaynında modelin performansı geleneksel orman yolu planlama yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Sonuçların gösterdiğine göre "Meta-sezgisel" yöntemlerin kullanılması yol dizaynındaki toplam hesaplama zamanını önemli ölçüde azaltmıştır.

Suzuki vd. (1998), yaptıkları çalışmada bazı rekreasyon değerlerini göz önünde tutarak meta-sezgisel yöntem yardımı ile optimum orman yolu dizaynı üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. GA kullanılarak güzergah boyunca yerleştirilen kontrol noktalarının optimum düşey koordinatlarının tespiti, önemli ölçüde hesaplama zamanını azaltmıştır.

Clark (1998), çalışmasında potansiyel üretim bölmelerinin değerlendirilmesinde kullanılan üretim operasyon maliyetleri için yeni bir model geliştirmiştir. Bu model; kesme, bölmeden çıkarma ve ulaşım (yol yapımı)/taşıma maliyetlerine dayanmaktadır. Model, üretim alanının geometrik yapısı ile orman yolu (kamyon yolu) arasındaki ilişkiyi göstermesi açısından bir yenilik sağlamaktadır. Üretim bölmelerinin zaman ve konum kısıtlayıcılarına göre seçimi için meta-sezgisel yaklaşımı kullanmıştır. Üç evreli meta-sezgisel, diğer çözüm yaklaşımlarıyla, 13 örnek problem üzerinde karşılaştırılmıştır. Bu yaklaşım, diğer çözümlere nazaran %1-10 arasında iyileştirme sağlamıştır.

Gunnarson vd. (2001), bir yıllık planlama horizonunda odun tedarik zincirinin formüllenebilmesi için MILP (mixed integer linear programming) modelini

kullanmışlardır. Uygun bir zamanda çözüm elde edebilmek için bu modeli meta-sezgisel programlama ile çözmüşlerdir.

Akay (2004), yaptığı çalışmada orman yollarının planlanmasında kazı dolgu dengelenmesi için doğrusal programlama ve düşey doğrultma için meta-sezgisel yaklaşım metodunu tanıtmıştır.

Aruga vd. (2004), orman yollarında optimum düşey güzergahın belirlenmesi çalışmalarında iki ayrı meta-sezgisel yöntemin (Genetik Algoritma (GA) ve Tabu Arama (TA)) performanslarını karşılaştırmışlardır. Çalışmanın sonuçlarına göre, TA iyi kalitede çözümleri GA yöntemine oranla daha kısa hesaplama süresinde bulmuştur.

Akay ve Sessions (2005), modern optimizasyon yöntemlerini (Meta-sezgisel yöntem ve Lineer Programlama) kullanarak, toplam yol maliyeti en düşük olan orman yolu güzergahının belirlenmesinde yardımcı olmak üzere bir orman yolu planlama modeli geliştirmişlerdir. Bu modelde, toplam yol maliyeti en az olan düşey güzergahı tespit etmek için meta-sezgisel bir yöntem olan Tavlama Benzetimi (TB) kullanılırken, kazı ve dolduru hacimlerinin dengelenmesinde maliyeti en aza indiren Lineer Programla (LP) kullanılmıştır.

Bu çalışmada, yeni bir meta-sezgisel yöntem geliştirmektense literatürde iyi sonuçlar verdiği bilinen ve yıllardır birçok farklı çalışmalarda kullanılmış olan meta-sezgisel yöntemlerin kullanılmasına karar verilmiştir. Bu karar aşamasından sonra yapılan literatür araştırması sonucunda orman yollarında ve benzeri problemler için genellikle genetik algoritma, tavlama benzetimi ve tabu arama meta-sezgisel yöntemlerinin kullanıldığı görülmüştür. Odun hammaddesi taşıma probleminde ise Tavlama Benzetimi yönteminin daha önce hiç kullanılmadığı görülmüştür. Bu yüzden tavlama benzetimi yönteminin kullanılmasına karar verilmiştir.

Böylece orman mühendisliği konuları içerisinde, Tavlama Benzetimi'nin odun hammaddesi taşıma problemlerinde de uygulanabilir olduğu gösterilmiştir.

## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

### 2.1. Araştırmanın Sınırlandırılması ve Planlanması

#### 2.1.1. Araştırmanın Coğrafi, Teknik ve Zaman Açısından Sınırlandırılması

Odun hammaddesi taşınması ve yeni yol ağı planlama çalışmaları için araştırmalar, Doğu Karadeniz Bölgesi için tipik bir örnek olan, Giresun Orman İşletme Müdürlüğü'ne ait Anbardağ Orman İşletme Şefliği sınırları içerisinde yapılmıştır.

Anbardağ Orman İşletme Şefliği sınırları içinde, planlama yılında üretime açılacak bölmeler üzerinde çalışılmıştır. Bir yıl içinde kaç adet bölmede üretim yapılacaksa, uygulanacak silvikültürel müdahalenin tipine bakılmaksızın, bu bölmelerden sadece taşıma miktarı yüksek olan bölmeler, planın etkinlik alanı ve coğrafi sınırını oluşturmuştur. Üretim yapılmayacak bölmeler çalışmaya konu edilmemiştir.

Odun hammaddesi üretiminin gerçekleşeceği bölmeler, rampalar, taşıma maliyetleri, kullanılan taşıma metodu, depolar vb. konular tez kapsamında ele alınırken, uzak nakliyat öncesi kesim ve bölmeden çıkarma işlemleri gibi konulara değinilmemiştir.

Uzak nakliyat operasyonlarından olan odun hammaddesinin kamyonlarla orman yolu üzerinde taşınması ele alınmıştır. Burada, rampalar, orman depoları, çeşitli standartlardaki odun hammaddesi, zaman periyotları, yol standartları, alternatif güzergâhlar, en az maliyet ve en yüksek net kâr gibi kriterler dikkate alınarak model oluşturulmuştur..

Dört farklı odun hammaddesi taşınmıştır. Bunlar; Tomruk, Sanayi Odunu, Maden Direği, Kâğıtlık Odun olarak sınırlandırılmıştır.

Planlama, odun hammaddesi ana taşıma operasyonlarını kapsayan 1 yıl için düzenlenmiştir. Yıl içinde üretime girecek bölmeler amenajman planlarından belirlenmiştir. Taşıma modelinin test edilmesi için Ladin (*Picea Orientalis*) işletme sınıfındaki bakım ve olağan üstü kesimleri esas alınmıştır.

Bu çalışmada, yeni bir meta-sezgisel yöntem geliştirmektense literatürde iyi sonuçlar verdiği bilinen ve birçok farklı çalışmalarda da (bilgisayar, fizik, kimya vb.), kullanılan meta-sezgisel yöntemler kullanılmıştır. Problemin çözümü için kurulan modelde çok fazla karar değişkeninin olması ve kontrol edilmesi gereken kısıtlar nedeniyle meta-sezgisel yöntemlere başvurulması uygun görülmüştür.

Bu karar aşamasından sonra yapılan literatür araştırması sonucunda, orman yollarında ve benzeri problemler için genellikle genetik algoritma, tavlama benzetimi ve tabu arama meta-sezgisel yöntemlerinin kullanıldığı görülmüştür. Odun hammaddesi taşıma probleminde ise Tavlama Benzetimi yönteminin kullanılmadığı görülmüştür. Bu yüzden tavlama benzetimi yönteminin kullanılmasına karar verilmiştir. Veri tabanının oluşturulmasında ise Coğrafi Bilgi Sistemleri olanaklarından yararlanılmıştır.

Doktora tezi çalışmalarına 2004 yılında başlanmıştır. 2006 ve 2007 yılı yaz aylarında arazi çalışmaları tamamlanmıştır.

### **2.1.2. Araştırmanın Planlanması**

Araştırmanın verimli bir şekilde yürütülmesi için öncelikle tez ismi ve içeriği, kapsamı ve araştırmanın sınırlandırması oluşturularak ilgili literatür taraması yapılmıştır. Kapsam, orman yolları üzerinde odun hammaddesinin kamyonla taşınması süreci ile bu süreçte yürütülen operasyonlar olup bunların teknik-ekonomik boyutu üzerinden, amaç ve kısıtlayıcılar dikkate alınarak bir taşıma modeli geliştirmektir. Taşıma modelinin geliştirilmesinde karar destek mekanizması olarak optimizasyon tekniklerinden, CBS'den ve istatistik yöntemlerden yararlanılmıştır.

Araştırmada bir veri tabanı oluşturmak için, amenajman planı, topoğrafik harita, meşcere tipleri haritası, yol ağı planı haritası ile üretim programları, bölme dosyaları, depo kayıtlarına ait bilgilerin toplanılmasına karar verilmiştir. Kullanılmakta olan yöresel teknolojilerin tespiti için de arazi çalışmaları yapılmıştır. Bu amaçla, haritalar üzerinden bazı teknik analizlerin yapılması kararlaştırılmıştır. Coğrafi Bilgi Sistemleri, konuma bağlı verilerin elde edilmesinde, konumsal bilgilerin analizinde bir araç olarak kullanılmıştır. Hazırlanan veritabanı ve optimizasyon bulgularına ait çalışmalar yürütülmüştür. Yapılan analizler sonucunda bulgular tartışılmış ve sonuç-öneriler hazırlanıp sunulmuştur.

## 2.2. Materyal

Bu çalışmanın materyalini; taşıma probleminin yapısını oluşturan orman ve arazisi, işgücü, yollar, para ve zaman kaynakları ile bunlara ait bilgiler ve bu taşıma probleminin çözümünde kullanılan donanım ile yazılım araçları oluşturur. Bu nedenle, Anbardağ Orman İşletme Şefliği ormanlarında 2007 yılında üretime açılacak bölmeler, topoğrafik özellikler, taşıma maliyetleri, taşıma modelinin test edilmesi amacıyla kullanılacak çalışma materyali olarak benimsenmiştir. Planlama alanında her bir bölme için bilgilerin temini için 1996 yılında yenilenen Anbardağ Orman İşletme Şefliği Orman Amenajman Planı kullanılmıştır. Amenajman planlarında yer alan tablo verileri ile meşcere tipleri haritasından yararlanılmıştır. Alana ulaşılabilirlik değerinin tespiti için yeni yapılmış Yol Ağı Planı haritası kullanılmıştır. Ayrıca, planlama probleminin modellenmesinde kullanılacak işletme, kooperatif ve depolara ait bilgilerin toplanması için hazırlanan kayıt formları ve toplanan bilgiler de materyal içinde yer almaktadır.

Planlama yılı içinde üretime açılacak bölmeleri kapsayan topoğrafik harita (1/25000 ölçekli), meşcere tipleri haritası ve 1/25000 ölçekli orman yol ağı planı haritasından da yararlanılmıştır.

### 2.2.1. Çalışma Alanının Tanıtımı

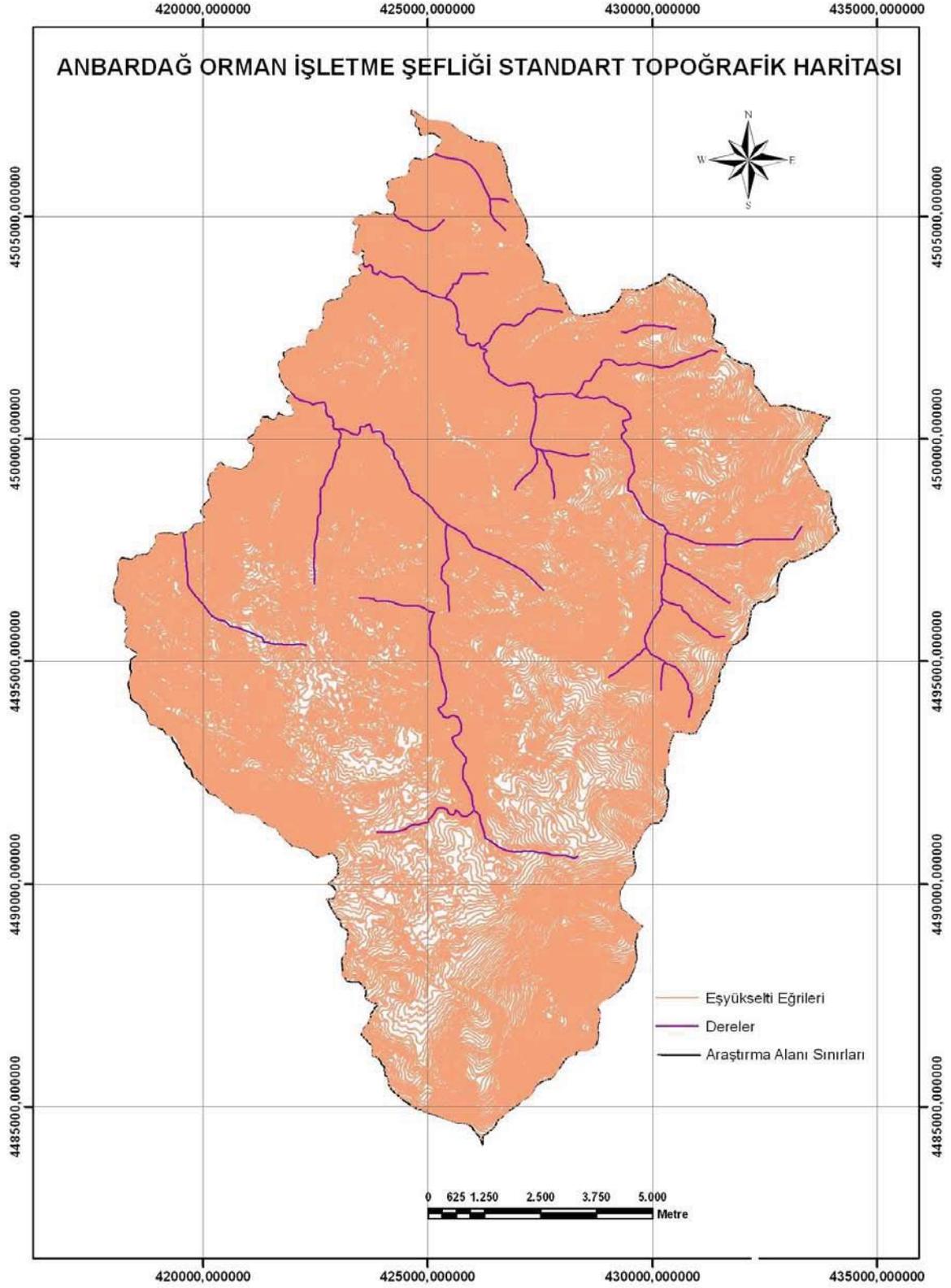
#### 2.2.1.1. Çalışma Alanının Konumu ve İklim Özellikleri

Araştırma alanı Doğu Karadeniz Bölgesi'nde, Giresun İli, Bulancak ilçe sınırları içerisinde kalmaktadır. Orman idaresi bakımından ise Giresun Orman Bölge Müdürlüğü, Giresun Orman İşletme Müdürlüğü, Anbardağ Orman İşletme Şefliği sınırları içerisinde bulunmaktadır.

Anbardağ Orman İşletme Şefliği coğrafi konum olarak  $40^{\circ} 42' 47''$  -  $40^{\circ} 30' 13''$  kuzey enlemleri ile  $38^{\circ} 01' 49''$  -  $38^{\circ} 13' 16''$  doğu boylamları arasında olup 1/25000 ölçekli topoğrafik haritalara göre, Giresun: G40-d1, G40-d2, G40-d3 ve G40-d4 paftalarındadır. Anbardağ Orman İşletme Şefliğinin genel topoğrafik yapısını gösteren eş yükselti haritası Şekil 13'de görülmektedir.

Anbardağ bölgesi Karadeniz ikliminin belirgin etkisi altındadır. Bölgede yılın her ayı yağışlı geçmekte ve yağışlar genellikle yağmur olarak düşmektedir.

Giresun meteoroloji istasyonundan alınan verilere göre yıllık ortalama sıcaklığı 14,2 °C, maksimum sıcaklığı 37,3 °C, minimum sıcaklığı ise -9,8 °C'dir. Ortalama nisbi nem oranı % 76 olup, ortalama yağış miktarı 1297,8 mm olup yörenin en sıcak ayları Temmuz-Ağustos aylarıdır (Devlet Meteoroloji İşl.Gen. Md., 2007).



Şekil 13. Anbardağ Orman İşletme Şefliği sayısal standart topoğrafik haritası

### 2.2.1.2. Çalışma Alanının Orman Varlığı ve Yol Ağı Planı

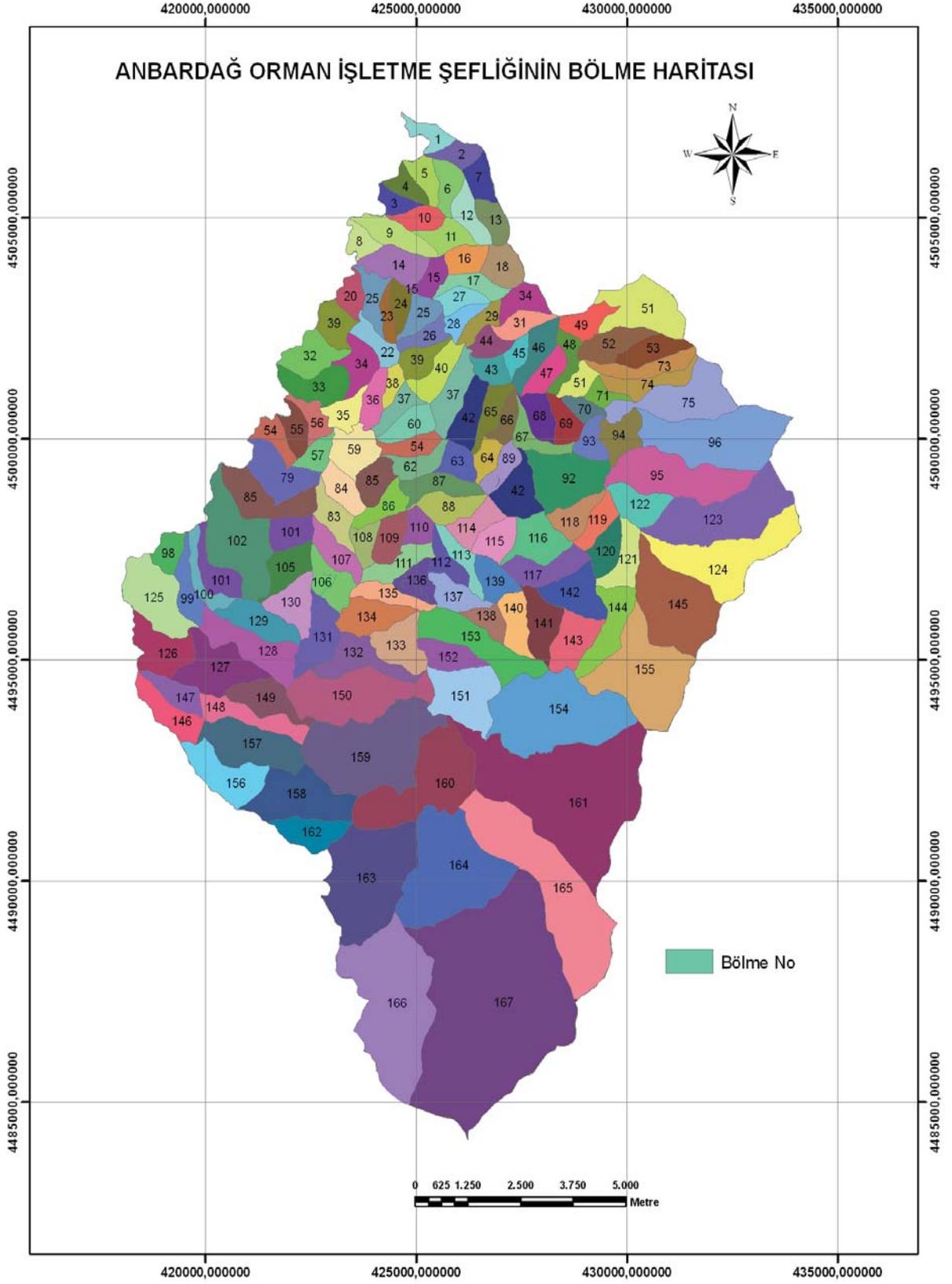
Çalışma alanının genel alanı 19269,0 ha olup bunun 5975,5 hektar'ı (ha) orman alanıdır. Bölgeye ait Orman Amenajman Planı 1996-2015 yılları için planlanmıştır. Ladin (A), Kayın (B) ve Muhafaza Ormanı (C) olmak üzere toplam 3 işletme sınıfı ve toplam 167 bölmeye ayrılmıştır (Şekil 14). Alana ait ormanlık alan özellikleri Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 5. Anbardağ Orman İşletme Şefliği ormanlık alan varlığı (Anonim, 1996)

İşletme Sınıfı	Ormanlık Alan					Ormansız Alan	Genel Alan
	Normal % 41-100	Bozuk %11- 40	Prodüktif % 11-100	Çok Bozuk % 0-10	Toplam		
	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)
A-Ladin	1545,0	466,5	2011,5	710,5	2722,5	12988,5	15710,24
B-Kayın	685,0	766,0	1451,0	1622,5	3073,5	420,0	3493,50
C-Muhafaza	165,0	-	165,0	14,5	179,5	45,5	225,0
Toplam	2395,0	1232,5	3627,5	2347,5	5975,5	13454,0	19269,74

Anbardağ Orman İşletme Şefliğinde Amenajman Planında belirtildiği üzere tespit edilen asli ağaç türleri Ladin (*Picea Orientalis*) ve Kayın (*Fagus Orientalis*)'dir. Alanda mevcut diğer ağaç türleri; Gürgen, Kızılağaç, Kestane, Akçaağaç, Kavak, Sarıçam, Ihlamur, Dişbudak ve Ormangülü'dür.

Ağaç türlerine göre, 1996-2015 yılları arasındaki son hasılat kesim planında; tüm alanda Ladin işletme sınıfı için genel servet 952 428 m<sup>3</sup>'tür (Kayın 206 496 m<sup>3</sup>), artım ise 21 021 m<sup>3</sup> dür. Anbardağı Orman İşletme Şefliği Orman Amenajman Planı'na göre bu alanda Ladin işletme sınıfı için yıllık son hasılat etası toplamı 7 542 300 m<sup>3</sup> ve periyodik son hasılat etası 75 423 m<sup>3</sup>'tür. Toplam ara hasılat etası ise 30 580 m<sup>3</sup> tür. Ladin işletme sınıfı için yıllık ortalama eta son hasılat 7 542 300 m<sup>3</sup> ve ara hasılat toplamı 2 780,000 m<sup>3</sup> olmak üzere toplam 10 322, 300 m<sup>3</sup>'tür. Kayın ve diğer ağaç türlerinden oluşan ara ve son hasılatlara göre yıllık ortalama eta ise toplam 2 088,100 m<sup>3</sup> tür. Etanın büyük çoğunluğu Ladin ağaç türüne aittir (Anonim, 1996).



Şekil 14. Anbardağ Orman İşletme Şefliği bölme numaralarını gösteren harita

Araştırma alanında mevcut olan toplam yol uzunluğu 226+334 km'dir. Köy yolu uzunluğu ise 89+890 km'dir. Araştırma alanındaki toplam orman yolu uzunluğu ise 136+454 km'dir.

Mevcut orman yollarının büyük bir kısmının teknik açıdan yol eğimi sınırları ve yol yüzeyi standartlarının odun hammaddesi taşınması için elverişli olduğu belirlenmiştir (Şekil 15). 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.



Şekil 15. Teknik standartlara uygun mevcut orman yolu

### 2.2.1.3. Piyasa ve Tüketim Merkezleri

Çalışma alanı içerisinde üretilen odun hammaddeleri Kovanlı deposuna getirilmektedir. Deponun genel alanı 22235 m<sup>2</sup> olup yıllık ortalama 10000 m<sup>3</sup> yapacak orman emvali depolanabilmektedir. Bu depo kayıtlarından alınan bilgilere göre depolanmış odun hammaddesi, Giresun, Ordu, Trabzon, Sivas, Ankara, Samsun gibi yerlerden gelen tüccarlar tarafından satın alınmaktadır. Kovanlı deposu Bulancak İlçe merkezine 25 km, Giresun'a 40 km, Trabzon'a 152 km, Ordu'ya 29 km, Samsun'a 194 km, Ankara'ya 613 km ve İstanbul'a 931 km uzaklıktadır.

Komşu depo olarak ise Bicik Orman İşletme Şefliğince üretilen odun hammaddesi Bicik orman deposuna taşınmaktadır. Deponun genel alanı 45028 m<sup>2</sup> olup ortalama 18000 m<sup>3</sup> yapacak orman emvali depolanabilmektedir. Bu depo kayıtlarından alınan bilgilere göre odun hammaddesi satışları Giresun, Ordu, Trabzon, Erzurum, Ankara, Samsun gibi yerlerden gelen tüccarlar tarafından yapılmaktadır. Bicik deposu Bulancak İlçe merkezine 40 km, Giresun'a 55 km, Trabzon'a 152 km, Ordu'ya 29 km, Samsun'a 194 km., Ankara'ya 613 km ve İstanbul'a 931 km uzaklıktadır. Depolar genellikle alt yapı tesislerinden yoksundur.

#### **2.2.1.4. İşgücü Potansiyeli**

Bu ormanlık alan sınırları içindeki köy halkının başlıca geçim kaynağını hayvancılık, ziraat yönünden de fındık, mısır ve patates yetiştiriciliği oluşturmaktadır. Yöre halkı 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 gibi imkânlardan yararlanmaktadır. Orman Amenajman Planı'na göre yörede, ormancılık faaliyetlerini karşılayacak potansiyelde işgücü miktarının her zaman var olduğu belirtilmektedir.

Yörede orman yolunun durumuna göre tek veya çift akslı, 10-15 yaş civarında başta Dodge AS 600-900 olmak üzere Ford, BMC ve Scania tipi kamyonlar kullanılmaktadır. Rampanın durumuna, yükleme şekline, emvalin cinsi ve boyutlarına göre genelde kamyon eksenine paralel veya az da olsa dik olarak yüklenen orman emvali sadece kamyonlarla depolara taşınmaktadır.

Yörede yükleme aracı olarak, Ülkemizde orman işlerinde son yıllarda sıkça kullanılan Granab 9000 kullanılmaktadır. Kamyon üzerine montelidir. Gücünü hidrolik pompası vasıtasıyla kamyonun motorundan alır. Rampalarda veya depolarda yükleme için çok uygun bir araçtır. Çalışmalar tek bir operatörle yürütülür. Traktörlere monteli küçük tipleri de mevcuttur.

### 2.2.2.Araştırmada Kullanılan Yazılımlar ve Donanımlar

Bu çalışmada, veri tabanının kurulması ve Ağ 2008 yazılımının çalıştırılabilmesi için; Pentium IV 1.66 GHz işlemci, 2GB RAM, 80 GB HardDisk ve 512 MB Ekran kartına sahip Sony Vaio dizüstü kişisel bilgisayar, A4 boyutunda çıktı alabilmek için HP Laserjet 1022 yazıcı; sistemin test edilmesinde gerekli sayısal haritaların üretilmesi için A0 boyutunda tarayıcı kullanılmıştır.

Araştırmada alana ait standart topoğrafik haritalar ile mevcut yol ağı haritası ve amenajman planı meşcere haritasının sayısallaştırılmasında, coğrafi veri tabanının oluşturulmasında, bu veri tabanını kullanarak çeşitli sorgulamaların yapılmasında, sayısal yükseklik modelinden yararlanarak arazinin eğim ve bakı haritasının hazırlanmasında ArcGIS 9.2 Coğrafi Bilgi Sistemi yazılımı kullanılmıştır.

Odun hammaddesi nakliyat ağ tasarımı ve tavlama benzetimi algoritmasının çözümü için "Ağ 2008" adlı yazılımdan yararlanılmıştır. Çalışmaya ait istatistiksel analizler "SPSS 15.0" yazılımı kullanarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında yapılan tüm işlemler, Windows XP Professional işletim sisteminde gerçekleştirilmiştir.

Arazi çalışmalarında, konumsal verilerin toplanmasında Garmin marka GPS alıcı, arazi çalışmaları sırasında gerekli görülen noktalarda fotoğraf çekimi için CASIO Z-50 dijital fotoğraf makinesi, mesafe ölçümlerinde 20 metrelik şerit metre ve eğim ölçümlerinde klizimetre yardımcı materyal olarak kullanılmıştır.

ArcGIS Desktop 9.2.: ArcGIS™ Desktop; ArcView® 9.x, ArcEditor™ 9.x ve ArcInfo™ 9.x ürünlerinin birleşimidir. Bu ürün diğerleriyle aynı arayüze sahiptir ve onlarla çoğu fonksiyonları paylaşmaktadır (Ormsby vd., 2001). ArcGIS 9.2; harita otomasyonu, veri dönüşümü, veri tabanı yönetimi, harita çakıştırma, konumsal analiz, etkileşimli görüntüleme ve sorgulama, grafik ve öznitelik veri girişi ve düzeltme, adres haritalama ve kodlama, ağ analizi, etiketleme ve topoğrafik analiz işlemlerinde etkin çözümler sunmaktadır (Yomralıoğlu, 2002).

Çalışmanın gerektirdiği Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) analizleri Esri ArcGIS 9.2 ve bu paketin içerdiği ArcMap, ArcEditor ve ArcToolbox uygulamaları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. ArcMap sayesinde, haritaları görüntülemek, onları inceleyebilmek, yüksek kaliteli çıktı alabilmek, kişiye özel harita uygulamaları geliştirmek ve harita ile ilgili birçok işlemi yürütmek mümkün olmuştur. Bir haritayı görsel olarak incelemenin ötesine geçip, o haritada tasvir edilen araziye oluşturan topoğrafik özelliklerin tüm

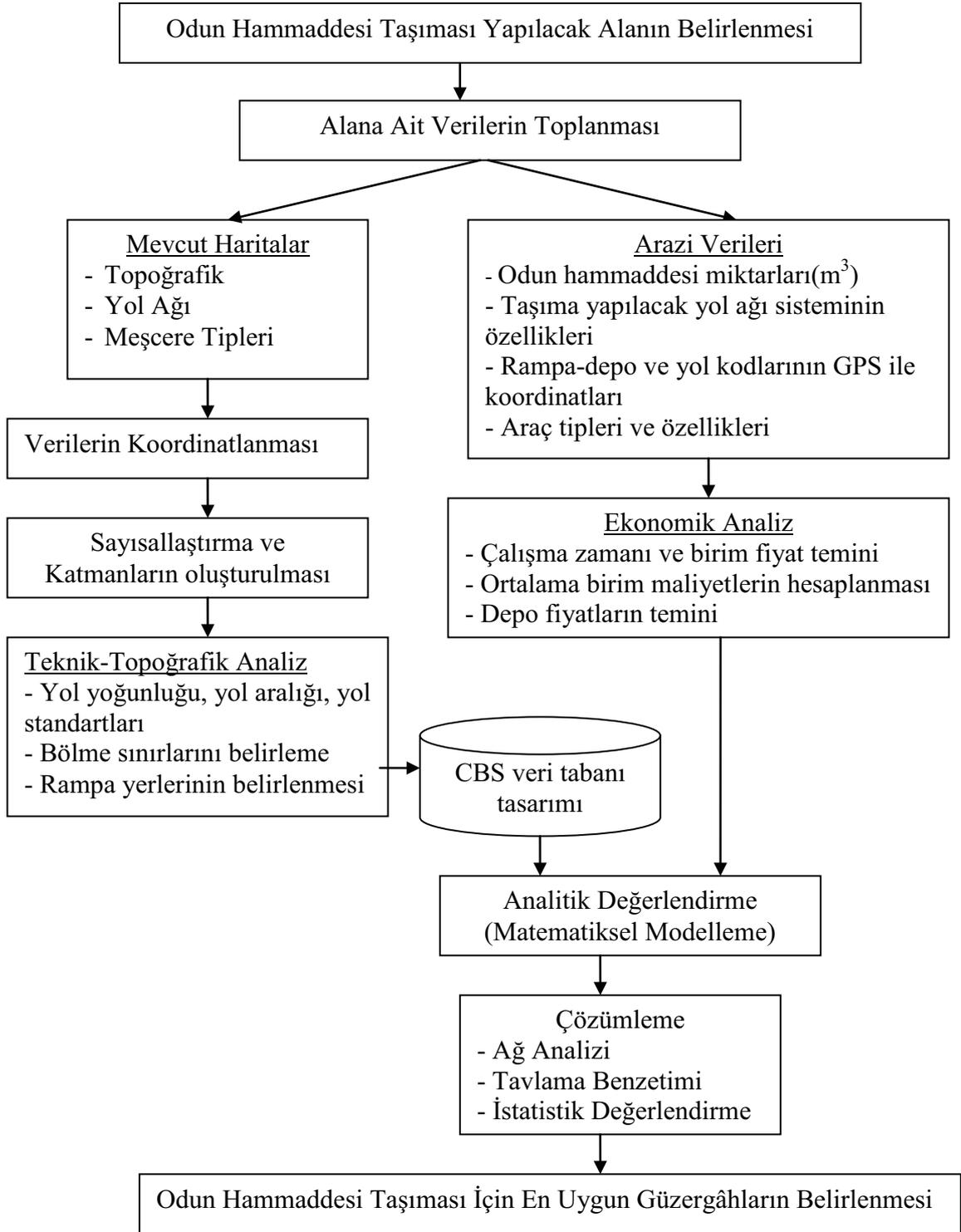
özellikleri kolayca incelenebilir ve sorgulanabilir duruma getirilebilmektedir. Diğer taraftan ArcEditor, coğrafi veriye erişimi ve yönetilmesini kolaylaştırmaktadır. Gerek duyulan veri kolayca bulunup, incelenebilir, içeriği kontrol edilebilir, ilişkili yeni bir veri oluşturulabilir. Ayrıca, farklı ortamlarda depolanmış verilere ve bir ağ sayesinde ulaşılabilen ilişkili veri tabanlarındaki verilere de erişim sağlanabilir. Son olarak ArcToolbox ile analizler esnasında ihtiyaç duyulacak her türlü CBS fonksiyonu gerçekleştirebilir. Farklı kaynaklı verilerin ortak bir sistemde entegre edilebilmeleri için gerekli olabilecek dönüşümleri gerçekleştirir.

Ağ 2008 yazılımı; Bu çalışmada tavlama benzetimi yönteminin odun hammaddesi taşıma problemine uyarlanabilmesi için nesne tabanlı bir programlama dili olan Visual C++ kullanılarak bir program geliştirilmiştir. Geliştirilen program Session tarafından hazırlanan network yazılımı ile kullanılmıştır. Program Visual C++ 2008 sürümü ile derlenmiş ve ‘‘AĞ2008’’ yazılımı adı verilmiştir. Network yazılımı, planlayıcılara nispeten büyük taşıma problemlerinin çözümünde çok sayıda zaman periyotlarını ve odun hammaddesini değerlendirme imkânı sağlamaktadır. Bu yazılım, bileşenlerinin önem derecelerini dikkate alan bir amaç fonksiyonu kullanarak, maliyetin veya kullanıcı tarafından belirlenebilen özniteliklerin en uygun değerlerine ulaştıkları güzergâhı tespit etmektedir. Bu yazılımın eğitim ve ticari amaçlı geliştirilen ileri versiyonu olan Network2000 (Sessions, 1985), Kuzey Amerika’daki çeşitli ormancılık çalışmalarında, orman endüstrisinde ve bilimsel araştırmalarda oldukça yaygındır. Diğer ülkelerdeki araştırmacılar tarafından da başarı ile kullanılmaktadır.

Visual C++ 6.0: Visual C++, C++ ile program yazmak üzere donatılmış, görsel yönelimli bir yazılım geliştirme ortamıdır. C++ ya da C dilinde yazılması olası olan her türlü programı Visual C++ ile yazılabilir. C++, C’nin üst kümesidir. C dilinin geliştirilmesi ile oluşturulmuştur. Bu dil C’nin kapsamakta olduklarına ek olarak nesneye dayalı programlamayı da (OOP–Object Oriented Programming) destekler (Yanık, 1999; Karagülle ve Pala, 2002).

### 2.3. Yöntem

Çalışmanın amacı çerçevesinde taşıma modellerinin oluşturulması yaklaşımı Şekil 16 da verilmiştir.



Şekil 16. Odun hammaddesi taşınmasının optimizasyonu yönteminde iş akışı

### 2.3.1. Veri Tabanının Oluşturulması

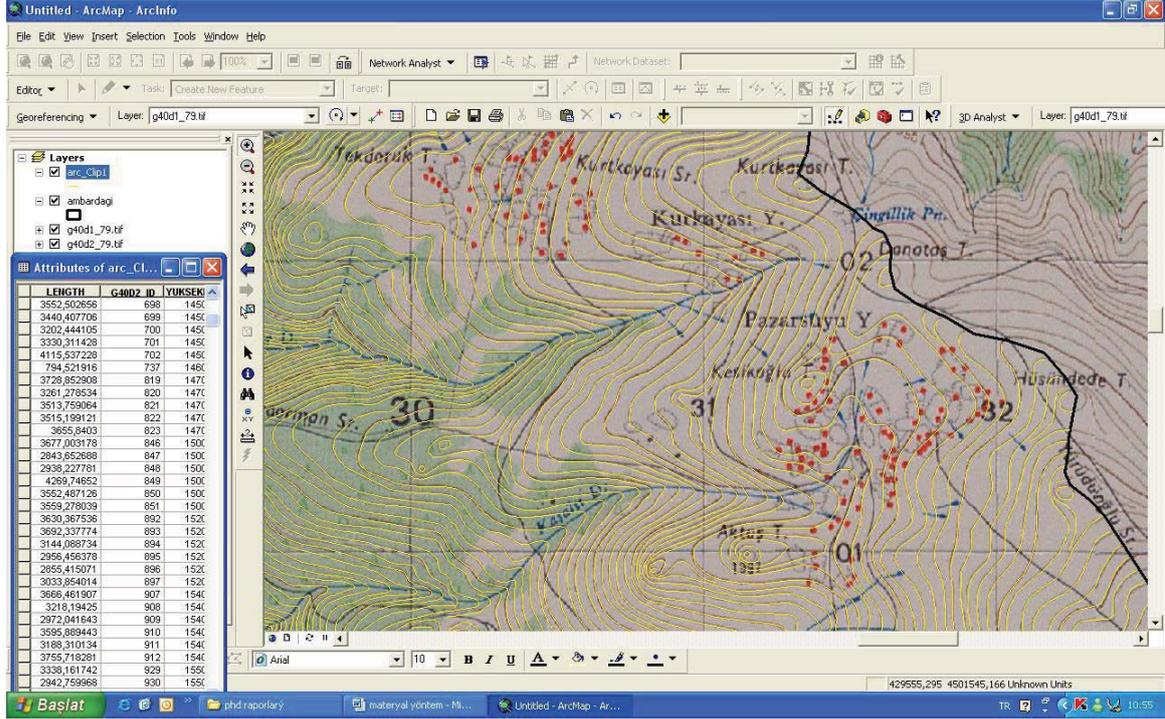
Odun hammaddesi taşıma planlanmasında veriler, mevcut yol ağı planına ait veriler ile orman amenajman planında yer alan envanter bilgileri ve bu plan dönemi için düzenlenen ormancılık çalışmaları programıdır. Tez kapsamında, orman yolları üzerindeki odun hammaddesi nakliyatı süresi bir yıl içerisinde gerçekleştirilecek çalışmalar değerlendirilmiştir. Bu bağlamda, araştırma alanları sınırları, topoğrafik yapı, su kaynakları, mevcut orman yol ağları, orman yapısı ve iş durumuna ilişkin veriler kullanılmıştır.

Çalışma alanına yönelik olarak veri elde etme işlemine öncelikle orman işletme şefliklerinde mevcut olan belge ve haritalarla başlanılmıştır. Orman İşletme Şefliğinde bulunan mevcut orman yol ağ planları ile amenajman planları verileri ve haritaları elde edilmiştir.

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; orman idareleri kayıtlarından, yönetmeliklerden, tebliğlerden, yılsonu gerçekleştirme raporlarından, arazide yapılan gözlemlerden ve görüşme kayıtlarından elde edilmiştir.

Sayısallaştırılacak pafta numaraları ve kısımları belirlenmiştir. “ArcGIS” adlı yazılımla, bilgisayar ortamında koordinat noktaları tanıtılmış, bunlar ArcGIS (Arc Info 9.2) formatında depolanmıştır. ArcGIS yazılımı kullanılarak gerekli düzeltmelerle topoloji kurulmuştur. Aynı şekilde meşcere tipleri, yollar ve dereler için de benzer aynı yöntem izlenerek konumsal bilgi sistemi altlıkları oluşturulmuştur. ArcGIS yazılımında öznitelik bilgiler de eklenmiştir.

Çalışma alanına ait 1/25000 ölçekli topoğrafik haritalar, meşcere tipleri haritası, orman yol ağı planı ile haritası en önemli altlığı oluşturmuştur. İlk aşamada, tesviye eğrileri 10 m aralıklarla geçirilmiş topoğrafik haritalar bilgisayar ortamına raster formatta aktarılarak rektifiye edilen görüntü üzerinden sayısallaştırma işlemi, gerektiğinde 1/1000–1/5000 ölçek hassasiyetinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 17). Daha sonra, meşcere tipleri haritası kullanılarak bölme sınırları ve meşcere tipleri aynı yöntemle bilgisayar ortamına aktarılarak öznitelik bilgileri girilmiştir. Sözü edilen veriler ölçekli ve koordinatlı olarak bilgisayar ortamına aktarılmış, planlama için gerekli altlık ve sorgulama katmanı olarak düzenlenmiştir.



Şekil 17. Rektifiye edilmiş görüntü üzerinden çalışma alanına ait eşyüksekti eğrilerinin sayısallaştırılması

Arazinin topoğrafik yapısının ne şekilde olduğunu tespit etmek için öncelikli hedef olarak üç boyutlu arazi modelinin oluşturulması belirlenmiştir. Bunun için, her bir eğrinin yükseklik değeri, katmanın öznetelik tablosuna girilerek sayısallaştırılmış olan eş yüksekli eğrileri katmanı kullanılmıştır. Eşyüksekti eğrisi katmanından sayısal arazi modeli oluşturulmuştur.

Arazi eğimleri, bakı, yamaç uzunlukları gibi bilgilere ulaşabilmek için ArcGIS Toolbox modülünde ilgili komutlar kullanılarak TIN katmanı elde edilmiştir.

Eğim haritalarının hazırlanmasında arazi 5 eğim sınıfına ayrılmıştır. Arazi eğimin % 0-19 olduğu alanlar 1. eğim sınıfı, % 20-44 olduğu alanlar 2. eğim sınıfı, % 45-59 olduğu alanlar 3. eğim sınıfı, % 60-69 olduğu alanlar 4. eğim sınıfı, % 70 ve üstü olduğu alanlar 5. eğim sınıfındadır (Gümüş, 2003).

Bakı haritasının hazırlanmasında sekiz ana yön esas alınmıştır. Buna göre veri tablosunda bakıları temsil eden açı değerleri  $316^{\circ}$ - $360^{\circ}$  ve  $0^{\circ}$ - $45^{\circ}$  olan alanlar Kuzey bakılar, açı değerleri  $46^{\circ}$ - $135^{\circ}$  olan alanlar Doğu bakılar,  $136^{\circ}$ - $225^{\circ}$  olan alanlar Güney bakılar ve açı değerleri  $226^{\circ}$ - $315^{\circ}$  olan alanlar Batı bakılar olarak sınıflandırılmıştır.

Eşyüksekti eğrileri, meşcere tipleri ve yol katmanları hazır hale getirildikten sonra, birbirleriyle ilişkilendirilmiş ve analizler yapılmıştır. Öncelikle, meşcere tipleri haritası içinde üretimin yapıldığı bölmeler, bu katmandan alınmıştır. Bölmeler içinde de, yalnızca üretim yapılan alanlar için bir katman oluşturulmuştur. Bu katmanda; bölme numarası, meşcere tipi, alan, eta gibi bilgiler depolanmıştır.

Yol ağı planının bulunduğu haritalardan, işlem görecekt bölmelerle depoları birbirine bağlayan tüm güzergahların yer aldığı kısmı alınarak ayrı bir katman oluşturulmuştur. Yollar; kod numaraları, uzunlukları ve standartları ile temsil edilmiştir.

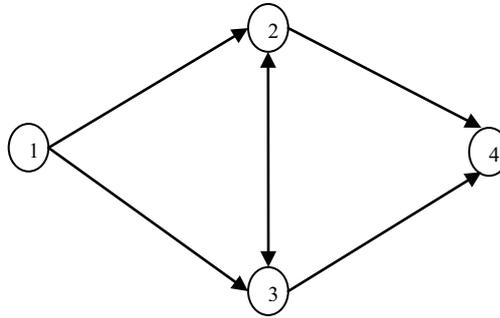
Standartlar; yolun asfalt, stabilize ve ham yol oluşuna göre belirlenmiş ve bu bilgiler orijinal durumdaki yol ağı planından elde edilmiştir. Böylece, fiziki bir taşıma modeli yapılmasına yönelik bilgiler bilgisayar ortamında depolanmış ve Coğrafi Bilgi Sistemi altyapısı kurulmuştur.

### 2.3.2. Ağ Analizi

Ağ analizi yöntemi; en kısa yolun bulunması, en düşük maliyetli mesafenin bulunması, taşıma planlaması, maksimum değer akışının bulunması ve en uygun görev tahsisinin yapılması gibi karar verme problemlerinin çözümünde kullanılır (Şekil 18).

Ana Bileşenleri:

- Bağlantı / Düğüm (Node)
- Güzergâh (Arc)
- Güzergâh üzerindeki akış (Flow)



Şekil 18. Ağ yapısı ve bileşenleri

\*1,2,3,4 düğüm noktalarını, oklar iki düğüm arası güzergâhı ve taşıma yönünü gösterir.

Modelde alternatif nakliyat güzergâhlarının belirlenmesinde Sullivan (1974) tarafından geliştirilen taşıma modeli ile Schnelle (1980) tarafından geliştirilen “Prorate” algoritması birlikte kullanılarak ve problemimize uyacak şekilde uyarlanarak Ağ Analizi tasarımı oluşturulmuştur. Ağ Analizi ile her bir başlangıç düğüm noktası (yol kodları-rampa) ile depo noktası arasındaki güzergâhları belirlenmiştir.

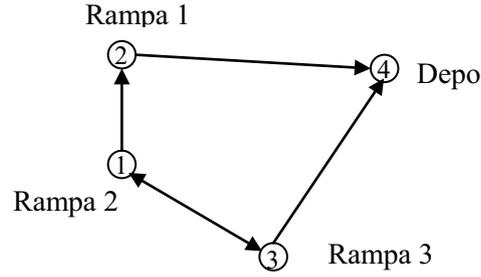
Ağ modelinin etkin bir şekilde kullanılabilmesinde en önemli faktör, taşıma ağının modelde doğru olarak temsil edilmesidir (Akay vd, 2007). Ağ oluşturulduktan sonra, taşıma planlaması problemi çözülmüştür. Modelin kullanıldığı problemde rampalar, orman depoları, çeşitli standarttaki odun hammaddesi, zaman periyotları, yol standartları, alternatif güzergâhlar ve en az maliyet ile en yüksek net kâr gibi kriterler dikkate alınmıştır. Bunu gerçekleştirmek için ağ modelinin aşağıdaki yapısal özelliklere göre tasarlanması gerekmektedir.

Çalışmada ağ analizi elemanları; orman yolları (linkler), yol birleşim noktaları (düğüm), odun hammaddesi hacmi ve depolardır.

### **2.3.2.1. Yeni Güzergâhlar (Linkler)**

Yol ağına eklenecek yeni linkler başlangıç düğüm noktasına, bitiş düğüm noktalarına, taşıma maliyetine ve link yapım maliyetine göre tanımlanmıştır. 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.

Yüklü kamyonun link üzerinde her iki yönde hareket etmesi durumunda, bu linkin ağda iki ayrı link olarak gösterilmiştir. Şekil 19’da, üç rampa ve bir satış deposunun yer aldığı örnek bir yol ağını göstermektedir. Şekilde yer alan ok işaretleri link üzerinde odun hammaddelerinin taşıma yönünü göstermektedir. Buna göre, 1 ve 3 numaralı düğüm noktaları arasında iki yönlü taşıma yapılmaktadır.



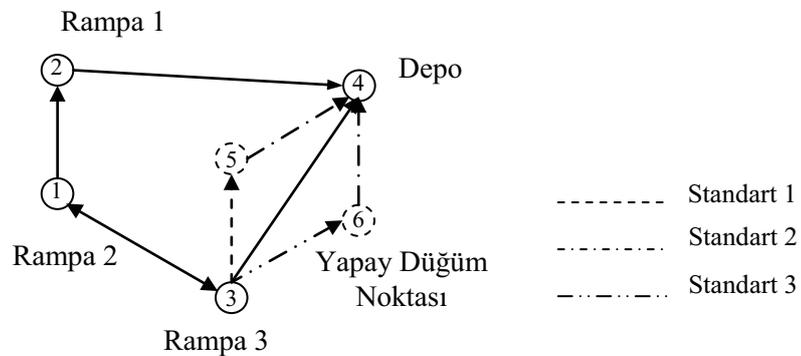
Şekil 19. Rampalar ve satış deposu arasında yer alan alternatif güzergâhlar

### 2.3.2.2. Mevcut Güzergâhlar (Linkler)

Mevcut linkler yol ağı üzerinde yeni linklerle aynı şekilde yapılandırılmıştır. Ancak, mevcut linklerde sabit maliyet olarak belirtilen link yapım maliyeti zorunlu bir değişken değildir. Link yapımı gerekmeyen durumlarda, sabit maliyet “0” değerini almıştır. Ağ modelinde yeni ve mevcut linklere ait değişken ve sabit maliyet değerleri Ağ 2008 yazılımında, “Yol Editor” tablosuna işlenmektedir.

### 2.3.2.3. Yol Standartları

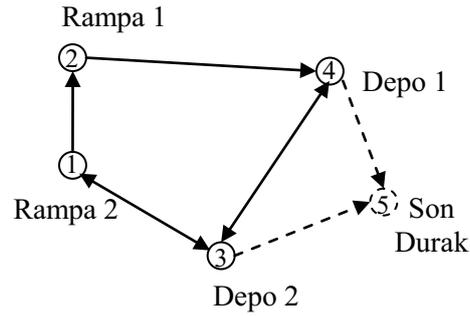
Değişik yol standartları arasında en uygun seçimi yapabilmek için değişken maliyetlerle sabit maliyetler arasında bir değerlendirme yapılmalıdır. Çünkü, yol standardını yükseltmek değişken maliyetlerden olan taşıma maliyetini azaltırken, sabit maliyetlerden olan link yapım maliyetini artırmaktadır. Her bir yol standardı, ağ modelinde ayrı birer link olarak dikkate alınmıştır. Aynı başlangıç ve bitiş düğüm noktasına sahip olan bu linkler yapay linkler olarak adlandırılmıştır (Şekil 20). Yapay linklerde kullanılan düğüm noktalarına da yapay düğüm noktaları denmektedir.



Şekil 20. Alternatif yol standartlarının yapay link ve düğüm noktaları ile temsili

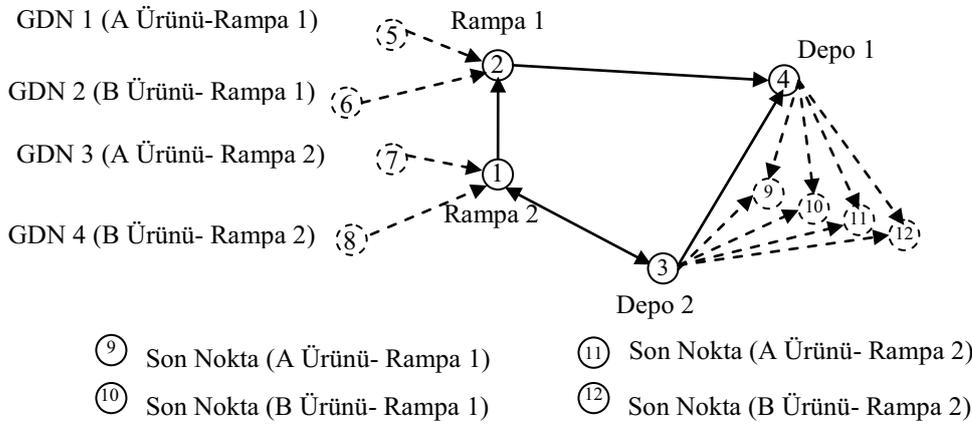
### 2. 3.2.4. Orman Depoları ve Odun Hammaddesi

Üretim alanlarından ağ sistemine giriş yapan odun hammaddesi birden fazla orman deposuna yönlendirilebilir. Sistemde yer alan orman depoları “Son Durak” olarak işlev görecek yeni bir yapay düğüm noktasına tek yönlü yapay linklerle bağlanmışlar (Şekil 21). Bütün odun hammaddesi için en uygun güzergâh belirlendikten sonra odun hammaddelerinin gerçek orman deposu son durak noktasından bir önceki düğüm noktasına dönerek belirlenmiştir.



Şekil 21. İki ayrı orman deposu ve bir son durak düğüm noktası içeren ağ modeli

Üretim alanlarında birden fazla standartta odun hammaddesi üretilmesi durumunda, her bir odun hammaddesi için farklı giriş düğüm noktası (GDN) oluşturulmuş ve ilgili rampaya bağlanmıştır (Şekil 22). Ağ modelinde, üretilen odun hammaddesi sayısı kadar yapay orman deposu oluşturulmuştur. Ağ 2008 yazılımında, her bir odun hammaddesinin giriş düğüm noktası, orman deposu ve taşınan odun hammaddesi miktarları “Depo Editor” tablosuna işlenmiştir.



Şekil 22. Değişik standarttaki odun hammaddesi için giriş düğüm noktaları ve orman depoları

Dört farklı odun hammaddesi taşınmıştır. Bunlar; Tomruk, Sanayi Odunu, Maden Direği ve Kağıtlık Odun'dur (OGM, 2006).

Tomruk: Kesilen ağaçlardan elde edilen ve orta çapı 20 cm ve üzeri olan silindirik odundur.

Sanayi Odunu: Sanayide kullanılan  $m^3$  ve sterli kabuklu ve kabuksuz odundur.

Maden Direk: Kesilen ağaçlardan elde edilen ve orta çapı 19 cm ve altı olan silindirik odundur.

Kağıtlık Odun: Kağıt sanayinde kullanılan, düşük vasıflı,  $m^3$  ve sterli kabuklu ve kabuksuz odundur.

Taşınan odun hammaddesinin depo satış fiyatlarının bilinmesi durumunda toplam net kârı en yüksek olan güzergâh bulunmuştur. Kullanılan algoritmanın minimizasyon problemlerini çözdüğü düşünülürse, modelde maliyetlerin pozitif değerler, depo satış fiyatlarının ise negatif değerler olması gerekmektedir. Bu durumda, net kârın maksimizasyonu toplam maliyetin minimizasyonu ile sağlanmış olur. Ağ modelinde, odun hammaddelerinin depo satış fiyatlarını temsil eden yapay düğüm noktaları oluşturulmuştur.

### 2.3.3. 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.

Karayolları yönetmeliği ve kamyonların yük kapasitesi dikkate alınarak her bir kamyonun, bir defada ortalama  $20 m^3$  ibreli tomruk taşıyabileceği ve  $16 m^3$  yapraklı tomruk taşıyabileceği kabul edilmiştir.

Birim maliyet, birim miktarda odun hammaddesinin taşınması için tüketilen (standart) zaman ile bu zamanda kullanılan araç, gereç, malzeme ile insan ve makine gücüne karşılık ödenen bedelin fonksiyonu olarak kabul edilmiştir. Maliyet birimi, "YTL/ $m^3$ " olarak kullanılmıştır.

Taşıma 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. Taşıma maliyeti için aşağıdaki bağıntı kullanılmıştır.

$$\text{Operasyon Maliyeti} = \text{Değişken maliyet} + (\text{Sabit maliyet}/\text{Taşınan ürün hacmi})$$

$$OP = DM + (SM/TÜH) \quad (5)$$

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

Yol uzunlukları, ortalama yol eğimi ve yol kalitesinin durumu (iyi: her açıdan ideal durumda olan ve ömrü uzun yollar; orta: orta durumda olan ve acil müdahaleye gerek duyulmayan yollar; kötü: kötü durumda olan ve kısa vadede acil müdahaleye gereksinim duyan yollar) ise arazi ölçümleri ile tespit edilmiştir. Ortalama hız, her bir link için tahmini ortalama yüklü kamyon hızı ile boş kamyon hızının ortalaması alınarak hesaplanmıştır. İyi ve orta kalitedeki ham yol, stabilize yol ve asfalt yollar için ortalama hız değerleri Tablo 6’da verilmiş ve maliyet hesaplamalarında esas alınmıştır.

Tablo 6. Yol standardına göre kamyonla taşıma hızları

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

Belirtilen güzergâh, yön ve hızlarda kamyonla taşıma zamanlarının bulunmasında FAO (1992) ve Akay (2003) tarafından belirtilen yöntem kullanılmıştır. Buna göre, aşağıdaki bağıntı kullanılarak her bir yol standardı için kamyon çalışma zamanı hesaplanmıştır;

$$KÇZ_i = \frac{120U_i}{OH_i} (1 + KZ_i) \quad (6)$$

- KÇZ<sub>i</sub> : *i* linki için toplam kamyon taşıma zamanı (dakika)  
 U<sub>i</sub> : *i* linkinin uzunluğu (km)  
 OH<sub>i</sub> : *i* linki için ortalama kamyon hızı (km/saat)  
 KZ<sub>i</sub> : *i* linki için tahmini kayıp zaman oranı (%)  
 120 : Gidiş-dönüş zamanının dakikaya çevrilmesi için kullanılır.

Kamyonla taşıma zamanının hesaplanmasında; kamyonun boş olarak yükleme yerine gelmesi, burada yüklenme süresince beklemesi, yüklü kamyonun dolu olarak hareket etmesi yüklemede geçen zamanlar da belirlenmiştir. Yükleme zamanı; elle ve makine ile yüklemeye göre değişken olup elle yüklemeye geçen zaman 11 dak/m<sup>3</sup> olarak alınmıştır (Aykut, 1984). Elle yüklemeye 5 işçinin çalıştığı kabul edilmiş ve maliyetler buna göre hesaplanmıştır. Makineli yüklemeye (Granab), tomruğun yol kenarından alınıp kamyonla yüklenmesinde geçen süre, yapılan ölçümlere göre ortalama 4 dakika olarak belirlenmiştir.

Kamyonla taşıma maliyetinin hesaplanması için yükleme maliyeti ile kamyonun bu süreçte boş bekletilmesinden kaynaklanan maliyet de dikkate alınmış ve aşağıdaki bağıntı ile 1m<sup>3</sup> ibrelili tomruğun yükleme maliyeti, YTL/ m<sup>3</sup> birimi cinsinden hesaplanmıştır:

$$YBM_i = (SYM * YZ / 60) / TM \quad (7)$$

$$YM = YBM * TM \quad (8)$$

YBM: Yükleme Birim Maliyeti (YTL/m<sup>3</sup>)

SYM: Saatlik Yükleme Maliyeti (YTL/saat)

YZ: Yükleme Zamanı (dakika)

TM: Taşınan Miktar (m<sup>3</sup>)

YM: Yükleme Maliyeti (YTL)

60: Saatlik birim maliyetin dakikaya çevrilmesi için kullanılır.

Bu bağıntıda elle (insan gücüyle) yükleme maliyeti, yükleme süresince çalışan bir insanın saatlik çalışma maliyeti ile temsil edilmiştir. İnsan gücüyle çalışma maliyeti de OGM'nin belirlediği üretim birim maliyeti hesaplarından alınmıştır (12,96YTL/saat). Makineli yükleme maliyetleri de, makine kira bedeli üzerinden hesaplanmıştır. Nitekim, arazi çalışmaları ile elde edilen bilgilerde traktöre monteli yükleyicinin ya da Granab yükleyicinin 1m<sup>3</sup> başına yükleme bedeli ibrelili için 3,445 YTL/m<sup>3</sup> ve yapraklı için 3,644 YTL/m<sup>3</sup> olarak bildirilmiştir. Makine kira bedeli cetvelinde ise traktöre monteli yükleyici için aynı bedel belirtilmiştir (OGM, 2007).

Ham yol, stabilize yol ve asfalt yol için kayıp zaman oranları sırası ile %15, %10 ve %5 olarak alınmıştır. Toplam çalışma zamanı hesaplandıktan sonra birim taşıma maliyeti aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmıştır:

$$BNM_i = \frac{KBM}{\left(\frac{YK}{KÇZ_i}\right) * 60} \quad (9)$$

$BNM_i$  :  $i$  linki için birim taşıma maliyeti (YTL/m<sup>3</sup>)

$KBM$  : Kamyonun saatlik birim maliyeti (YTL/saat)

$YK$  : Kamyonun yük kapasitesi (m<sup>3</sup>)

60 : Saatlik birim maliyetin dakikaya çevrilmesi için kullanılır.

Buna göre kamyonla taşımının birim zamandaki maliyeti 29,82 YTL/saat olarak tespit edilmiştir. Taşıma operasyonuna ait sabit ve değişken maliyet toplanarak 1 m<sup>3</sup> ürünün alternatif güzergâhlardan alternatif depolara kadar taşınması halindeki birim maliyeti her bir rampa ve yol standardına göre ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Orman yol yapım-bakım (sabit) maliyetlerinde ise 2006 ve 2007 yıllarında gerçekleşen ihale bedellerinden elde edilen ortalama değerler kullanılmıştır. Buna göre 1 km orman yolu yapım maliyeti 23000 YTL olarak hesaplanmıştır.

Boşaltma ve istifleme gibi çalışmaların birim maliyetlerinin her iki orman deposunda da aynı olduğu kabul edildiğinden, hesaplamalarda bu maliyetler ihmal edilmiştir.

#### **2.3.4. Tavlama Benzetimi (Simulated Annealing)**

Tavlama Benzetim (TB) yöntemi, karmaşık kombine problemlerin optimal çözümünde kapsamlı arama ve belli alanlarda yoğunlaşma arama tekniklerini kullanan ardışık çözüme dayalı matematiksel çözüm tekniğidir (Beasley, 1993). Kapsamlı arama denilince, problemi oluşturan çözüm alanı içerisinde yeni ve bilinmeyen çözüm alanlarının taranması ve denenmesi anlaşılır. Uygun çözüm alanına yoğunlaşma denildiğinde ise, daha önceki çözüm alanlarını dikkate alarak daha iyi çözüme ulaşmak için bu çözüm alanlarındaki potansiyel çözüm kombinasyonlarını yahut alternatifleri mümkün olduğunca yoğun bir şekilde taraması kastedilmektedir (Beasley, 1993; Başkent, 2004).

TB optimizasyon problemleri için iyi çözümler veren olasıklı bir arama tekniğidir. Kirkpatrick ve arkadaşları tarafından 1983 yılında önerilmiştir. Katıların ısıtılması ve sonra kristalleşmeye kadar yavaş yavaş soğutulması esasına dayanır. Sıcaklık değeri elde edilen en iyi çözümden daha kötü bir çözümün kabul edilme olasılığını belirlemek için kullanılır.

Algoritmaya “Tavlama Benzetimi” isminin verilmesi bir rastlantı değildir. “Tavlama” sözcüğü katıların fiziksel tavlama sürecine benzerliğinden ileri gelmektedir (İbrahim ve James,1996).

Tavlama benzetimi yüksek bir sıcaklık değeriyle başlar. Her bir hesaplama adımında mevcut çözümün komşuları arasından çok sayıda çözüm üretilir. Yeni çözümler belirlenen kriterlere göre kabul edilir veya reddedilir. Her bir hesaplama adımından sonra sıcaklık belirlenen bir fonksiyona göre azaltılır. Algoritma istenen iterasyona ulaştığında veya sıcaklık minimum değerine ulaştığında yada istenen çözüme ulaşıldığında sonlandırılır.

Kombinatorial problemlerin tavlama benzetim yöntemine göre matematiksel formülasyonu ve çözümünde dört temel bileşen vardır (Başkent ve Jordan, 2004). Bunlar;

- Sistemin tanımlanması: Burada problem tanımlanır ve sistem belirlenir.
- Genel bir amaç fonksiyonunun belirlenmesi: Problemdaki her bir amaç için belirlenen hedeflerin sapma miktarlarının toplamını göstermektedir. Bu sapma miktarları, bir ceza fonksiyonu ile belirlenir ve minimum yapılmaya çalışılır. Çok sayıda alt amaçların anlamlı bir şekilde bütünleştirilmesidir.

- Bir çözüm değişim stratejisinin oluşturulması: Bir önceki çözümden (iterasyondan) bir sonraki çözüme geçerken mevcut çözümde yapılması gereken değişimi tanımlar. Burada, çözüm bir planı göstermektedir. Değişim stratejisi, bir sonraki iterasyona geçerken planda yapılacak değişimin daha iyi bir sonuca en kısa yolla nasıl ulaştırılacağını belirler. Bu kavram tavlama benzetiminin en önemli bileşenini oluşturur. Çünkü itinasız seçilecek bir değişim stratejisi çözümü kötü bir sonuca ulaştırdığı gibi, iyi bir sonuca ulaşmayı da kısa sürede gerçekleştiremeyebilir.

- Çözümü yönlendirecek kontrol parametrelerinin belirlenmesi: Optimizasyonun başlama, seyretme, bitiş sürecini belirleyen ve tekniğin performansını doğrudan etkileyen öğelerdir.

Tavlama Benzetimi yönteminde kullanılan terimler:

Başlangıç Sıcaklığı (T): Optimizasyonun başlangıç durumunu gösteren bir parametredir.

Soğutma Oranı (r): Sistem sıcaklığının her bir değişiminde ne kadar hangi oranda bir sıcaklık değişikliğinin yapılacağını gösteren bir parametredir.

Kabul Olasılığı (P): Tüm iterasyon boyunca yapılacak toplam çözüm değişim miktarına göre kabul edilecek değişimin kabul edilme olasılığıdır.

Tavlama Benzetimi bileşenlerine bağlı olarak, optimizasyonun süreci bir başlangıç çözümü ile başlar (Şekil 23). Bu çözüm müdahale seçenekleri rastgele atanmış bir çözüm yahut boş bir çözüm de olabilir. En iyi çözüme ulaşmak için, Tavlama Benzetimi çözüm seçeneklerini stokastik yaklaşımla defalarca değiştirir (iterasyon yapılır). İterasyonu kontrol etmek için, sistemin başlangıç sıcaklığı belirlenir ve bu sıcaklık iterasyon boyunca belirli düzeyde yavaşça azalır. Birbirini izleyen ardışık çözümlerde eski bir çözümden yeni bir çözüme geçiş, uygun bir değişim stratejisi kullanarak gerçekleştirilir. Yapılacak lokal değişimin amaç fonksiyonuna etkisi, anında hesaplanır.

Başla

- Rasgele bir çözüm seç (eski),
- Başlangıç sıcaklığını seç (t),
- Sıcaklık azaltım fonksiyonunu seç f(t),

Adım:

adım:-

- Komşu arama fonksiyonuna göre en iyi komşuyu seç
- Yeni çözümü hesapla (yeni)
- if (yeni-eski)<0 then yeniyi eskiyle değiştir
- else
  - düzgün dağılıma sahip rassal sayı üret (r)
  - if  $\exp(-(yeni-eski)/t) > r$  then yeniyi eskiyle değiştir
  - end if
- endif

önceden belirlenmiş iterasyon sayısı kadar devam et

- t=f(t)
- (t<0.0) durdurma koşulu sağlanana kadar devam et

Son

Şekil 23. Bir optimizasyon problemi için Tavlama Benzetimi algoritmasının adımları

Tavlama benzetimi komşu arama metoduna dayalı algoritmalardan biridir. Tavlama benzetiminde,  $S$  mümkün çözümler kümesidir.  $S$  olmak üzere,  $m[I]$   $I$  durumunun maliyetini (minimum yapılmak istenen fonksiyonu) temsil eder. Başlangıç çözümünde  $I_0$  ( $S$  kümesine rasgele seçilmiş bir elemanı) yer alır.  $I_0$  adım adım komşu elemanların çözümleri komşu  $[I]$  ile karşılaştırılır. Bu arada en iyi çözüm hafızada tutulur. Mevcut durumdan daha iyi sonuç veren komşu çözümler mevcut durum ile yer değiştirir ve bu şekilde işlemlere devam edilir (Eglese, 1990).

$\text{Rand}()$  fonksiyonu  $(0,1)$  aralığında düzgün dağılıma sahip rassal sayı üreten bir fonksiyondur.  $T$  sıcaklık derecesi düşük kalitede çözümlere geçiş olasılığını kontrol eden bir parametredir.  $T$ 'nin başlangıç değeri  $T_1$  den yüksek bir değerdir ve geçişler bu durumda sıktır.  $N$  adımdan sonra bulunan en iyi sonuç daha fazla geliştirilemiyorsa  $T$  parametresi  $r$  sabiti ile çarpılır. Derece  $T_1$ ' in altına düştüğünde işlem durur.

```

T=To; I=Io; min=∞;
While [T>T1]
For i=1,N
I'=komşu [I]
If [m[I']<m[I]] then I=I';
Else if [rand []<exp [m[I]-m[I']/T ] then I=I';
If [m[I]<min] min=m[I] ;S=I;
If [min değişmiyorsa] T=T* r

```

#### 2.3.4.1. Komşu Değişim Stratejisi

TB algoritmasında  $x$  mevcut çözümünün  $N(x)$  komşu kümesindeki bütün çözümler eşit üretilme olasılığına sahiptir. Bu çalışmada geliştirilen TB algoritmasında,  $N(x)$  komşu kümesinin değişim stratejisi kullanılarak elde edilen komşu çözümlerin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Bu stratejiye göre öncelikle adaylar arasında düğümlerin rasgele seçimi ile uygun güzergâhlar belirlenecek ve sadece bir depo seçilecektir. Her bir iterasyon (adım) için farklı bir güzergâh uygulanacaktır.

Daha sonra çözüm içerisinde en düşük maliyetli olanı kabul fonksiyonuna göre yeni mevcut çözüm olarak kabul dilmekte veya reddedilmektedir.

### 2.3.4.2. Kabul Fonksiyonu ve Tavlama planı

Geliştirilen TB algoritmasında, kabul fonksiyonu kullanılmıştır. Buna göre mevcut yol güzergâhını gösteren  $x$  çözümünden, komşu değişim stratejine göre herhangi bir hareketle elde edilen bir  $x'$  komşu çözümünün, yeni yol güzergâhı olarak kabul edilip edilmemesi aşağıdaki kabul fonksiyonu ile belirlenmektedir.

$$Kabul(x') = \begin{cases} x = x' & U(0,1) \leq \exp\left[\frac{f(x) - f(x')}{T(m)}\right] \\ x = x & \text{diğer durumda} \end{cases}$$

Eşitliğinde  $\exp\left[\frac{f(x) - f(x')}{T(m)}\right]$  ifadesinde eğer  $[f(x') - f(x)] < 0$  ise pozitif bir sayının üstel değeri 1 veya daha büyük olacağı için amaç fonksiyonunda iyileşme sağlayan tüm hareketler kabul edilmektedir.

TB algoritmasında dikkate alınan tavlama planında aşağıdaki parametreler kullanılmıştır.

- ✓ Başlangıç sıcaklığı, (T);
- ✓ Her sıcaklık değerinde tekrar edecek adım sayısı (iterasyon),(m)
- ✓ Soğutma oranı (r);  $0 < r < 1$
- ✓ Minimum sıcaklık değeri, ( $T_1$ )
- ✓ Durdurma koşulunun belirlenmesi; ( $T < T_1$ )

TB algoritmasında kullanılan bu parametrelerin oluşturduğu kümeye, Tavlama Çizelgesi (Planı) denir.

Başlangıç sıcaklığı, bir girdi parametresidir. Sıcaklık kötü çözümlerin kabul edilme olasılığını kontrol etmek için kullanılır. Mümkün çözümlerin hepsinin değerlendirilebilmesi için başlangıç sıcaklığı (T) yeterince büyük olmalıdır. Böylece algoritmanın başlangıç safhasında geniş bir arama yapabilmesi sağlanır. Çözümlerin başlangıç kabul olasılığı ( $P_b$ ) bire çok yakın olmalıdır. Bu sayede başlangıç çözümlerin çoğu kabul edilir. Sonlara doğru ise çözümlerin kabul olasılığı ( $P_s$ ) sıfıra çok yakın alınır ve amaç fonksiyonunda herhangi bir iyileşme sağlamayan yeni çözümlerin kabul edilmemesi sağlanır.

Sıcaklık, bir önceki çözümden daha kötü olan bir çözümün kabul edilme olasılığında kullanılmaktadır. TB'de soğutma işlemi yavaş yavaş yapılmıştır.

Bunun için sıcaklık azaltma fonksiyonundan yararlanılmış. Literatürde önerilen birçok sıcaklık azalma fonksiyonları vardır. Eğer tavlama planında belirlenen maksimum adım sayısına ulaşılmış ise  $T$  “sıcaklığı”  $r$  katsayısı ile çarpılarak azaltılır. Bu çalışmada literatürde çoğunlukla kullanılan Geometrik fonksiyon kullanılmıştır ( $T_k = T_{k-1} * r$ ). Buradaki  $r$  (soğutma oranı) sabit bir sayıdır ve 1’den küçük ancak 1’e yakın bir değerdir. Uygulamalarda  $r$  değeri genellikle 0,65 ile 0,99 arasında alınmaktadır. Yapılan çalışmada, her bir sıcaklıkta üretilecek çözümlerin sayısı ( $m$ ) bir artırılmıştır (Tavlama planındaki tekrar edecek adım sayısı “ $m$ ” kadar adımları tekrarlanır). Algoritmayı durdurma koşulu ise son parametredir. Durdurma koşulu için literatürde kullanılan birkaç farklı test vardır. Bunlar;

- 1- Verilen maksimum iterasyon (adım) sayısına ulaştığı zaman,
- 2- Verilen bir deneme sayısı için kabul edilen çözümlerin sayısına ulaştığı zaman,
- 3- Önceden belirlenen bir sıcaklığın değerine ulaştığı zaman,

Bu çalışmada durdurma koşulu ( $T$  sıcaklığının  $T_1$  ‘den küçük olması) sağlanmış ise program sonlanır. Bulunan maliyet minimum maliyet ve bulunan çözüm mevcut çözüm olarak atanmıştır.

### **2.3.5. Optimizasyon Çalışması ile Önceliklerin Belirlenmesi ve Problemin Varsayımları**

Bu problemde dikkate alınan varsayımlar şunlardır;

1-Yol ağındaki bütün rampaların( $i$ ), yol kodlarının( $j$ ) ve depoların( $d$ ) yerleri bilinmektedir.

2-Yol ağındaki bütün ( $i,j$ ) çifti arasındaki değişken maliyet ve sabit maliyet değerleri bilinmektedir.

3- Her yol ağı eşit çalışma olasılığına sahiptir.

4-Araçlar, depolar ve rampaların şu temel özelliklere sahip olduğu varsayılmıştır.

Araçlar;

- Hepsi aynı özelliklere sahiptir.
- Sınırlı kapasiteleri vardır.
- Belirli hızlara sahiptir.
- Hepsi depodadır.

- Boş kamyonun takip edeceği güzergâhın yüklü olarak takip ettiği güzergâhla aynı olacağı varsayılmıştır.

Depolar;

- Belli bir depolama kapasitesine sahiptir (depo alanı).
- Araçların bulunduğu yerlerde olduğu.
- Bir düğüm üzerinde konumlandırılmışlardır (DK,,,DN).

Rampalar;

• Deponun bulunduğu düğüm dışındaki başlangıçtaki 10 düğüm bir rampayı ifade etmektedir (R1,R2,.....RN).

• Belirli miktarda taşınacak çeşitli standartta odun hammaddesi miktarı bulunmaktadır.

Hacim sınırlamaları;

Üst sınır: 1000 m<sup>3</sup> olarak kabul edilmiştir. Odun hammaddesi hacmi sınırı aştığı zaman cezalandırılacaktır.

Alt sınır: 10 m<sup>3</sup> olarak kabul edilmiştir. Odun hammaddesi hacmi sınırdan düştüğü zaman cezalandırılacaktır.

İstatiksel yaklaşım: Depo düzeni rasgele bir değişikliklerle seçilecektir.

### 2.3.6. İstatistiksel Değerlendirme

Çok yönlü varyans analizi (MANOVA), tek yönlü varyans analizinin (ANOVA) genelleştirilmiş halidir. Çok-yönlü varyans analizinde, bir yada daha fazla bağımsız değişkene ait grupların, iki yada daha fazla bağımlı değişkene ilişkin ortalamaları karşılaştırılır ve ortalamalar arasındaki farkın belirli bir güven düzeyinde (%95, %99 gibi) anlamlı (önemli) olup olmadığı test edilir. Bu test ile her bir bağımsız değişkene ait gruplar kendi arasında, her bir bağımlı değişkene ilişkin ölçümlere göre ayrı ayrı karşılaştırılır. Çok-yönlü varyans analizine MANOVA testi de denmektedir. MANOVA normal dağılım gösteren iki veya daha fazla toplumda iki ve daha fazla değişkenin direkt etkisine ve karşılıklı etkileşimlerine yönelik olarak kurulmuş hipotezleri (iki toplum birbirinin aynısı mı? değişkenler direkt veya karşılıklı etkili mi? vb.) test etmek amacıyla kullanılan çok değişkenli bir analizdir (Aytaç vd., 2001).

Geliştirilen modelde TB algoritması için uygulanan en uygun parametre setinin (çizelgesinin) bulunması için istatistik değerlendirilmesi yapılmıştır.

Modelde ulaşılan çözümleri etkileyen faktörler nelerdir? Hangi faktörlerin etkisi daha fazladır? Faktörlerin hangi düzeyleri için çözümler daha iyidir? Bu ve benzeri soruların yanıtlarını bulabilmek ve modelin açıklamasının daha iyi yapılabilmesi için bir deney tasarımı ve analizinin yapılması gerekmektedir. Deney tasarımı yapılırken ele alınan faktörlerin, deney tasarımı sonucunda bulunacak veriler açısından önemi büyüktür.

Uygulanan faktörlerin, TB algoritmasının performansı üzerinde etkin olup olmadığını belirlemek ( $\alpha=0,05$  anlamlılık düzeyi) için çok yönlü varyans analizi kullanılmış ve bu faktörler için dikkate alınan düzeyler arasında anlamlı bir farklılığın olup olmadığı ise Duncan çoklu aralık testi ile değerlendirilmiştir. Çalışma sırasında SPSS 15,0 paket yazılımı kullanılmıştır.

### 2.3.7. Modelin Uygulanması

Modelin uygulamasında, Giresun Orman Bölge Müdürlüğü, Anbardağ Orman İşletme Şefliğinde yer alan 10 bölmede 2007 yılında üretilen 4 değişik odun hammaddesinin (tomruk, sanayi odunu, maden direği ve kabuksuz kağıtlık odun), orman içindeki 10 rampadan Anbardağ Orman İşletme Şefliğinde yer alan Kovanlı deposuna veya komşu İşletme Şefliğin'de yer alan Bicik deposuna taşınmasında en uygun taşıma güzergâhı araştırılmıştır. Odun hammaddesi depo fiyatları iki orman deposunda farklılık göstermektedir. Maliyeti en az olan güzergâh her zaman net kârın en yüksek olduğu güzergâh olmadığından çözüm sürecinde iki senaryo takip edilmiştir. Birinci senaryoda maliyeti en aza indiren taşıma güzergâhı araştırılırken (MODEL1), ikinci senaryoda toplam net kâr en yüksek olan güzergâh araştırılmıştır (MODEL 2). Senaryoların kendi içinde, iki ayrı alternatif orman deposu için test edilmiştir. Birinci alternatifte odun hammaddeleri her iki orman deposuna da ulaştırılmasına izin verilirken (MODEL1-1) ve (MODEL 2-1), ikinci alternatifte odun hammaddelerini sadece üretim yapılan işletme şefliğine ait olan orman deposuna ulaştırılmaktadır (MODEL1-2) ve (MODEL2-2). Böylece, orman işletmesinin farklı orman depolarını kullanmasına izin verilmesi durumunda, odun hammaddeleri taşınmasında yapılabilecek tasarruf hesaplanmıştır.

Çalışmada kullanılan matematiksel modelin büyük boyutlu problemler dâhil olmak üzere makul sürelerde çözüme kavuşturulabilmesi için meta-sezgisel yöntemlerin kullanılması düşünülmüş ve tavlama benzetimi yöntemi üzerinde karar kılınmıştır. Bu ve benzeri meta sezgisel yöntemler makul sürelerde optimum veya optimuma yakın sonuçlar

vermelerine rağmen bu yöntemlerin kullanılmasını zorlaştıran en büyük etken, her türlü benzer problemi sözü edilen meta-sezgisel yöntemleri kullanarak çözebilen paket programların bulunmamasıdır. Bu programların piyasada bulunmamasının nedeni ise her problem için o probleme özgü bir programlamanın yapılmasının gerekliliğidir. Bu nedenlerden dolayı eğer bir problem meta-sezgisel yöntemler ile çözülmek isteniyorsa, herhangi bir programlama dili kullanılarak yüzlerce veya binlerce satır sürebilecek, o probleme özgü bir programlama yapılması gerekmektedir.

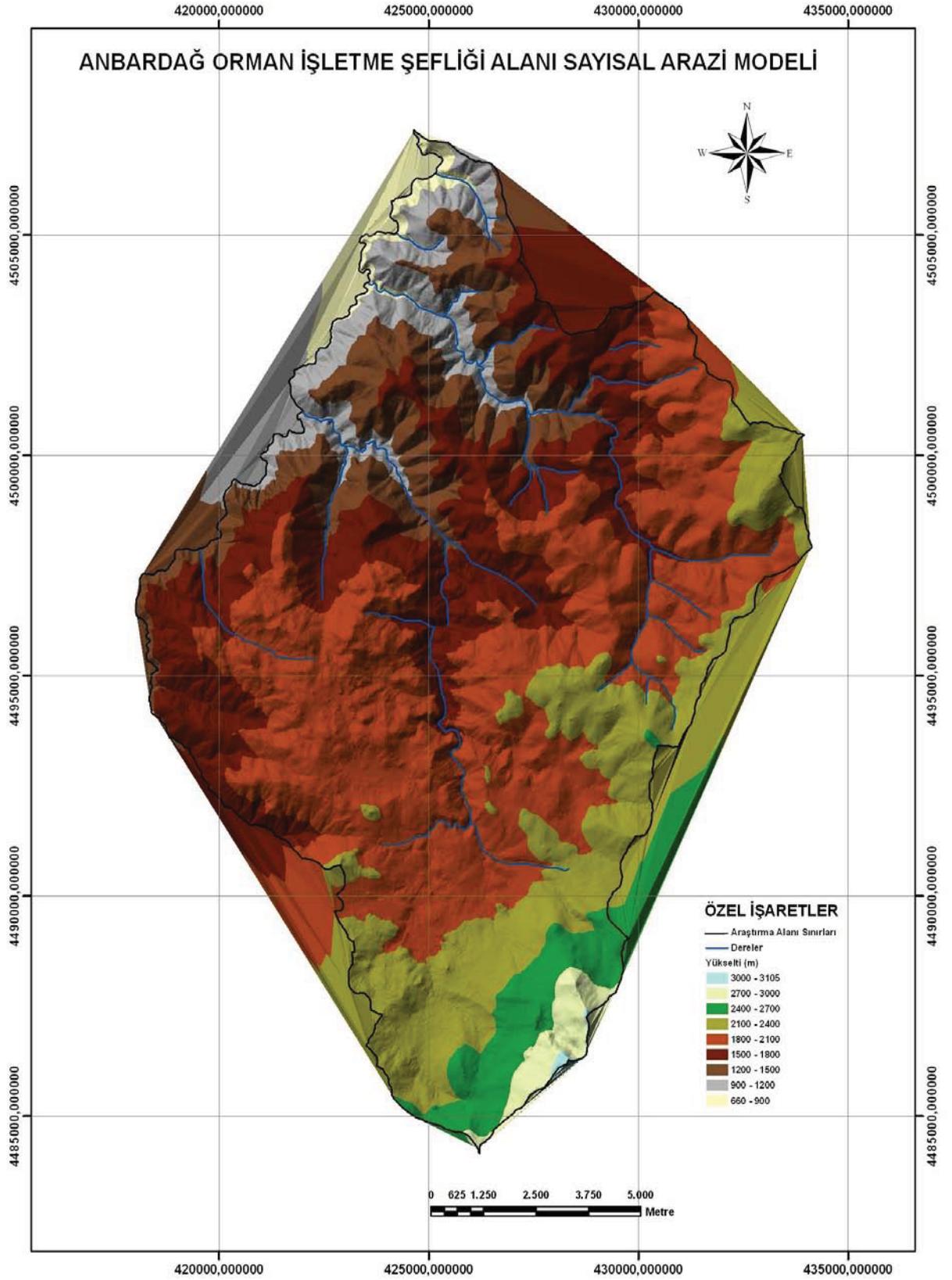
Bu çalışmada da tavlama benzetimi yönteminin odun hammaddesi taşınması problemine uyarlanabilmesi için nesne tabanlı bir programlama dili olan Visual C++ kullanılarak bir program yazılmıştır. Programın yazımında Session tarafından hazırlanan network programı kullanılmış, yazılan program Visual C++ 2006 sürümü ile derlenmiş ve "AĞ2008" adı verilmiştir. Network programı USDA Ormancılık Servisi ve diğer ülkelerdeki araştırmacılar tarafından ormancılıkta başarılı bir şekilde kullanılmaktadır.

### **3. BULGULAR VE TARTIŞMA**

#### **3.1. Araştırma Alanına Ait Bulgular ve Tartışma**

Arazinin topoğrafik yapısının ne şekilde olduğunu tespit etmek için öncelikli amaç olarak üç boyutlu arazi modelinin oluşturulması ile belirlenmiştir. Oluşturulan üç boyutlu arazi modeli sonucu, çalışmanın yürütüldüğü Anbaradağ Orman İşletme Şefliği alanının birebir topoğrafik modeli (SAM), plânlama sırasında her an başvurulacak bir referans olarak veri tabanına dâhil edilmiştir

Bilgisayar ortamına aktarılmış olan ve araştırma alanına ait 1/25000 ölçekli standart topoğrafik haritaları üzerinden geçen, eş yükselti sayısallaştırılmasından elde edilen Anbaradağ Orman İşletme Şefliği çalışma alanını gösteren sayısal arazi modeli hazırlanarak Şekil 24'de verilmiştir. Odun hammaddesi taşımalarının yapıldığı alan genel olarak dik bir arazi yapısına sahiptir. Yamaçlar sık sık dere ve kuru dereler ile kesilmiştir.



Şekil 24. Anbar Dağ Orman İşletme Şefliği sayısal arazi modeli

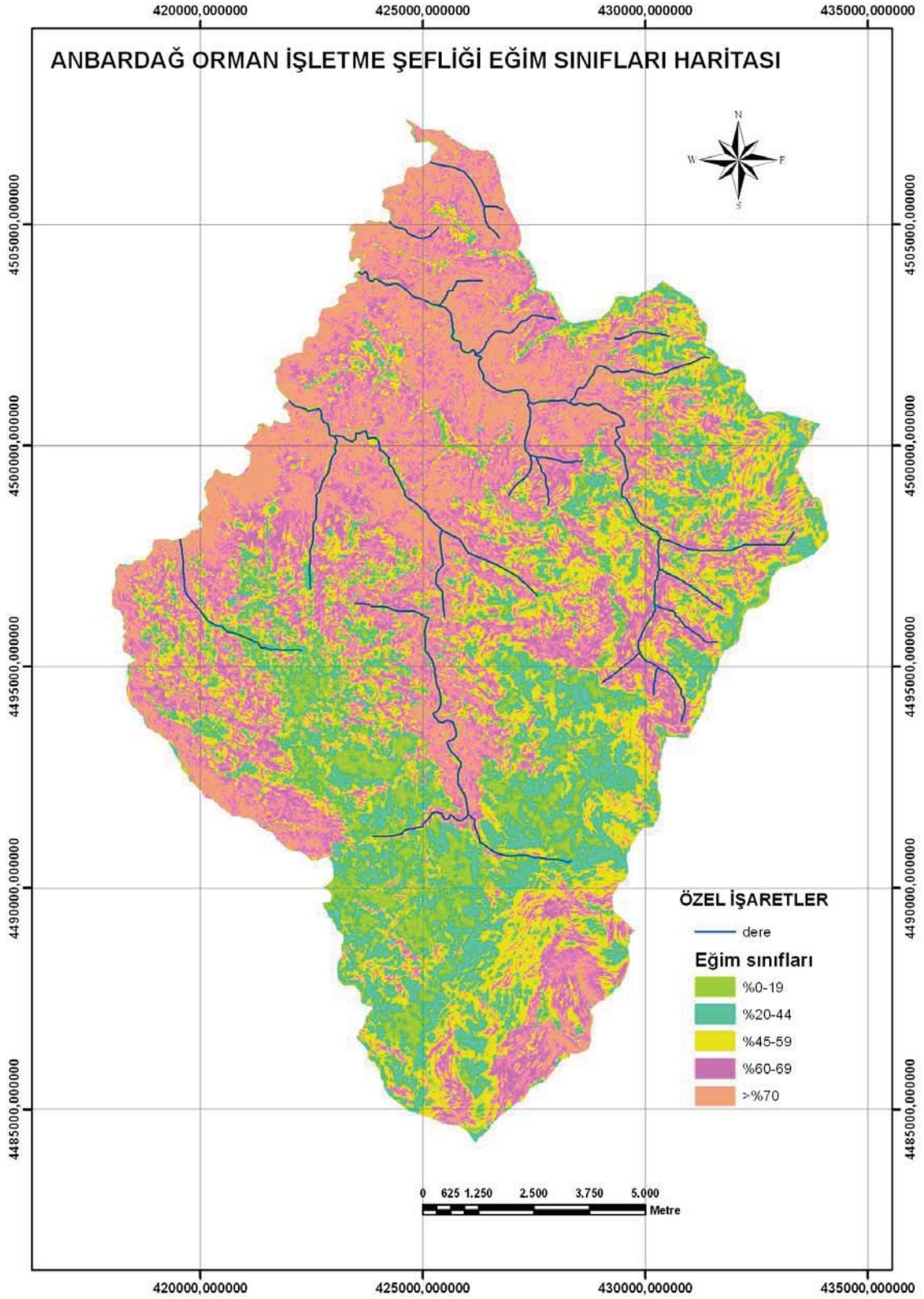
Odun hammaddesi taşıma planında eğim en önemli faktörlerden birisidir. Orman yol ağı planında taşımanın prensip olarak yukarıdan aşağıya doğru yapılması esas alınmıştır. Planlanan yolların oluşturacağı kazı ve dolgu alanı ile hacimleri yol maliyetini etkilemektedir. Bu nedenle Anbardağ Orman İşletme Şefliği alanı için eğim haritası düzenlenmiştir (Şekil 25).

Arazi eğim değerleri yüzdeler birimde, ArcGIS, yazılımında TIN katmanı oluşturularak elde edilmiş ve ardından ArcMap yazılımında sınıflandırma yapılmıştır. Alanın eğim sınıflarına dağılımı ve toplam alana oranları ise Tablo 7’de yer almaktadır

Tablo 7. Anbardağ orman işletme şefliğinin eğim sınıflarına dağılımı

<b>Katman Adı</b>	<b>Eğim Sınıfı</b>	<b>Eğim Değeri (%)</b>	<b>Eğim Kodu</b>	<b>Alan (ha)</b>	<b>Toplam Alana Oranı (%)</b>
Eğim	1.Eğim Sınıfı	0 – 19	1	1644,01	8,53
	2.Eğim Sınıfı	20 – 44	2	3281,18	17,03
	3.Eğim Sınıfı	45 – 59	3	5180,00	26,88
	4.Eğim Sınıfı	60 – 69	4	4845,67	25,15
	5.Eğim Sınıfı	>70	5	4318,88	22,41
	Toplam				19269,74

Buna göre toplam büyüklüğü 19269,74 ha olan Anbardağ Orman İşletme Şefliği alanının % 74.44’lük kısmının 3, 4 ve 5. eğim sınıfın da kaldığı tespit edilmiştir.



Şekil 25. Anbardağ Orman İşletme Şefliği eğim sınıfları haritası

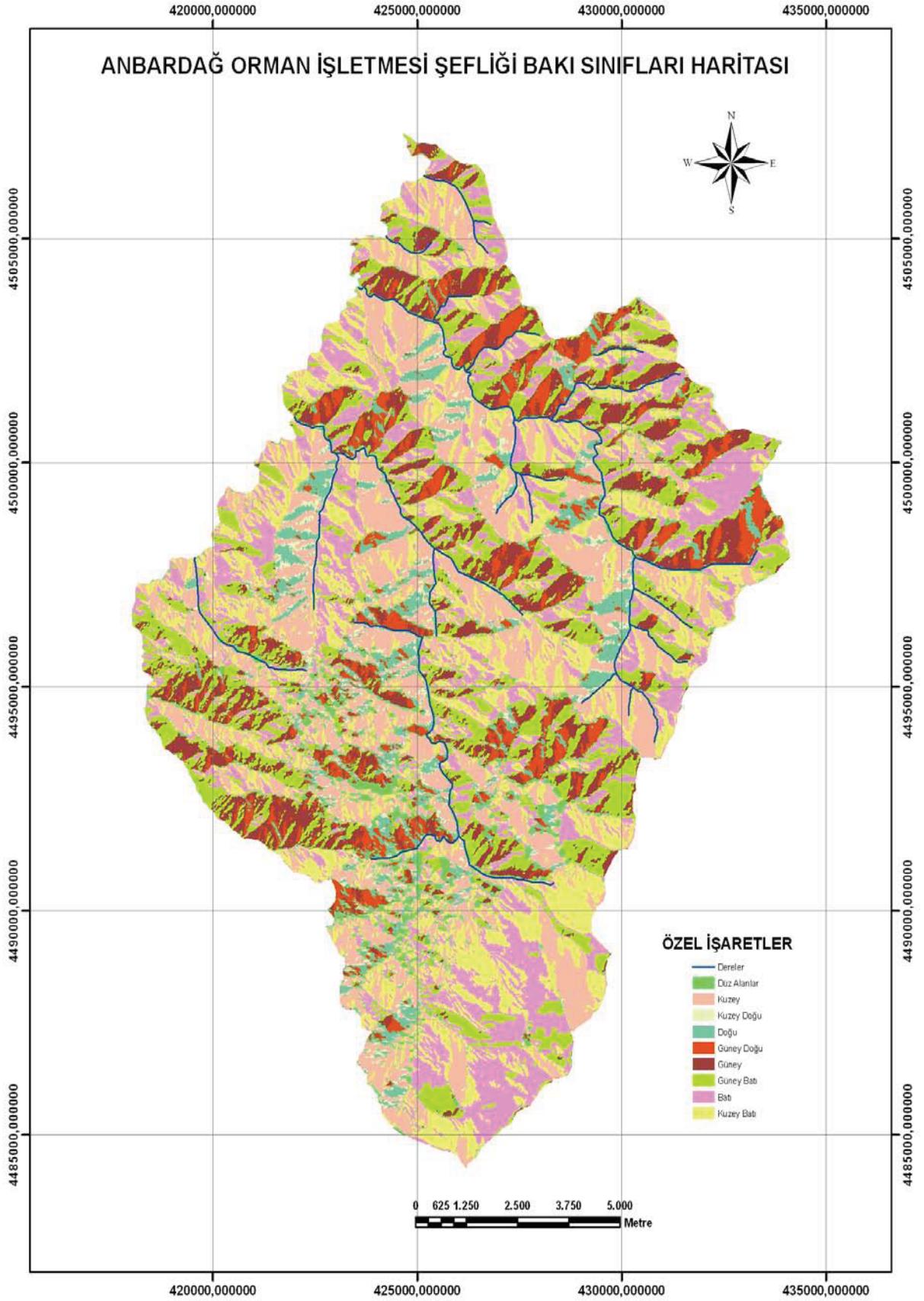
Odun hammaddesi taşıma tekniğinde bakı yönleri, yolların güneşlenme süreleri ve alanın yağış alma durumu üzerinde etkilidir. Orman yollarının planlanmasında ve yapımında güneşli bakılar tercih edilmektedir. Bu nedenle plan ünitesi için bakı haritası ve veritabanı oluşturulmuştur.

Bakı haritası sayısal arazi modelinden oluşturulmuştur. Şekil 26'da 8 ana yönden oluşan bakı haritası görülmektedir. Alanın bakı sınıflarına dağılımı ve toplam alana oranları ise Tablo 8'de yer almaktadır.

Tablo 8. Anbardağ orman işletme şefliğinin bakı gruplarına dağılımı

<b>Katman Adı</b>	<b>Bakı Sınıfı</b>	<b>Bakı Kodu</b>	<b>Alan (ha)</b>	<b>Toplam Alana Oranı (%)</b>
Bakı	Düz Alanlar	0	315,99	1,64
	Kuzey	1	902,96	4,69
	Kuzey Doğu	2	963,17	5,00
	Doğu	3	1099,44	5,71
	Güney Doğu	4	2174,75	11,29
	Güney	5	2809,19	14,58
	Güney Batı	6	3481,58	18,07
	Batı	7	3526,14	18,30
	Kuzey Batı	8	3996,51	20,74
	Toplam			19269,74

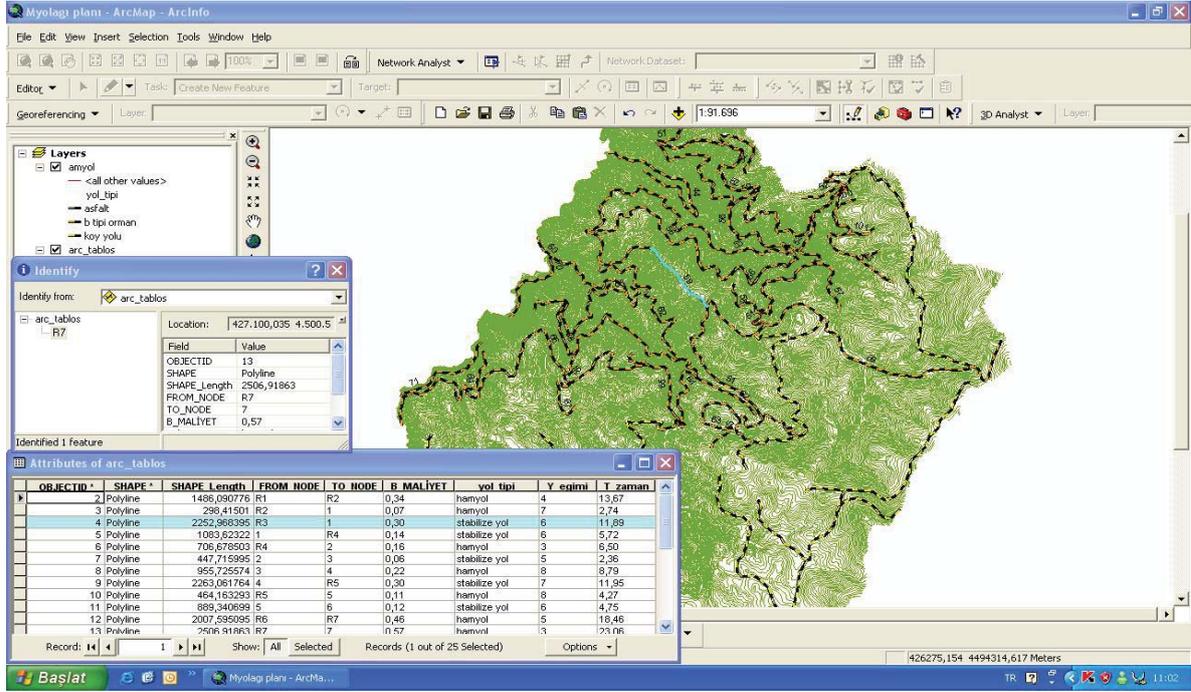
Alanın % 30,43'ü kuzey bakılarda (K, KD, KB) yer alırken, alanın % 24,01'i doğu-batı bakılarda ve % 43,94'ü ise güney bakılarda (G, GD, GB) yer almaktadır.



Şekil 26. Anbardağ Orman İşletme Şefliği baki sınıfları haritası

### 3.2. Araştırma Alanına Ait Mevcut Orman Yol Ağı Bulgu ve Tartışması

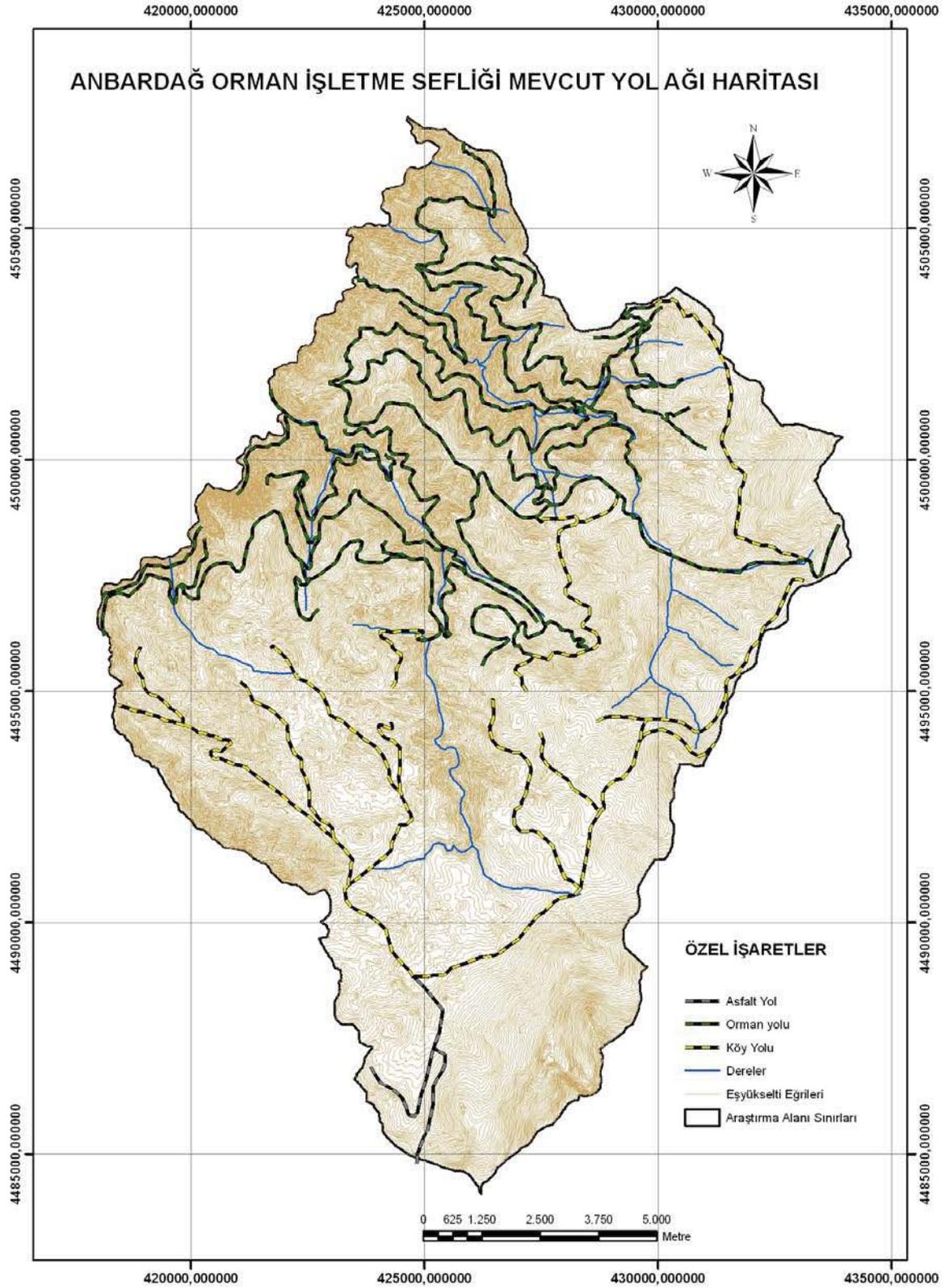
Araştırma alanında toplam uzunluğu 226+334 km olan bir orman yol ağı mevcuttur. Mevcut yollara ilişkin hazırlanan veritabanı Şekil 27’de görülmektedir. Araştırma alanı içerisinde toplam orman yolu uzunluğu ise 136+454 km’dir (Şekil 28).



Şekil 27. Orman yolları için oluşturulan grafik ve öznitelik veri tabanı

Yollar, bölme ile depo arası bağlantıyı sağlaması açısından uzunluklarına ve standartlarına (ham/toprak, stabilize, asfalt) göre analiz edilmiştir. Araştırma alanında orman yolları; yol standartları, kurp yarıçapı ve yol eğimi yönünden kamyonlarla nakliyata uygundur. Nitekim arazi gözlemlerinde de hâlihazırda orman yolları üzerinde her türlü odun hammaddesinin taşınabildiği belirlenmiştir.

Odun hammaddesi nakliyatının yürütüldüğü orman yol ağında, güvenli nakliyatın sürdürülebilmesi, yol, ekipman bakım-onarım masraflarında tasarruf sağlaması ve akıcı bir trafik akışının sağlanabilmesi için uygulanması gereken eğim değerleri, iniş aşağı nakliyat için % 7-9 (zaruri durumlarda % 12’ye kadar uygulanabilir), yokuş yukarı nakliyat için ise % 6’dır (kısa mesafelerde % 7 ye çıkılabilir) (Bayoğlu, 1997).



Şekil 28. Anbardağ Orman İşletme Şefliğinin mevcut yol ağı haritası

Günümüzde kullanılmakta olan daha güçlü araçlar sayesinde, belirtilen sınırların üzerindeki eğim değerlerine sahip yollar üzerinde de nakliyat devam edebilmektedir. Ancak orman yollarının genişlikleri 4m olduğundan, trafik emniyeti ve yüzey şartları nedeniyle yol eğimlerinin bu sınırlar içinde tutulması gerekmektedir. Diğer taraftan, yol ekseninin eğimi arttıkça, motorlu araçlarda motor gücünün aktarıldığı tekerleklerin frenleme sırasında kayması sonucu yol yüzeyinde meydana getirdikleri aşınmalar da artmaktadır.

Bu ilkeler ışığında, Anbardağ Orman İşletme Şefliği mevcut yol ağı incelenmiş ve trafiğin maruz kalacağı eğimlerin, genel olarak yukarıda belirtilen sınırlamalar dahilinde kaldığı gözlenmiştir.

Mevcut orman yol ağının;

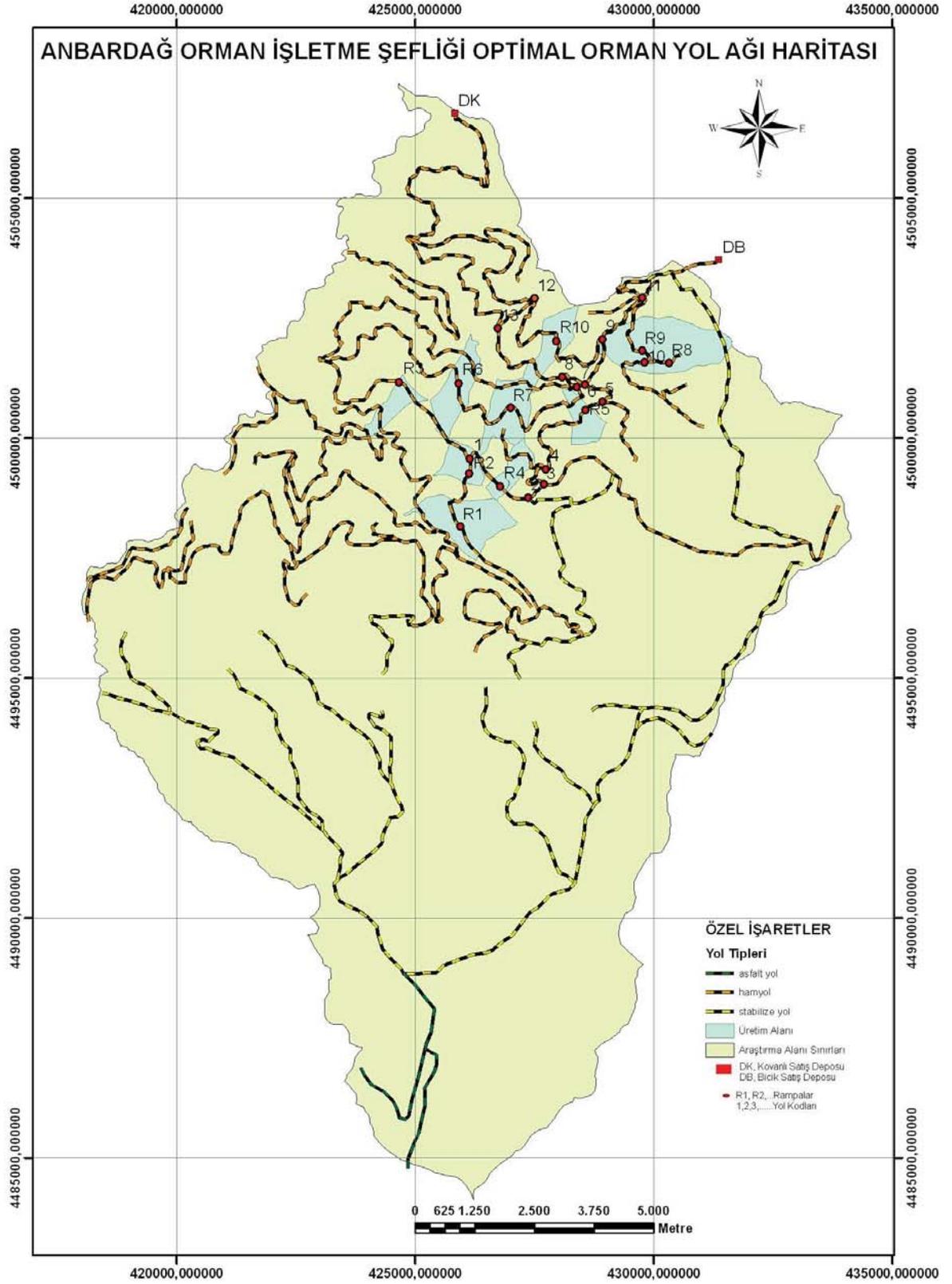
Genel yol yoğunluğu değeri= 11,74 m/ha,

İtibarı yol yoğunluğu değeri=11,01 m/ha,

Gerçek yol yoğunluğu değeri= 18,26 m/ha'dır.

Ormancılık çalışmalarında bütün yollardan yararlanılacağı için gerçek yol yoğunluk değeri önem kazanmaktadır. Bu değere göre hesaplanan ortalama yol aralığı değeri ise 547,64 m' dir.

Çalışmanın üzerinde yürütüldüğü Anbardağ Orman İşletme Şefliği alanı dahilinde, ormanın ilk kuruluşundan günümüze kadar geçen yıllarda eklenenlerle birlikte, bugün işlevsel durumda, 136+454 km'lik üzerinde nakliyat yapılmasına elverişli yolun bulunduğu, tespit edilmiştir. Planın yapıldığı 2007 yılında mevcut orman yolları 136+454 km'dir. Planlanan 1+200 km yolun ilavesi ile yol toplamı 137+654 km olmuştur. Daha sonra meşcere tipleri haritasında üretime açılan bölmelerle birleştirilerek yeni yol ağı oluşturulmuştur (Şekil 29).



Şekil 29. Anbardağ Orman İşletme Şefliği optimal yol ağı haritası

### 3.3. Araştırılan Yol Ağı Sistemi Üzerindeki Bulgular

Yol ağı sisteminde yer alan linklerin bazı özellikleri (uzunluk, yol tipi, ortalama eğim, yol kalitesinin durumu, ortalama hız, toplam çalışma zamanı ve birim nakliyat maliyeti) Tablo 9'da gösterilmiştir. Ağ sisteminde yer alan 13 ve 12 numaralı düğüm noktalarını bağlayan yeni link ham yol standardında olup birim yapım maliyeti (sabit maliyet) 23989 YTL/km olarak hesap edilmiştir. 2007 yılı için kamyonla nakliyatın birim maliyeti Orman Genel Müdürlüğü, İşletme ve Pazarlama Daire Başkanlığı tarafından 29,82 YTL/saat olarak tespit edilmiştir. Çalışma alanında yer alan bazı yolların görüntüleri Şekil 30, Şekil 31, Şekil 32 ve Şekil 33'de gösterilmiştir.



Şekil 30. 3 Kod nolu toprak yol



Şekil 31. 5 Kod nolu stabilize yol



Şekil 32. 12 Kod nolu asfalt yol



Şekil 33. 4 Kod nolu stabilize yol

Tablo 9. Taşıma modelinde yer alan güzergâhların özellikleri

Güzergâhlar	Yol Uzunluğu (Km)	Yol Tipi	Ortalama Yol Eğimi (%)	Yol Durumu	Ortalama Hız (km/saat)	Kamyonla Taşıma Zamanı (Dakika)	Gecikme Zamanı (Dakika)	Toplam Zaman (Dakika)	Birim Maliyet (YTL/m <sup>3</sup> )
R1-R2	1,486	Ham yol	4	orta	15	11,89	1,78	13,67	0,34
R2-1	0,298	Ham Yol	7	orta	15	2,38	0,36	2,74	0,07
R3-1	2,252	Stabilize Yol	6	iyi	25	10,81	1,08	11,89	0,30
1-R4	1,083	Stabilize Yol	6	iyi	25	5,20	0,52	5,72	0,14
R4-2	0,706	Ham Yol	3	kötü	15	5,65	0,85	6,50	0,16
2-3	0,447	Stabilize Yol	5	iyi	25	2,15	0,21	2,36	0,06
3-4	0,955	Ham Yol	8	orta	15	7,64	1,15	8,79	0,22
4-R5	2,263	Stabilize Yol	7	orta	25	10,86	1,09	11,95	0,30
R5-5	0,464	Ham Yol	8	iyi	15	3,71	0,56	4,27	0,11
5-6	0,899	Stabilize Yol	6	orta	25	4,32	0,43	4,75	0,12
R6-R7	2,007	Ham Yol	5	orta	15	16,06	2,41	18,46	0,46
R7-7	2,506	Ham Yol	3	iyi	15	20,05	3,01	23,06	0,57
7-8	0,412	Stabilize Yol	5	orta	25	1,98	0,20	2,18	0,05
8-6	0,566	Ham Yol	7	iyi	15	4,53	0,68	5,21	0,13
6-9	1,089	Ham Yol	5	iyi	15	8,71	1,31	10,02	0,25
9-R10	1,819	Stabilize Yol	6	iyi	25	8,73	0,87	9,60	0,24
R8-10	0,519	Ham Yol	2	iyi	15	4,15	0,62	4,77	0,24
10-R9	0,371	Ham Yol	5	iyi	15	2,97	0,45	3,41	0,12
R9-11	1,556	Ham Yol	5	orta	15	12,45	1,87	14,32	0,08
9-11	1,33	Stabilize Yol	6	iyi	25	6,38	0,64	7,02	0,36
11-DB	7,817	Stabilize Yol	7	iyi	25	37,52	3,75	41,27	0,17
R10-12	2,194	Stabilize Yol	6	iyi	25	10,53	1,05	11,58	0,29
12-DK	10,866	Asfalt yol	5	iyi	35	37,25	1,86	39,12	0,97
8-13	2,367	Ham Yol	5	kötü	15	18,94	2,84	21,78	0,54

Tablo 9’da görüldüğü üzere üç farklı yol tipi (ham, stabilize ve asfalt) gözlenmiştir. Ortalama yol eğimleri % 3–8 arasında, ortalama araç hızları ise 15-25 km/saat arasında değişmektedir. Her iki güzergâh arasında ise birim maliyetler 0,34-8,47 YTL/m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır.

### 3.4. Odun Hammaddesi Miktarları ve Depo Fiyatları Bulguları

Üretim alanındaki bölmelerin meşçere tipleri ve üretilen odun hammaddesinin miktarları Tablo 10’da gösterilmiştir. 63, 37, 89, 69, 41, 73 ve 46 numaralı bölmelerde üretilen ürünler (tali nakliyattan sonra) sırası ile R2, R3, R4, R5, R6, R8 ve R10 numaralı rampalarda istiflenmiştir. 88-114, 65-66 ve 52-53 numaralı bölmelerde üretilen odun hammaddesi R1, R7 ve R9 numaralı rampaya ulaştırılmıştır.

Tablo 10. Her bir bölmede üretilen çeşitli odun hammaddesinin miktarları (m<sup>3</sup>) ve meşçere tipleri

Rampa No	Bölme No	Meşçere Tipi	Tomruk (m <sup>3</sup> )	Sanayi Odunu (m <sup>3</sup> )	Maden Direği (m <sup>3</sup> )	Kağıtlık Odun (m <sup>3</sup> )
R1	88-114	Lc <sub>2</sub> -LKnc <sub>2</sub>	473,700	34,400	58,900	14,500
R2	63	LKnd <sub>1</sub> c <sub>2</sub>	540,900	114,700	10,200	13,100
R3	37	LKnd <sub>1</sub> c <sub>2</sub>	350,300	202,000	37,800	13,700
R4	89	Lc <sub>2</sub>	84,300	201,400	31,000	11,800
R5	69	Lb <sub>1</sub>	943,000	236,700	238,600	47,800
R6	41	LKnd <sub>1</sub> c <sub>2</sub>	83,400	12,600	25,900	10,300
R7	65-66	Lc <sub>2</sub> -LKnc <sub>2</sub>	222,800	70,000	31,600	10,800
R8	73	Lc <sub>2</sub>	308,500	40,600	17,900	11,800
R9	52-53	Lc <sub>2</sub>	547,000	25,900	89,300	10,200
R10	46	LKnd <sub>1</sub>	122,500	31,100	30,700	15,800
Toplam			3676,400	969,400	571,900	159,800

Üretilen odun hammaddelerinin 2007 yılına ait depo satış fiyatları Tablo 11’de gösterilmiştir. Buna göre, Giresun şehir merkezine çok daha yakın olan Kovanlı deposundaki depo satış fiyatları Bicik deposundaki fiyatlardan daha yüksektir. Depo görünüşleri ise Şekil 34 ve 35’de gösterilmiştir.

Tablo 11. Odun hammaddelerinin 2007 yılı depo satış fiyatları (YTL/m<sup>3</sup>)

Depolar	Tomruk	Sanayi Odunu	Maden Direği	Kâğıtlık Odun
Kovanlı(DK)	196,24	121,59	135,35	98,33
Bicik (DB)	191,58	120,19	117,61	90,18



Şekil 34. Bicik Orman Deposu Görünümü



Şekil 35. Kovanlı Orman Deposu Görünümü

Üretilen odun hammaddesi için, her bir rampadan önce giriş düğüm noktalarını temsil eden 4'er tane yapay düğüm noktası (T, S, M ve K) oluşturulmuştur. Her bir odun hammaddesi için 2 depodan (DK ve DB) sonra odun hammaddesinin hangi rampadan geldiğini gösteren 4'er tane yapay düğüm noktası oluşturulmuştur. Bu yapay düğüm noktalarının her biri odun hammaddelerinin satış depolarını temsil eden yapay düğüm noktalarına (YT, YS, YM ve YK) bağlanmıştır.

### 3.5. Tavlama Benzetimi'nin Odun Hammaddesi Taşıma Problemine Uygulanması

#### 3.5.1. Sistemin Tanımlanması

Rampalar, yol kod düğümleri ve depolar  $i=R1, R2, \dots$  den  $N$ 'ye kadar,  $i=1, 2, \dots$  den  $N$ 'ye kadar ve  $i=D1, D2, \dots$  den  $N$ 'ye kadar her biri belirlenmiş  $(x, y)$  koordinatlarına yerleştirilmiştir. Sistem konfigürasyonu birden  $N$ 'ye kadar sayıların permütasyonudur.

#### 3.5.2. Değişim Stratejisi

Burada üç farklı hareket biçimi belirlenmiştir.

1. Adaylar arasında düğümlerin rasgele seçimi ile uygun bir güzergâh oluşturulmuştur.
2. Sadece bir depo seçilmiş ve her bir iterasyon için farklı bir güzergâh uygulanmıştır.
3. Güzergâh maliyeti arttıkça iyileştirme için daha büyük değişimler seçilmiştir.

#### 3.5.3. Amaç Fonksiyonu

Alternatif güzergâhlar arasında toplam değişken ve sabit maliyetleri en aza indiren güzergâhın bulunması olup şu şekilde hesaplanmıştır.

$$Z_{\min} = \sum_{p=1}^P \sum_{r=1}^R \sum_{k=1}^K \sum_{g=1}^G DM_{prkg} * H_{prkg} + \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T \sum_{g=1}^G SM_{ptg} * X_{ptg} + \text{cezadeğeri} \quad (11)$$

Amaç fonksiyonunun matematiksel denklemindeki notasyonlar;

$P$ : Planlama sayısıdır.

$R$ : Planlama yılındaki rampaların sayısıdır.

$K$ : Planlama yılındaki kamyonların sayısıdır.

$G$ : Odun hammaddesinin rampalardan depolara taşınmasında kullanılacak güzergâh sayısıdır.

$T$ : Planlama yılındaki yeni yapılacak yol tipinin (kalitesinin) sayısıdır.

$DM_{prkg}$  = Değişken maliyet katsayısı (YTL/m<sup>3</sup>)  $p$  periyodunda  $r$  rampasından  $k$  kamyon tipi ve  $g$  güzergâhı kullanılarak ortaya çıkan taşıma maliyetinin katsayısıdır.

$H_{prkg}$  =  $prkg$  koşullarında taşıma yapılabilen miktarı tanımlayan karar değişkenidir (m<sup>3</sup>). Taşınan odun hammaddesi miktarıdır.  $p$  periyodunda  $r$  rampasından  $k$  kamyon tipi ve  $g$  güzergâhı kullanılarak taşınan odun hammaddesi miktarıdır.

$SM_{ptg}$  = Sabit maliyet (YTL/m).  $p$  periyodunda  $t$  tipinde (kalitesinde)  $g$  yolunun inşaatı maliyeti.

$X_{ptg}$  =  $p$  periyodunda  $t$  tipinde  $g$  yolunun yapılmasını gösteren ikili {0,1} karar değişkenidir.

Bu fonksiyonda  $X_i$ , değeri 0 veya 1 olan ikili değişkendir. Eğer  $i$  güzergâhı kullanılırsa 1, kullanılmazsa 0 değerini almaktadır.

Modele sokulacak karar değişkeni;

- Herhangi bir periyotta herhangi bir rampadan bir depoya taşıma yapılan  $k$  odun hammaddesinin hacmi (m<sup>3</sup>) ( $X_{pbdk}$ ) (=  $p$  periyodunda  $b$  rampasından  $d$  deposuna taşınan  $k$  odun hammaddesinin hacmi)

Modele hacim kısıtlaması konulmuştur (alt ve üst sınır). Odun hammaddesi hacim kısıtlamalarının alt ve üst sınırlarına bakılacaktır. Eğer odun hammaddesinin toplam hacmi güzergâh için belirtilmiş olan alt limitten düşük ve üst limiti aşarsa bir ceza değeri oluşturulur. Üst sınır 1000 m<sup>3</sup> ve alt sınır 10 m<sup>3</sup> olarak kabul edilmiştir.

Her güzergâh için sınırı aşıp aşmadığına bakılarak, güzergâh için odun hammaddesi toplam hacim miktarı alt limitten küçük veya üst limitten büyükse, toplam ceza değeri=1000 katsayısı olacaktır.

$$\text{Ceza miktarı} = \text{Talep miktarı} - \text{Taşınan miktar} \quad (12)$$

Her bir depoda belirli bir periyotta odun hammaddesine olan ihtiyacın (piyasa talebinin fonksiyonu olarak) minimum ve maksimum miktarı: Her bir deponun odun hammaddesi kapasitesi, o depodan piyasaya yapılan satışların göstergesidir.

Deponun yıllık odun hammaddesi ihtiyacı; piyasanın isteğine, stok düzeyine, depolama kapasitesine vb bağlıdır. Ancak, depoların alabileceği maksimum ürün miktarı, o depoyu besleyen işletmenin yıllık etası kadardır. Bu nedenle, depo kapasitesinin üst sınırı

yıllık eta olarak kararlaştırılmıştır. Alt sınırı ise, ürün kayıplarının ve muhtemel kayıpların dikkate alınarak taşıma yapılabilecek miktar kadar olduğuna karar verilmiştir

$$\sum_p^P \sum_d^D DpMin_{pd} \leq \sum_p^P \sum_r^R Hpr \leq \sum_p^P \sum_d^D DpMax_{pd} \quad (13)$$

$D$  : Depoların sayısını temsil eder

$DTpMin_{pd} / DTpMax_{pd}$  : Depoların minimum ve maksimum talep miktarıdır.

Ayrıca tüm değişkenler pozitif sayı olmak zorundadır.

$$Hprkg \geq 0 \quad \text{ve} \quad Xptg \geq 0 \quad \forall p,r,k,g,t$$

Bu güzergâhlarda sadece değişken maliyetler dikkate alınacağı gibi sabit maliyetler de dahil edilmiştir. Değişken maliyetler, bir operasyonu gerçekleştirmek için sarf edilen maliyettir. Sabit maliyetler, işletmecilikte yatırım maliyetleridir.

Toplam değişken maliyeti oluşturan ormancılık çalışmaları; kesme, tali nakliyat, boşaltma ve yükleme gibi üretilen odun hammaddelerinin miktarına bağlı olan çalışmalardır. Sabit maliyeti ise üretim sistemini oluşturan araç ve gereçlerin üretim alanına taşınması, yol yapım ve bakım/onarım, rampa yeri yapma, hendeklerin ve büzlerin temizlenmesi gibi bakım maliyetleri ve sistemin kurulması gibi çalışmalar oluşturmaktadır.

Sabit maliyetin dahil edilebilmesi için, sabit maliyet değeri link (orman yolu seksiyonu, güzergâh) üzerinde taşınan odun hammaddesinin hacmine bölünerek operasyon maliyete dönüştürülmüş:

$$OPM_i = DM_i + \frac{SM_i}{\sum H_i} \quad (14)$$

$OPM_i$  :  $i$  linki için operasyon maliyeti (YTL/m<sup>3</sup>)

$DM_i$  :  $i$  linki için değişken maliyeti (YTL/m<sup>3</sup>)

$SM_i$  :  $i$  linki için sabit maliyeti (YTL)

$H_i$  :  $i$  linki üzerinde taşınan odun hammaddesinin hacmi (m<sup>3</sup>)

### 3.5.4. Tavlama Planı

Problemin tavlama benzetimi algoritmasına uyarlanması aşamasında öncelikle tavlama planının belirlenmesi gerekmektedir.

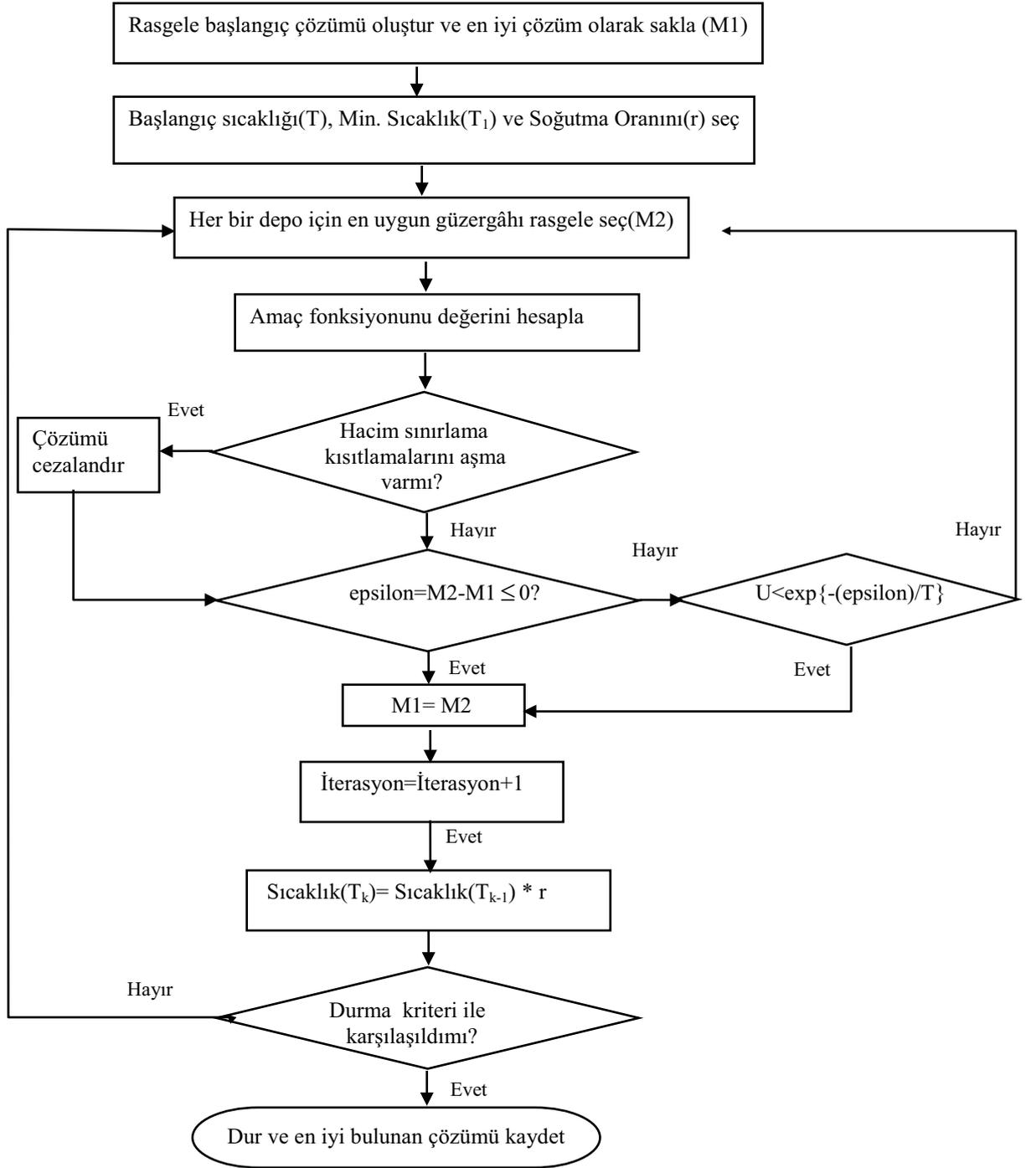
- ✓ Başlangıç sıcaklığı, (T);
- ✓ Her sıcaklık değerinde tekrar edecek adım sayısı,(m);
- ✓ Soğutma oranı (r);
- ✓ Minimum sıcaklık ( $T_1$ ) ;
- ✓ Durdurma koşulunun belirlenmesi ( $T < T_1$ ) ;

Literatürden seçilerek geliştirilen problemlerin çözümünde kullanılan başlangıç sıcaklığı değerleri, geliştirilen TB algoritmasında kullanılmıştır. Başlangıç kabul olasılığı ( $P_b$ ) 0,95 ve son kabul olasılığı ise ( $P_s$ )  $1 \cdot 10^{-15}$  olarak alınmıştır. Bütün modellerin çözümü için 3 ayrı başlangıç sıcaklığı kullanılmıştır. Soğutma oranı iterasyon sayısına göre değişiklik göstermekle beraber değerler 0,65 ile 0,95 arasında yer almaktadır. Her bir model için farklı iterasyon sayılarında denemeler yapılmıştır. En uygun iterasyon sayısı 1000 – 3000 arasında gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada, TB algoritmasında kullanılacak olan tavlama planı içindeki parametreler şu şekilde seçilmişlerdir. Başlangıç sıcaklığı için seçilen 3 farklı düzey 10000, 20000 ve 30000 değerleri iken, minimum sıcaklık için 10, 20 ve 30 değerleri göz önünde tutulmuştur. Sıcaklığın hangi oranda soğutulacağını belirleyen ( $r$ ) değeri 0,65, 0,85 ve 0,95 düzeylerinde alınmış ve algoritma boyunca her sıcaklık değerinde kabul edilecek adım sayısı 1000, 2000 ve 3000 iterasyon sayısı olarak seçilmiştir.

TB algoritmasının en iyi parametre setinin belirlenmesi amacıyla faktöriyel deney tasarımı yapılmıştır. TB algoritması için seçilen faktörlerin, TB algoritmasının performansı üzerinde etkin olup olmadığını belirlemek için varyans analizi kullanılmış ve bu faktörler için dikkate alınan düzeyler arasında anlamlı bir farklılığın olup olmadığı ise Duncan çoklu aralık testi ile değerlendirilmiştir.

Optimizasyon sürecinde, model koordinatları belirlenmiş olan noktalardan her bir depo için uygun güzergâhı rasgele elde eder (Şekil 36). Oluşturulan her bir alternatif, model tarafından değerlendirilmeden önce komşuluk uygunluk kuralları araştırılır.



Şekil 36. Odun hammaddesi taşıma problemi için geliştirilen Tavlama Benzetimi algoritması akış diyagramı

Epsilon (M2-M1):Yeni bulunan komşu çözüm ile önceki çözümün amaç fonksiyon değerleri arasındaki fark

Komşuluk uygunluk kuralları;

- ✓ Kullanılmayan güzergâhlara negatif değişken maliyetler uygulanmış.
- ✓ Her bir depo için odun hacmi değiştirilmiş.
- ✓ Depo düzeni rasgele seçilmiştir.

Uygunluğu onaylanan her bir güzergâhın birim maliyeti  $YTL/m^3$  olarak hesap edilir. Sonra Toplam maliyet (Maliyet1), = Her bir depo için değişken maliyet + Her bir depo için sabit maliyet hesap edilir. Daha sonra odun hammaddesi hacim kısıtlamalarının alt ve üst sınırlarına bakılır. Eğer odun hammaddesinin toplam hacmi güzergâh için belirtilmiş olan alt ve üst limiti aşarsa bir ceza değeri oluşturulur. Her güzergâh için sınırı aşıp aşmadığına bakılır. Eğer aşmışsa tekrar bir karşılaştırma yapılacaktır. Güzergâh için odun hammaddesi toplam hacim miktarı alt limitten küçük veya üst limitten büyükse, toplam ceza değeri=1000 katsayısı olacaktır. Uygunluğu onaylanan alternatif güzergâhların toplam maliyeti ve ceza değerleri hesap edilir (Maliyet 2).

Yeni çözümün kabul edilmesi kabul kriterine göre iki şekilde olmaktadır. Birincisi, eğer yeni çözüm amaç fonksiyonunda herhangi bir iyileşme sağlıyorsa yeni çözüm kabul edilir. İkincisi, eğer yeni çözüm amaç fonksiyonunda herhangi bir iyileşme sağlamıyorsa yeni çözüm  $e(-\Delta E/T)$  olasılığına göre kabul edilir veya edilmez. Burada  $\Delta E$  iki çözümün amaç fonksiyonundaki değişimi ifade etmektedir. T ise kontrol parametresi olan sıcaklıktır.

Eğer Yeni Maliyet (Maliyet 2)  $\leq$  Önceki Maliyet (Maliyet 1) ise, Maliyet1 = Maliyet2 'dir ve model bu alternatif en iyi alternatif olarak kaydeder. Belirlenen çözüm mevcut çözüm olarak atanır.

Eğer Yeni Maliyet (Maliyet 2)  $>$  Önceki Maliyet (Maliyet 1) ise rassal olarak [0,1] aralığında u sayısı üretilir. Eğer  $u < \exp[-\text{Maliyet 2} + \text{Maliyet 1}]/T$  ise, Maliyet1 = Maliyet2 olarak atanır. Belirlenen çözüm mevcut çözüm olarak atanır (Bu adım Tavlama Benzetimi algoritmasının yerel minimum tuzağına düşmesini engellemektedir).

Optimizasyon süreci aynı mantığı kullanarak önceden belirlenen iterasyon (tekrar) sayısına ulaşıncaya kadar devam eder. Algoritmayı durdurma şartı; eğer tavlama planında belirlenen maksimum adım sayısına ulaşılmış ise T "sıcaklığı" r katsayısı ile çarpılarak azaltılır. Durdurma koşulu (T sıcaklığının  $T_1$  'den küçük olması) sağlanmış ise program sonlanır. Bulunan maliyet minimum maliyet ve bulunan çözüm mevcut çözüm olarak atanır. Algoritma durduktan sonra, en iyi çözüm olarak kaydedilen toplam taşımayı en aza indiren alternatif optimum güzergâh adayı olarak kaydedilir.

### 3.6. TB Algoritmasında Uygun Parametre Setinin Belirlenmesi için Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada geliştirilen TB algoritmasının, başlangıç sıcaklığı ( $T$ ), algoritmanın ne zaman sona ereceğini belirleyen minimum sıcaklık ( $T_1$ ), her sıcaklıkta kabul edilmesi gereken adım sayısı (iterasyon,  $m$ ) ve adım sayısı tamamlandıktan sonra sıcaklığın ne kadar azalacağını belirleyen soğutma oranı ( $r$ ) olmak üzere 4 farklı parametre mevcuttur.  $3^k!$  ( $k=4$ ) faktöriyel deney tasarımı düzenlenerek dikkate alınan faktörlerin 3 farklı düzeydeki performanslarını elde etmek amacıyla denemeler yapılmıştır. Buna göre deney tasarımına dahil edilen faktörler ve bunların düzeyleri Tablo 12’de verilmektedir.

Tablo 12. Deney tasarımına dahil edilen faktörler ve düzeyleri

Faktörler	Düzyeler		
	Düşük	Orta	Yüksek
1. Başlangıç sıcaklığı ( $T$ )	10000	20000	30000
2. Minimum sıcaklık ( $T_1$ )	10	20	30
3. Soğutma Oranı ( $r$ )	0,65	0,85	0,95
4. İterasyon Sayısı ( $m$ )	1000	2000	3000

TB algoritması için düzenlenen deney tasarımında, yapılan ön denemeler sonucunda başlangıç sıcaklığı için seçilen 3 farklı düzey 10000, 2000 ve 3000 değerleri iken, minimum sıcaklık için 10, 20 ve 30 değerleri göz önünde tutulmuştur. Sıcaklığın hangi oranda soğutulacağını belirleyen ( $r$ ) değeri 0.65, 0.85 ve 0.95 düzeylerinde alınmış ve algoritma boyunca her sıcaklık değerinde kabul edilecek adım sayısı 1000, 2000 ve 3000 iterasyon sayısı olmak üzere toplam 81 parametre kombinasyonu olarak seçilmiştir.

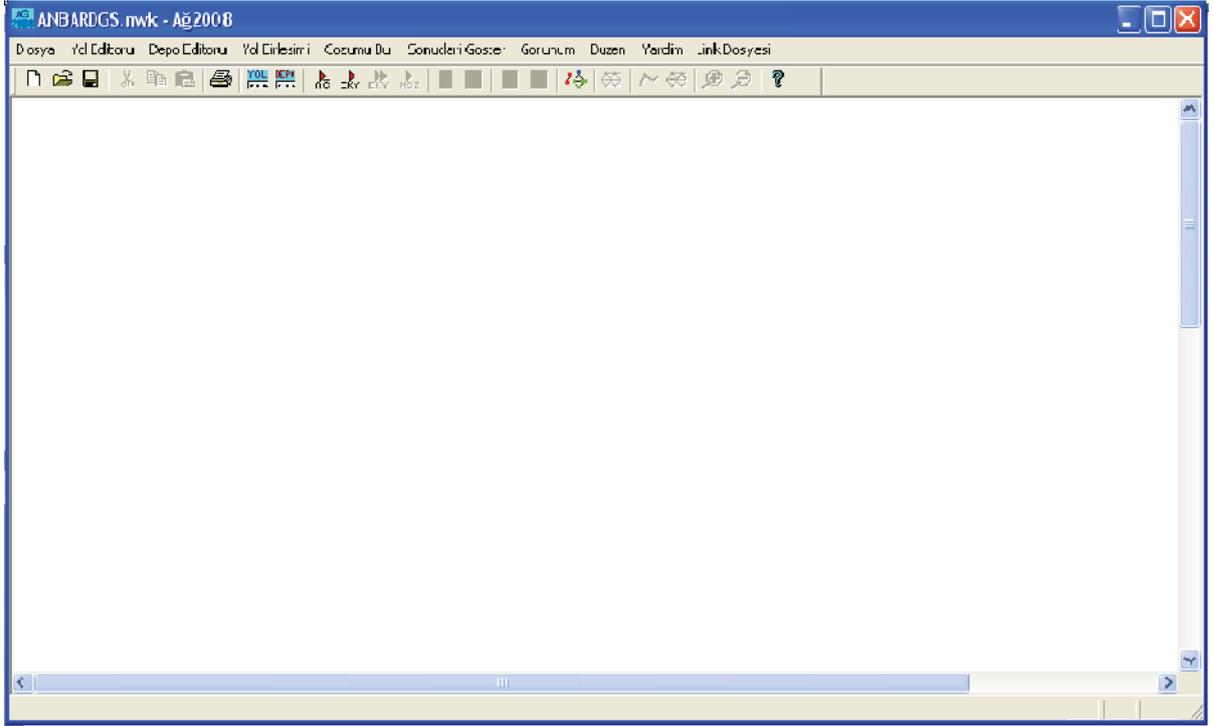
Günümüze kadar çeşitli tavlama planları önerilmiştir (Johnson vd, 1989; Kouvelis ve Chiang, 1992). Önerilen en eski plan Kirkpatrick ve diğerlerinin (1983) fiziksel tavlama ile olan benzerliğine dayanarak ileri sürdükleri plandır. Bu tavlama planına göre, maddenin sıvı safhaya ulaştığında tüm parçacıklarının rassal olarak düzenlenmesini taklit etmek için,  $T$  sıcaklık parametresinin başlangıç değeri, denenen tüm hareketler kabul edilecek kadar yüksek seçilmiştir.

TB algoritması için deney tasarımı ve Duncan çoklu aralık testi ile belirlenen tavlama planıyla, aynı zamanda bu algoritmanın çalışma uzunluğu da belirlenmektedir. Daha önce de değinildiği gibi, tavlama planındaki parametrelerden birisi olan  $T_1$ , minimum sıcaklık, TB algoritmasının durdurulma koşulunu oluşturmaktadır. Seçilen başlangıç sıcaklığı, tavlama planına göre azaltılmakta ve değeri  $T_1$  değerinin altına düştüğünde algoritma durdurulmaktadır.

Optimum çözümleri bilinmeyen Model1-1, Model2-1 ve Model2-2 için yapılan ön denemelerde, yeteri kadar çözüm sayısı incelendikten sonra, geliştirilen algoritmanın oldukça iyi çözümler bulduğunu göstermiştir. Bu modeller için algoritmaların çalışması, belli sayıda çözüm noktası incelendikten sonra durdurulmuştur.

### 3.7. Model1-1 İçin Ağ Analizine Ait Bulgular

Ağ analizi yazılımının kullanıcı ara birimi Şekil 37’de görülmektedir.



Şekil 37. Ağ 2008 yazılımının kullanıcı ara birimi

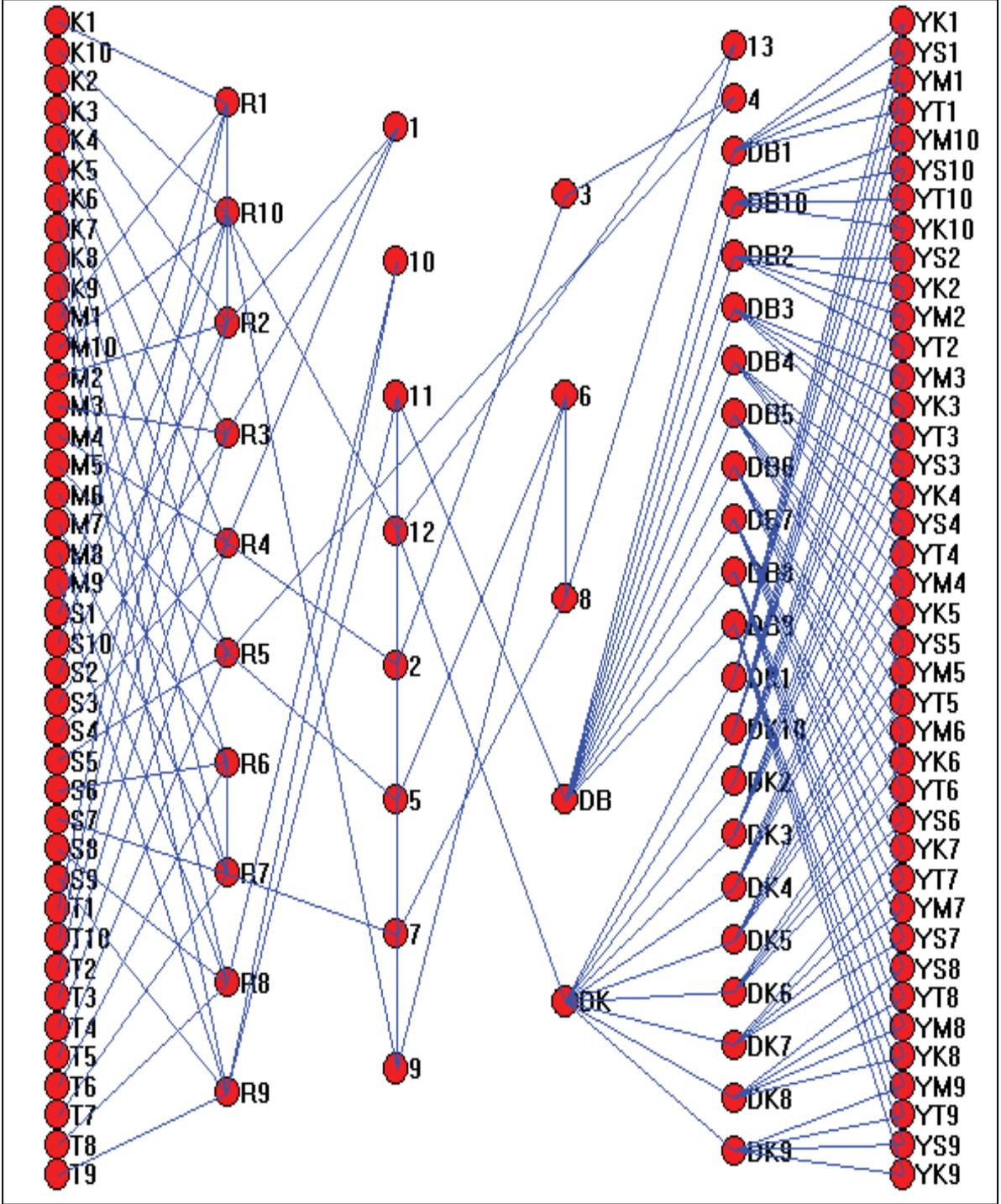
Problemin çözümü için Ağ 2008 yazılımında, Model1-1 için yol bilgileri “Yol Editor” tablosuna (Şekil 38) ve orman depolarına ulaşan odun hammaddeleri bilgileri “Depo Editor” tablosuna (Şekil 39) girilerek Şekil 40’da gösterilen Model1-1 için yol ağ sistemi geliştirilmiştir.

Sıra	Başlangıç Düğümü	Bitiş Düğümü	Değ. Maliyet (YTL/m3/Yol)	Sabit Maliyet (YTL/Yol)	İndeks
1	R1	R2	0.34	0.00	0.00
2	R2	1	0.07	0.00	0.00
3	R3	1	0.30	0.00	0.00
4	1	R4	0.14	0.00	0.00
5	R4	2	0.16	0.00	0.00
6	3	4	0.22	0.00	0.00
7	4	R5	0.30	0.00	0.00
8	R5	5	0.11	0.00	0.00
9	R6	R7	0.46	0.00	0.00
10	R7	7	0.57	0.00	0.00
11	5	6	0.12	0.00	0.00
12	8	6	0.13	0.00	0.00
13	6	9	0.25	0.00	0.00
14	9	R10	0.24	0.00	0.00
15	R10	9	0.24	0.00	0.00
16	11	DB	1.03	0.00	0.00
17	DB	DB1	0.00	0.00	0.00
18	DB	DB2	0.00	0.00	0.00
19	DB	DB3	0.00	0.00	0.00
20	DB	DB4	0.00	0.00	0.00
21	DB	DB5	0.00	0.00	0.00
22	DB	DB6	0.00	0.00	0.00
23	DB	DB7	0.00	0.00	0.00
24	DB	DB8	0.00	0.00	0.00
25	DB	DB9	0.00	0.00	0.00
26	DB	DB10	0.00	0.00	0.00
27	DB1	YT1	0.00	0.00	0.00
28	DB1	YS1	0.00	0.00	0.00
29	DB1	YM1	0.00	0.00	0.00
30	DB1	YK1	0.00	0.00	0.00

Şekil 38. Model1-1'e ait yol verileri

Sıra	Giriş Düğümü	Bitiş Düğümü	Ürün Hacmi (m3)	Üretim Yılı
13	T4	YT4	84.35	1
14	S4	YS4	201.99	1
15	M4	YM4	31.04	1
16	K4	YK4	11.78	1
17	T5	YT5	942.96	1
18	S5	YS5	236.67	1
19	M5	YM5	238.58	1
20	K5	YK5	47.82	1
21	T6	YT6	83.45	1
22	S6	YS6	12.62	1
23	M6	YM6	25.94	1
24	K6	YK6	0.86	1
25	T7	YT7	222.78	1
26	S7	YS7	70.00	1
27	M7	YM7	31.56	1
28	K7	YK7	9.10	1
29	T8	YT8	308.50	1
30	S8	YS8	40.57	1
31	M8	YM8	17.89	1
32	K8	YK8	11.79	1
33	T9	YT9	546.98	1
34	S9	YS9	25.70	1
35	M9	YM9	89.26	1
36	K9	YK9	0.94	1
37	T10	YT10	122.50	1
38	S10	YS10	31.06	1
39	M10	YM10	30.73	1
40	K10	YK10	15.78	1

Şekil 39. Model1-1 için satış depolarına ulaşan odun hammaddesi verileri



Şekil 40. Model1-1 için geliştirilen taşıma güzergâhları

R1, R2,.....:Rampa simgesi, 1,2,3.....:Yol ağı düğümleri(kodları)

T1, S1, M1, K1,....: Odun hammaddeleri (Tomruk, Sanayi Odunu, Maden Direği, Kağıtlık Odun)

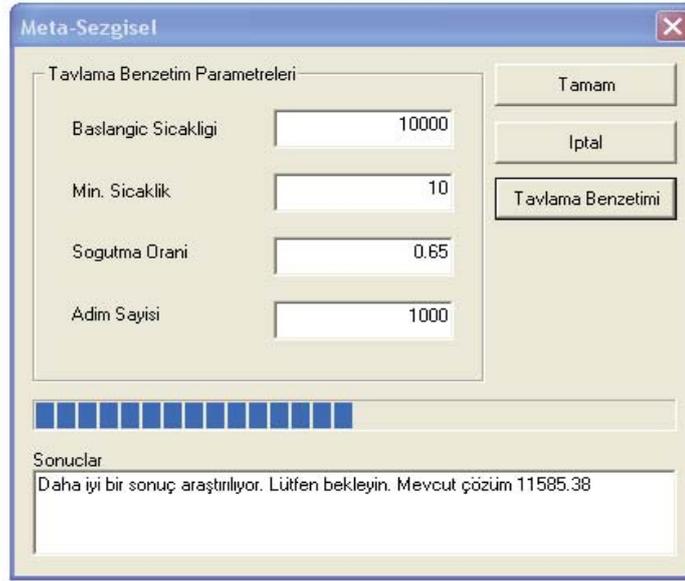
DK, DB:Orman Depoları(Kovanlı, Bicik)

DK1, DB1,.....: Rampalardan gelen odun hammaddeleri yapay depo yeri

YT1, YM1,YS1,YK1.....:Hangi rampadan geldiğini gösteren dört farklı odun hammaddeleri simgesi

### 3.7.1. Model1-1 İçin TB Algoritmasına Göre Deneysel Bulgular ve Tartışması

Model1'de maliyeti en aza indiren taşıma güzergâhı araştırılmıştır. Model1-1 problemi için seçilen faktörlerin oluşturduğu her kombinasyon düzeyinde rassal başlangıç çözümleri seçilerek 5 deneme yapılmıştır. Buna göre elde edilen toplam deneme sayısı  $405(=3^4 \times 5)$  olmuştur. Bunlardan 81 adedi en iyi sonucu veren denemeler olarak rapor edilmiştir (Şekil 41). Model1-1 problemi için yapılan 81 farklı deneme ve bulunan çözümler ile kullanılan parametreler Tablo 13'de verilmiştir. Ayrıca Model1-1 problemine ait çözüm sayısına göre taşıma maliyeti değeri Şekil 42'de verilmiştir.



Şekil 41. Model1-1 probleminin TB parametreleri ile çözümü

Tablo 13. Model1–1 problemi için yapılan denemeler ve sonuçları

T	r	m	T <sub>1</sub>	Z <sub>amaç</sub> (YTL)	Çs (sn)	T	r	m	T <sub>1</sub>	Z <sub>amaç</sub> (YTL)	Çs (sn)
10000	0,65	1000	10	11378,56	12	20000	0,85	2000	30	11314,72	45
10000	0,65	1000	20	11378,56	9	20000	0,85	3000	10	11311,19	80
10000	0,65	1000	30	11378,56	8	20000	0,85	3000	20	11311,19	75
10000	0,65	2000	10	11332,53	22	20000	0,85	3000	30	11311,19	70
10000	0,65	2000	20	11332,53	17	20000	0,95	1000	10	11311,19	85
10000	0,65	2000	30	11332,53	13	20000	0,95	1000	20	11311,19	80
10000	0,65	3000	10	11332,53	30	20000	0,95	1000	30	11311,19	75
10000	0,65	3000	20	11332,53	26	20000	0,95	2000	10	11311,19	156
10000	0,65	3000	30	11332,53	24	20000	0,95	2000	20	11311,19	151

Tablo 13'ün devamı

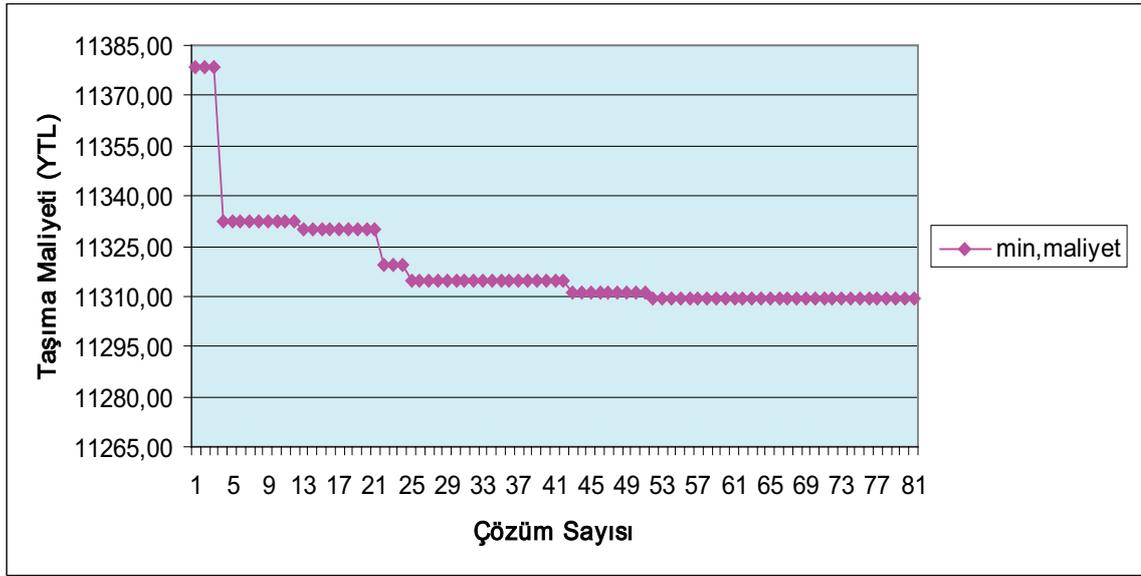
10000	0,85	1000	10	11332,53	25	20000	0,95	2000	30	11311,19	146
10000	0,85	1000	20	11332,53	23	20000	0,95	3000	10	11309,52	233
10000	0,85	1000	30	11332,53	21	20000	0,95	3000	20	11309,52	230
10000	0,85	2000	10	11330,27	56	20000	0,95	3000	30	11309,52	228
10000	0,85	2000	20	11330,27	51	30000	0,65	1000	10	11309,52	15
10000	0,85	2000	30	11330,27	46	30000	0,65	1000	20	11309,52	12
10000	0,85	3000	10	11330,27	85	30000	0,65	1000	30	11309,52	10
10000	0,85	3000	20	11330,27	80	30000	0,65	2000	10	11309,52	25
10000	0,85	3000	30	11330,27	75	30000	0,65	2000	20	11309,52	20
10000	0,95	1000	10	11330,27	80	30000	0,65	2000	30	11309,52	15
10000	0,95	1000	20	11330,27	75	30000	0,65	3000	10	11309,52	33
10000	0,95	1000	30	11330,27	70	30000	0,65	3000	20	11309,52	30
10000	0,95	2000	10	11319,23	155	30000	0,65	3000	30	11309,52	27
10000	0,95	2000	20	11319,23	150	30000	0,85	1000	10	11309,52	30
10000	0,95	2000	30	11319,23	145	30000	0,85	1000	20	11309,52	25
10000	0,95	3000	10	11314,72	230	30000	0,85	1000	30	11309,52	20
10000	0,95	3000	20	11314,72	228	30000	0,85	2000	10	11309,52	60
10000	0,95	3000	30	11314,72	225	30000	0,85	2000	20	11309,52	55
20000	0,65	1000	10	11314,72	13	30000	0,85	2000	30	11309,52	50
20000	0,65	1000	20	11314,72	10	30000	0,85	3000	10	11309,52	85
20000	0,65	1000	30	11314,72	9	30000	0,85	3000	20	11309,52	80
20000	0,65	2000	10	11314,72	20	30000	0,85	3000	30	11309,52	75
20000	0,65	2000	20	11314,72	15	30000	0,95	1000	10	11309,52	90
20000	0,65	2000	30	11314,72	13	30000	0,95	1000	20	11309,52	85
20000	0,65	3000	10	11314,72	30	30000	0,95	1000	30	11309,52	80
20000	0,65	3000	20	11314,72	25	30000	0,95	2000	10	11309,52	185
20000	0,65	3000	30	11314,72	20	30000	0,95	2000	20	11309,52	180
20000	0,85	1000	10	11314,72	34	30000	0,95	2000	30	11309,52	175
20000	0,85	1000	20	11314,72	29	30000	0,95	3000	10	11309,52	236
20000	0,85	1000	30	11314,72	25	30000	0,95	3000	20	11309,52	233
20000	0,85	2000	10	11314,72	55	30000	0,95	3000	30	11309,52	230
20000	0,85	2000	20	11314,72	50						

Tablodaki sütunlara ait açıklamalar aşağıda verilmiştir:

T:Başlangıç Sıcaklığı, r:Soğutma Oranı, m: İterasyon Sayısı (Adım), T<sub>1</sub>:Minimum Sıcaklık, Z<sub>amaç</sub>:Taşıma Maliyeti (YTL), Çs:Çözüm Süresi (sn)

Başlangıç sıcaklık değerleri 10000 dereceden 30000 dereceye doğru arttıkça toplam iyileştirme değerlerinin de arttığı görülmektedir. Sıcaklık arttıkça daha iyi sonuçlara ulaşılmasının nedeni ise, ele alınan problem için başlangıç sıcaklığını yeterince yüksek tutulmasıyla problemin yerel optimum değerlerden kurtularak daha iyi sonuçlar araması olarak yorumlanabilir.

Modell-1 için yapılan 81 denemenin hemen hemen tamamında yakın sonuçların bulunması, bu model için optimal sonuçların bulunduğu sonucunu güçlendirmektedir.



Şekil 42. Modell-1 problemi için, çözüm sayısına göre taşıma maliyeti değerinin değişimi

TB algoritmasının optimum çözüme yaklaşım hızı Modell-1 için en iyi çözümün bulunması 53. çözüm sayısında olmuştur. 53. çözüm sayısında algoritma % 65,4'lük iyileştirme değerine ulaşmıştır.

### 3.7.2. Modell-1 İçin TB Algoritmasına Göre Deney Tasarımı Analizi

Çözümü yapılan Modell-1 için elde edilen sonuçlar Tablo 13'de verilmişti. Ancak elde edilen çözümleri etkileyen faktörlerin analiz edilmesi ve hangi faktörlerin etkisinin daha fazla olduğunun belirlenmesi, modelin daha iyi açıklanabilmesi açısından önem taşımaktadır. Bu nedenle deney tasarımı ve analizinin yapılması gerekmektedir. Geliştirilen Modell-1 için deney tasarımı çalışması yapılmıştır.

TB algoritmasının performansının Model1-1 üzerinde etkin olup olmadığını belirlemek için Çok yönlü varyans analizi kullanılmış ve bu faktörler için dikkate alınan düzeyler arasında anlamlı bir farklılığın olup olmadığı ise Duncan çoklu aralık testi ile değerlendirilmiştir. Bu teste ait sonuçlar Tablo 14'de verilmektedir.

Tablo14. Model1-1'in TB algoritması parametreleri için çok yönlü varyans analizi sonuçları

<b>Değişim Kaynağı</b>	<b>Kareler Toplamı</b>	<b>Serbestlik Derecesi</b>	<b>Ortalama Kare</b>	<b>F- değeri</b>	<b>P- değeri</b>
<b>Ana Etki</b>	11371,32	8	5685,661	187,562	0,000
T	9024,731	2	4512,366	148,856	0,000
r	1415,384	2	707,692	23,346	0,000
m	931,206	2	465,603	15,360	0,000
T <sub>1</sub>	0,000	2	0,000	0,000	1,000
<b>2-Ortak</b>	4170,936	24	1042,733	34,398	0,000
T* r	1894,938	4	473,734	15,628	0,000
T *m	1625,465	4	406,366	13,405	0,000
T *T <sub>1</sub>	0,000	4	0,000	0,000	1,000
r *T <sub>1</sub>	0,000	4	0,000	0,000	1,000
m*T <sub>1</sub>	0,000	4	0,000	0,000	1,000
r*m	650,533	4	162,633	5,365	0,001
<b>Hata</b>	1455,056	42			
<b>Toplam</b>	16997,314	80			

Tablo 14'de Model1-1'nin TB algoritması parametreleri için yapılan çok yönlü varyans analizi sonuçları görülmektedir. Çok yönlü varyans analizi ile ana etkiler ve en fazla ikili ortak etkiler incelenmiştir.

Tablo 14'deki P değerleri (önem düzeyleri) incelendiğinde, dikkate alınan bütün ana etkilerin minimum sıcaklık haricinde (T<sub>1</sub>) TB algoritması performansının Model1-1 üzerinde,  $\alpha = 0,05$  anlamlılık düzeyinde etkin olduğu görülmektedir. Ayrıca, başlangıç sıcaklığı(T)-minimum sıcaklık(T<sub>1</sub>), soğutma oranı(r)-minimum sıcaklık(T<sub>1</sub>), adım sayısı(m)-minimum sıcaklık(T<sub>1</sub>) arasındaki ikili ortak etki haricinde bütün ikili ortak etkiler anlamlı bulunmuştur.

Başlangıç sıcaklığı, soğutma oranı ve adım sayısı TB algoritmasının ana elemanlarıdır. Bunların çözüm üzerinde büyük etkileri görülmektedir. Bu durum model adına kazanım olarak değerlendirilebilir. Çünkü bu durumda, daha büyük çaplı odun hammaddesi taşıma problemlerinde dahi en iyi çözüme kısa sürede ulaşılabileceği görülmektedir.

Çok yönlü varyans analizi ile elde edilen bu sonuçlar, TB algoritmasının iyi bir performans göstermesi için tavlama planının ne kadar önemli olduğunu vurgulamaktadır. Çok yönlü varyans analizi ile TB algoritmasının performansı üzerinde etkin bulunan ana faktörlerin, varyans analizinde dikkate alınan düzeyleri arasında anlamlı bir farklılığın olup olmadığı yine Duncan çoklu aralık testi ile belirlenmiştir. Bu teste ait sonuçlar Tablo 15’de verilmektedir.

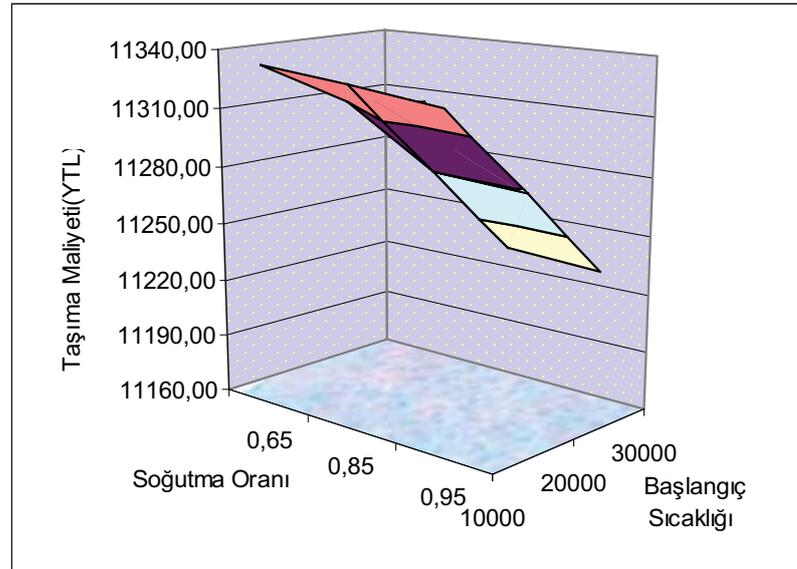
Tablo 15. Model1-1’nin TB algoritması parametreleri için Duncan çoklu aralık testi sonuçları

Faktörler	Düzeyleyler	Grup Ortalaması	Test Sonuçları	
			Kombinasyonlar	Anlamlı Farklılık
Başlangıç sıcaklığı (T)	10000	11333,434	10000-20000	Var
	20000	11312,965	10000-30000	Var
	30000	11309,520	20000-30000	Var
Soğutma Oranı (r)	0,65	11324,037	0,65-0,85	Var
	0,85	11318,028	0,65-0,95	Var
	0,95	11313,853	0,85-0,95	Var
İterasyon Sayısı (m)	1000	11323,394	1000-2000	Var
	2000	11316,802	1000-3000	Var
	3000	11315,723	2000-3000	Var
Minimum Sıcaklık (T <sub>1</sub> )	10	11318,640	10-20	Yok
	20	11318,630	10-30	Yok
	30	11318,640	20-30	Yok

TB algoritmasının Model1-1 için yapılan Duncan çoklu aralık testinin sonuçlarını incelediğimizde,  $\alpha = 0,05$  anlamlılık düzeyinde, minimum sıcaklığının düşük, orta ve maksimum düzeyleri anlamlı bir farklılığa sahip değilken, başlangıç sıcaklığı, soğutma oranı ve iterasyon sayısı parametreleri için seçilen 3 farklı düzeyin tüm kombinasyonları ise TB algoritmasının farklı bir performans göstermesine yol açmaktadır.

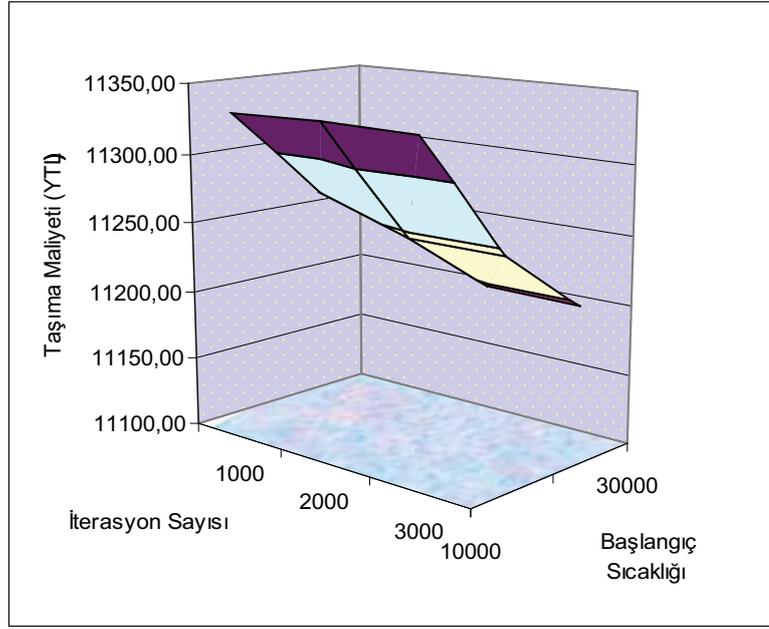
Şekil 43'de soğutma oranının 0,95 ile başlangıç sıcaklığının 30000 düzeylerinin, Şekil 44'de iterasyon sayısının 3000 ile başlangıç sıcaklığının 30000 düzeylerinin, Şekil 45'de soğutma oranının 0,95 ile iterasyon sayısının 3000 düzeylerinin taşıma maliyeti (YTL) değerini daha küçük yapmaktadır.

$$(Z_{\text{Min.Mal.}} = 11405,87 - 0,005BS - 33,39SO - 0,004I + 8,51 \cdot 10^{-8}BS^2, R^2 = 0,840) \quad (15)$$



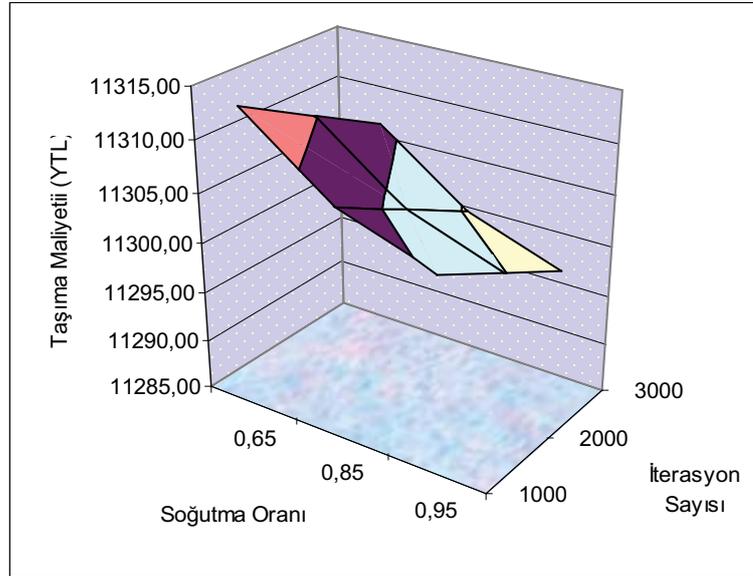
İterasyon:0

Şekil 43. Soğutma oranı ve başlangıç sıcaklığının taşıma maliyeti üzerindeki birlikte etkilerinin yüzey grafiği



Soğutma Oranı:0

Şekil 44. İterasyon sayısı ve başlangıç sıcaklığının taşıma maliyeti üzerindeki birlikte etkilerinin yüzey grafiği



Başlangıç Sıcaklığı:0

Şekil 45. Soğutma oranı ve iterasyon sayısının taşıma maliyeti üzerindeki birlikte etkilerinin yüzey grafiği

TB algoritması Model1-1 için yapılan çoklu varyans analizi ve Duncan çoklu aralık testine göre, bu algoritmanın parametreleri aşağıdaki gibi belirlenmiştir. Duncan testiyle düzeyleri birbirinden farklı bulunan parametrelerin değerinin seçilmesinde, algoritmanın daha kısa sürede çalışma durumu göz önünde tutulmuştur. Model1-1 için TB parametreleri;

$T = 30000$ ,  $r = 0,95$ ,  $m = 3000$ ,  $T_1 = 20$ 'dir.

### 3.7.3. Model1-1 İçin En uygun Alternatif Güzergâhlar ve Taşıma Maliyeti

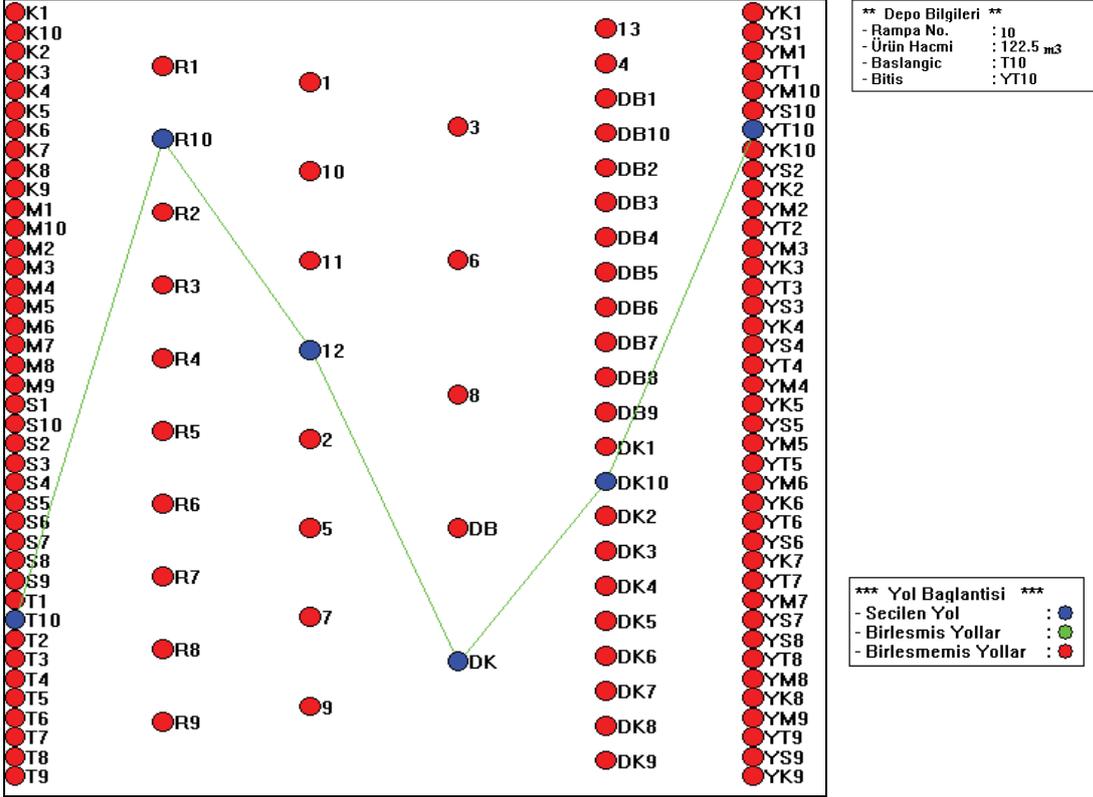
Model1-1 için en uygun TB parametreleri seçimi ( $T= 30000$ ,  $r= 0,95$ ,  $m= 3000$ ,  $T_1= 20$ ) kullanılarak elde edilen odun hammaddelerinin toplam taşıma maliyetini en aza indiren güzergâhlar Tablo 13’de gösterilmiştir. R10 numaralı rampada istiflenen bütün odun hammaddeleri Kovanlı deposuna ulaştırılırken, R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8 ve R9 numaralı rampalarda istiflenen bütün odun hammaddeleri komşu depo olan Bicik deposuna ulaştırılmıştır. Buna göre, toplam taşıma maliyeti 11309,52 YTL olarak hesaplanmıştır. Model1-1’de her bir odun hammaddesi için taşıma maliyetini en aza indiren güzergâhlar Tablo 16’da, farklı iki depoya en uygun gösterim modeli ise Şekil 46 ve Şekil 47’de gösterilmiştir.

Tablo 16. Model 1-1’in her bir odun hammaddesi için taşıma maliyetini en aza indiren güzergâhlar

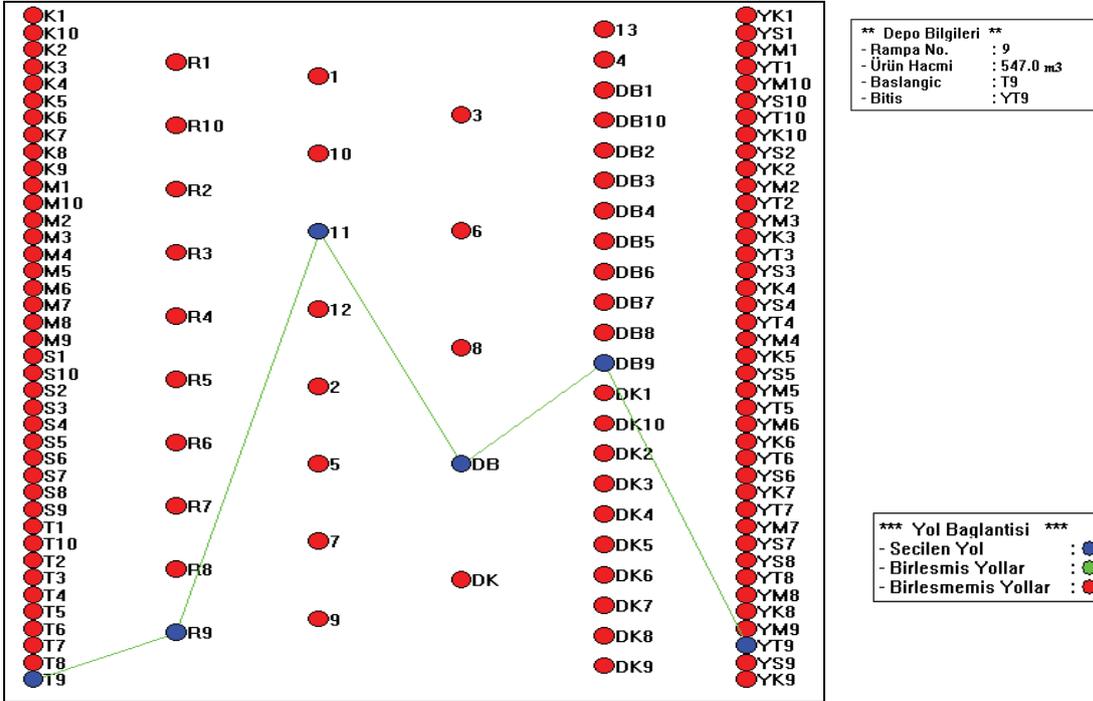
Odun Hammaddesi Hacmi (m <sup>3</sup> )	Giriş Düğüm Noktaları	En Uygun Güzergâhlar
473,7	T1	T1->R1->R2->1->R4->2->3->4->R5->5->6->9->11->DB->DB1->YT1
540,9	T2	T2->R2->1->R4->2->3->4->R5->5->6->9->11->DB->DB2->YT2
350,3	T3	T3->R3->1->R4->2->3->4->R5->5->6->9->11->DB->DB3->YT3
84,3	T4	T4->R4->2->3->4->R5->5->6->9->11->DB->DB4->YT4
943,0	T5	T5->R5->5->6->9->11->DB->DB5->YT5
83,4	T6	T6->R6->R7->7->8->6->9->11->DB->DB6->YT6
222,8	T7	T7->R7->7->8->6->9->11->DB->DB7->YT7
308,5	T8	T8->R8->10->R9->11->DB->DB8->YT8
547,0	T9	T9->R9->11->DB->DB9->YT9
122,5	T10	T10->R10->12->DK->DK10->YT10
34,4	S1	S1->R1->R2->1->R4->2->3->4->R5->5->6->9->11->DB->DB1->YS1
114,7	S2	S2->R2->1->R4->2->3->4->R5->5->6->9->11->DB->DB2->YS2
202,0	S3	S3->R3->1->R4->2->3->4->R5->5->6->9->R10->12->DB->DB3->YS3
201,4	S4	S4->R4->2->3->4->R5->5->6->9->11->DB->DB4->YS4
236,7	S5	S5->R5->5->6->9->11->DB->DB5->YS5
12,6	S6	S6->R6->R7->7->8->6->9->11->DB->DB6->YS6
70,0	S7	S7->R7->7->8->6->9->11->DB->DB7->YS7
40,6	S8	S8->R8->10->R9->11->DB->DB8->YS8
25,9	S9	S9->R9->11->DB->DB9->YS9

Tablo 16' nin devamı

31,1	S10	S10->R10->12->DK->DK10->YS10
58,9	M1	M1->R1->R2->1->R4->2->3->4->R5->5->6->9->R10->12->DB->DB1->YM1
10,2	M2	M2->R1->1->R4->2->3->4->R5->5->6->9->11->DB->DB2->YM2
37,8	M3	M3->R3->1->R4->2->3->4->R5->5->6->9->11->DB->DB3->YM3
31,0	M4	M4->R4->2->3->4->R5->5->6->9->R10->DB->DB4->YM4
238,6	M5	M5->R5->5->6->9->11->DB->DB5->YM5
25,9	M6	M6->R6->R7->7->8->6->9->11->DB->DB6->YM6
31,6	M7	M7->R7->7->8->6->9->11->DB->DB7->YM7
17,9	M8	M8->R8->10->R9->11->DB->DB8->YM8
89,3	M9	M9->R9->11->DB->DB9->YM9
30,7	M10	M10->R10->9->11->DK->DK10->YM10
14,5	K1	K1->R1->R2->1->R4->2->3->4->R5->5->6->9->11->DB->DB1->YK1
13,1	K2	K2->R2->1->R4->2->3->4->R5->5->6->9->R10->DB->DB2->YK2
13,7	K3	K3->R3->1->R4->2->3->4->R5->5->6->9->11->DB->DB3->YK3
11,8	K4	K4->R4->2->3->4->R5->5->6->9->11->DB->DB4->YK4
47,8	K5	K5->R5->5->6->9->11->DB->DB5->YK5
10,3	K6	K6->R6->R7->7->8->6->9->11->DB->DB6->YK6
10,8	K7	K7->R7->7->8->6->9->11->DB->DB7->YK7
11,8	K8	K8->R8->10->R9->11->DB->DB8->YK8
10,2	K9	K9->R9->11->DB->DB9->YK9
15,8	K10	K10->R10->9->11->DK->DK10->YK10



Şekil 46. T10 odun hammaddesinin R10 rampasından DK deposuna taşıma maliyetini en aza indiren güzergâh



Şekil 47. T9 odun hammaddesinin R9 rampasından DB deposuna taşıma maliyetini en aza indiren güzergâh

### 3.8. Model1-2 İçin Ağ Analizine Ait Bulgular

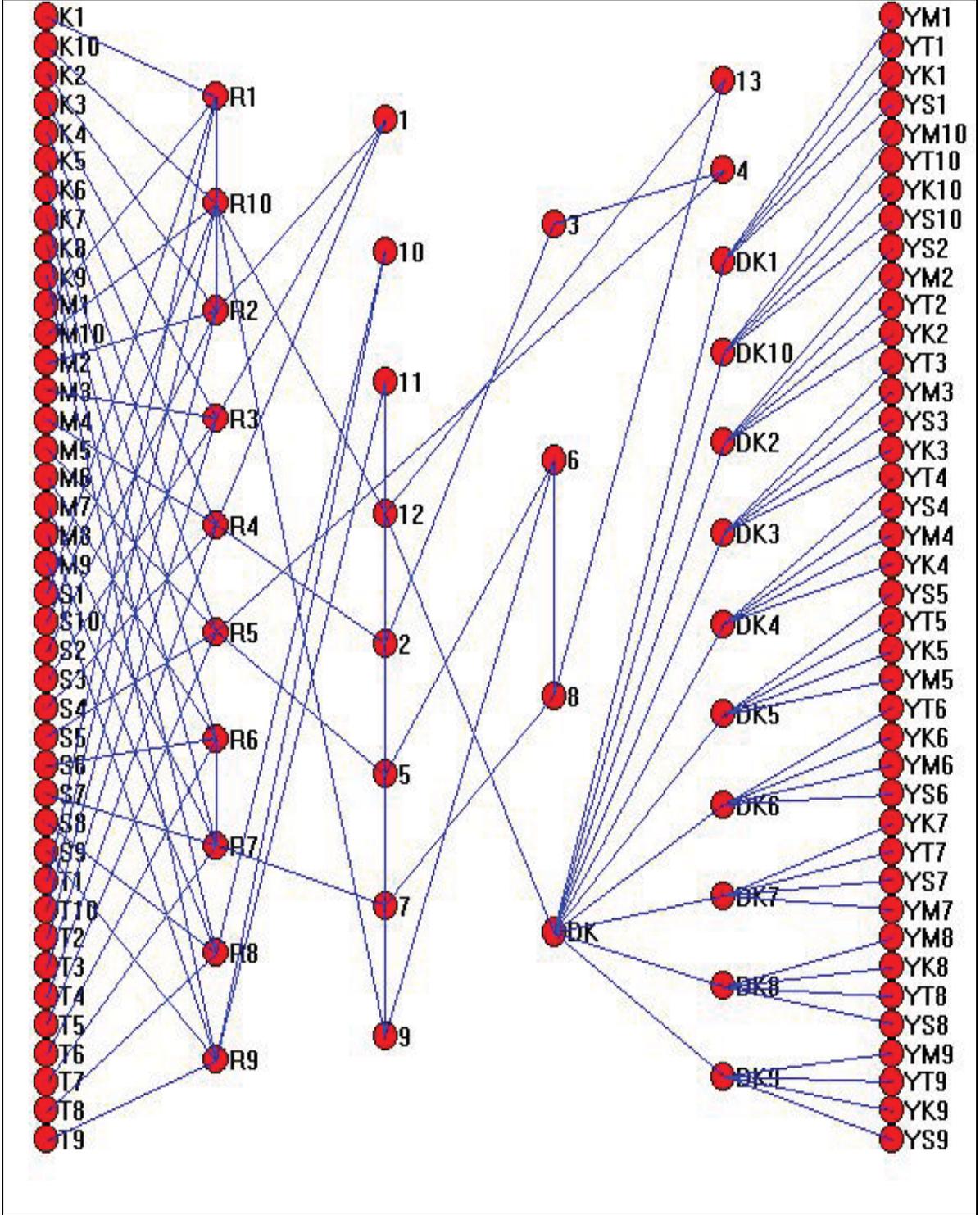
Model1-2 için yol bilgileri “Yol Editor” tablosuna (Şekil 48) ve orman depolarına ulaşan odun hammaddeleri bilgileri “Depo Editor” tablosuna (Şekil 49) girilerek Şekil 50’de gösterilen Model1-2 için yol ağ sistemi geliştirilmiştir.

Sıra	Başlangıç Düğümü	Bitiş Düğümü	Değ. Maliyet (YTL/m3/Yol)	Sabit Maliyet (YTL/Yol)	İndeks
1	R1	R2	0.34	0.00	0.00
2	R2	1	0.07	0.00	0.00
3	R3	1	0.30	0.00	0.00
4	1	R4	0.14	0.00	0.00
5	R4	2	0.16	0.00	0.00
6	3	4	0.22	0.00	0.00
7	4	R5	0.30	0.00	0.00
8	R5	5	0.11	0.00	0.00
9	R6	R7	0.46	0.00	0.00
10	R7	7	0.57	0.00	0.00
11	5	6	0.12	0.00	0.00
12	8	6	0.13	0.00	0.00
13	6	9	0.25	0.00	0.00
14	9	R10	0.24	0.00	0.00
15	R10	9	0.24	0.00	0.00
16	12	DK	0.97	0.00	0.00
17	DK	DK1	0.00	0.00	0.00
18	DK	DK2	0.00	0.00	0.00
19	DK	DK3	0.00	0.00	0.00
20	DK	DK4	0.00	0.00	0.00
21	DK	DK5	0.00	0.00	0.00
22	DK	DK6	0.00	0.00	0.00
23	DK	DK7	0.00	0.00	0.00
24	DK	DK8	0.00	0.00	0.00
25	DK	DK9	0.00	0.00	0.00
26	DK	DK10	0.00	0.00	0.00
27	DK1	YT1	0.00	0.00	0.00
28	DK1	YS1	0.00	0.00	0.00
29	DK1	YM1	0.00	0.00	0.00
30	DK1	YK1	0.00	0.00	0.00

Şekil 48. Model1-2’ye ait yol verileri

Sıra	Giriş Düğümü	Bitiş Düğümü	Ürün Hacmi (m3)	Üretim Yılı
1	T1	YT1	473.69	1
2	S1	YS1	34.41	1
3	M1	YM1	58.90	1
4	K1	YK1	14.48	1
5	T2	YT2	540.88	1
6	S2	YS2	114.66	1
7	M2	YM2	10.23	1
8	K2	YK2	3.07	1
9	T3	YT3	350.28	1
10	S3	YS3	201.99	1
11	M3	YM3	37.81	1
12	K3	YK3	13.66	1
13	T4	YT4	84.35	1
14	S4	YS4	201.99	1
15	M4	YM4	31.04	1
16	K4	YK4	11.78	1
17	T5	YT5	942.96	1
18	S5	YS5	236.67	1
19	M5	YM5	238.58	1
20	K5	YK5	47.82	1
21	T6	YT6	83.45	1
22	S6	YS6	12.62	1
23	M6	YM6	25.94	1
24	K6	YK6	0.86	1
25	T7	YT7	222.78	1
26	S7	YS7	70.00	1
27	M7	YM7	31.56	1
28	K7	YK7	9.10	1
29	T8	YT8	308.50	1

Şekil 49. Model1-2 için satış depolarına ulaşan odun hammaddesi verileri



Şekil 50. Model1-2 için geliştirilen taşıma güzergâhları

R1, R2,.....:Rampa simgesi, 1,2,3.....:Yol ağı düğümleri (kodları)

T1, S1, M1, K1,.....: Odun hammaddeleri (Tomruk, Sanayi Odunu, Maden Direği, Kağıtlık Odun)

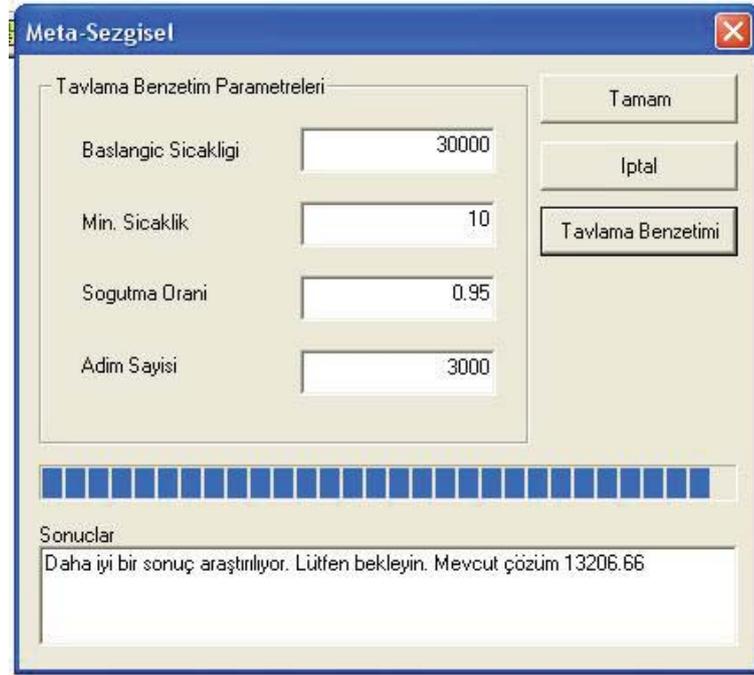
DK:Kovanlı Orman Deposu

DK1, DB1,.....: Rampalardan gelen odun hammaddeleri yapay depo yeri

YT1,YM1,YS1,YK1.....:Hangi rampadan geldiğini gösteren dört farklı odun hammaddeleri simgesi

### 3.8.1. Model1-2 İçin TB Algoritmasına göre Deneysel Bulgular ve Tartışması

Model1-2 problemi için 81 adet zm yapılmıştır ve en iyi sonucu veren denemeler rapor edilmiştir (Şekil 51). Model1-2 için yapılan 81 farklı deneme ve bulunan zmler ile kullanılan parametreler Tablo 17’de verilmiştir. Ayrıca Model1-2 problemine ait zm sayısına göre taşıma maliyeti değerinin değişimi Şekil 52’de verilmiştir.



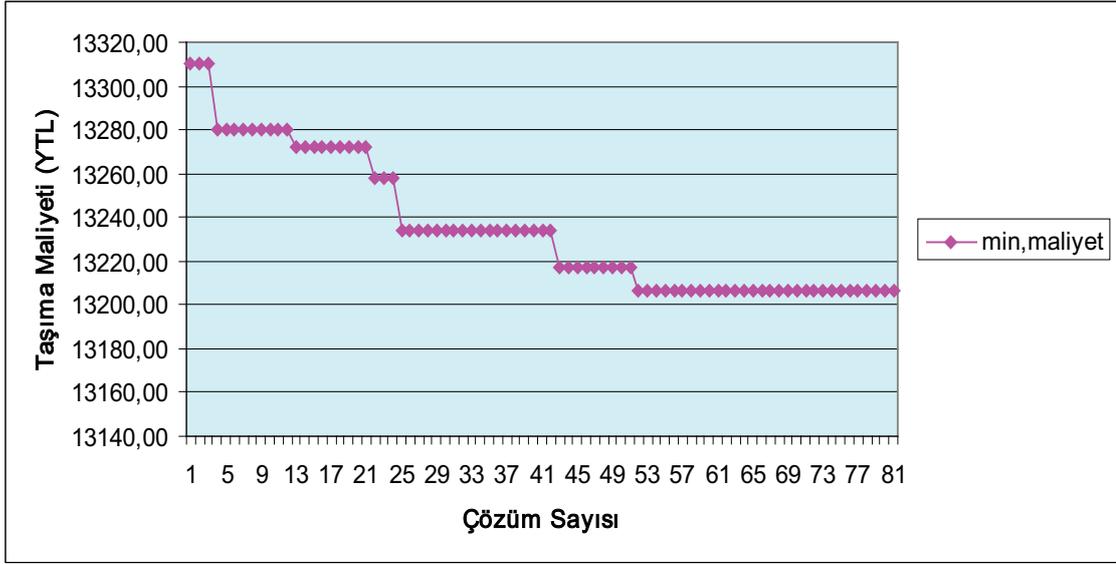
Şekil 51. Model1-2 probleminin TB parametreleri ile zm

Tablo 17. Model1–2 problemi için yapılan denemeler ve sonuçları

T	r	M	T <sub>1</sub>	Z <sub>amaç</sub> (YTL)	s (sn)	T	r	m	T <sub>1</sub>	Z <sub>amaç</sub> (YTL)	s (sn)
10000	0,65	1000	10	13310,56	12	20000	0,85	2000	30	13217,19	45
10000	0,65	1000	20	13310,56	9	20000	0,85	3000	10	13217,19	80
10000	0,65	1000	30	13310,56	8	20000	0,85	3000	20	13217,19	75
10000	0,65	2000	10	13280,53	22	20000	0,85	3000	30	13217,19	70
10000	0,65	2000	20	13280,53	17	20000	0,95	1000	10	13217,19	85
10000	0,65	2000	30	13280,53	13	20000	0,95	1000	20	13217,19	80
10000	0,65	3000	10	13280,53	30	20000	0,95	1000	30	13217,19	75
10000	0,65	3000	20	13280,53	26	20000	0,95	2000	10	13206,66	156
10000	0,65	3000	30	13280,53	24	20000	0,95	2000	20	13206,66	151

Tablo 17'nin devamı

10000	0,85	1000	10	13280,53	25	20000	0,95	2000	30	13206,66	146
10000	0,85	1000	20	13280,53	23	20000	0,95	3000	10	13206,66	233
10000	0,85	1000	30	13280,53	21	20000	0,95	3000	20	13206,66	230
10000	0,85	2000	10	13272,27	56	20000	0,95	3000	30	13206,66	228
10000	0,85	2000	20	13272,27	51	30000	0,65	1000	10	13206,66	15
10000	0,85	2000	30	13272,27	46	30000	0,65	1000	20	13206,66	12
10000	0,85	3000	10	13272,27	85	30000	0,65	1000	30	13206,66	10
10000	0,85	3000	20	13272,27	80	30000	0,65	2000	10	13206,66	25
10000	0,85	3000	30	13272,27	75	30000	0,65	2000	20	13206,66	20
10000	0,95	1000	10	13272,27	80	30000	0,65	2000	30	13206,66	15
10000	0,95	1000	20	13272,27	75	30000	0,65	3000	10	13206,66	33
10000	0,95	1000	30	13272,27	70	30000	0,65	3000	20	13206,66	30
10000	0,95	2000	10	13258,24	155	30000	0,65	3000	30	13206,66	27
10000	0,95	2000	20	13258,24	150	30000	0,85	1000	10	13206,66	30
10000	0,95	2000	30	13258,24	145	30000	0,85	1000	20	13206,66	25
10000	0,95	3000	10	13233,72	230	30000	0,85	1000	30	13206,66	20
10000	0,95	3000	20	13233,72	228	30000	0,85	2000	10	13206,66	60
10000	0,95	3000	30	13233,72	225	30000	0,85	2000	20	13206,66	55
20000	0,65	1000	10	13233,72	13	30000	0,85	2000	30	13206,66	50
20000	0,65	1000	20	13233,72	10	30000	0,85	3000	10	13206,66	85
20000	0,65	1000	30	13233,72	9	30000	0,85	3000	20	13206,66	80
20000	0,65	2000	10	13233,72	20	30000	0,85	3000	30	13206,66	75
20000	0,65	2000	20	13233,72	15	30000	0,95	1000	10	13206,66	90
20000	0,65	2000	30	13233,72	13	30000	0,95	1000	20	13206,66	85
20000	0,65	3000	10	13233,72	30	30000	0,95	1000	30	13206,66	80
20000	0,65	3000	20	13233,72	25	30000	0,95	2000	10	13206,66	185
20000	0,65	3000	30	13233,72	20	30000	0,95	2000	20	13206,66	180
20000	0,85	1000	10	13233,72	34	30000	0,95	2000	30	13206,66	175
20000	0,85	1000	20	13233,72	29	30000	0,95	3000	10	13206,66	236
20000	0,85	1000	30	13233,72	25	30000	0,95	3000	20	13206,66	233
20000	0,85	2000	10	13233,72	55	30000	0,95	3000	30	13206,66	230
20000	0,85	2000	20	13233,72	50						



Şekil 52. Model1-2 probleminin, çözüm sayısına göre taşıma maliyeti değerinin değişimi

TB algoritmasının optimum çözüme yaklaşım hızı, Model1-2 için en iyi çözümün bulunması 50. çözüm sayısında olmuştur. 50. çözüm sayısında algoritma % 61,7'lik iyileştirme göstermiştir.

### 3.8.2. Model1-2 İçin TB Algoritmasına Göre Deney Tasarımı Analizi

TB algoritmasının performansının Model1-2 üzerinde etkin olup olmadığını belirlemek için çok yönlü varyans analizi kullanılmış ve bu faktörler için dikkate alınan düzeyler arasında anlamlı bir farklılığın olup olmadığı ise Duncan çoklu aralık testi ile değerlendirilmiştir. Bu teste ait sonuçlar Tablo 18'de verilmektedir.

Tablo18. Model1-2'nin TB algoritması parametreleri için çok yönlü varyans analizi sonuçları

Değişim Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kare	F- değeri	P- değeri
<b>Ana Etki</b>	70970,36	8	35485,18	1665,877	0,000
T	64386,230	2	32193,115	1511,328	0,000
r	4780,055	2	2390,027	112,202	0,000
m	1804,074	2	902,037	42,347	0,000
T <sub>1</sub>	0,000	2	0,000	0,000	1,000
<b>2-Ortak</b>	5131,105	24	1282,776	60,221	0,000
T *r	2959,226	4	739,806	34,731	0,000
T *m	1770,153	4	442,538	20,775	0,000
T *T <sub>1</sub>	0,000	4	0,000	0,000	1,000
r *T <sub>1</sub>	0,000	4	0,000	0,000	1,000
m *T <sub>1</sub>	0,000	4	0,000	0,000	1,000
r*m	401,726	4	100,432	4,715	0,003
<b>Hata</b>	1022,458	48			
<b>Toplam</b>	77123,922	80			

Tablo 18'de Model1-2'nin TB algoritması parametreleri için yapılan çok yönlü varyans analizi sonuçları görülmektedir. Varyans analizi ile ana etkiler ve en fazla ikili ortak etkiler incelenmiştir.

Tablo 18'deki P değerleri (önem düzeyleri) incelendiğinde, dikkate alınan bütün ana etkilerin minimum sıcaklık haricinde(T<sub>1</sub>) TB algoritmasının performansının Model1-2 üzerinde,  $\alpha = 0,05$  anlamlık düzeyinde etkin olduğu görülmektedir. Ayrıca, başlangıç sıcaklığı(T)-minimum sıcaklık(T<sub>1</sub>), soğutma oranı(r)-minimum sıcaklık(T<sub>1</sub>), adım sayısı(m)-minimum sıcaklık(T<sub>1</sub>) arasındaki ikili ortak etki haricinde bütün ikili ortak etkiler anlamlı bulunmuştur. Çok yönlü varyans analizi ile elde edilen bu sonuçlar, TB algoritmasının iyi bir performans göstermesi için tavlama planının ne kadar önemli olduğunu vurgulamaktadır.

Çok yönlü varyans analizi ile TB algoritmasının performansı üzerinde etkin bulunan ana faktörlerin, varyans analizinde dikkate alınan düzeyleri arasında anlamlı bir farklılığın

olup olmadığı yine Duncan çoklu aralık testi ile belirlenmiştir. Bu teste ait sonuçlar Tablo 19’da verilmektedir.

Tablo19. Model1-2’nin TB algoritması parametreleri için Duncan çoklu aralık testi sonuçları

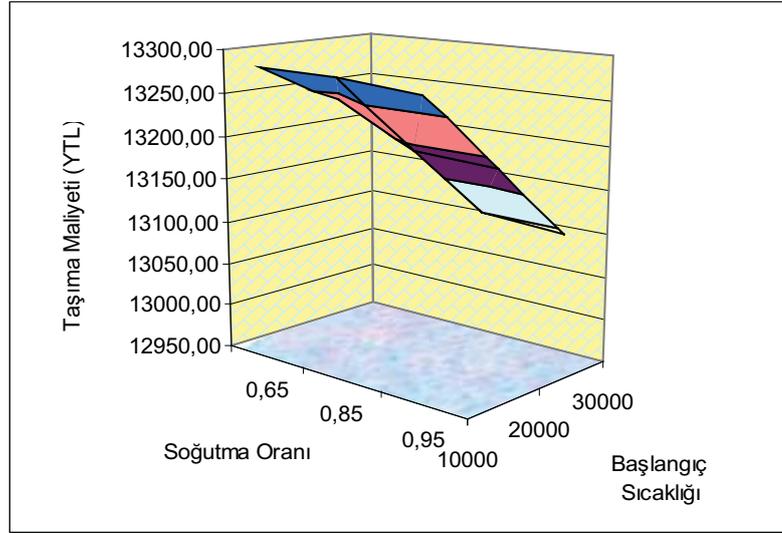
Faktörler	Düzeyley	Grup Ortalaması	Test Sonuçları	
			Kombinasyonlar	Anlamlı Farklılık
Başlangıç sıcaklığı (T)	10000	13273,435	10000-20000	Var
	20000	13225,187	10000-30000	Var
	30000	13206,520	20000-30000	Var
Soğutma Oranı (r)	0,65	13243,593	0,65-0,85	Var
	0,85	13236,584	0,65-0,95	Var
	0,95	13224,965	0,85-0,95	Var
İterasyon Sayısı (m)	1000	13240,838	1000-2000	Var
	2000	13235,025	1000-3000	Var
	3000	13229,278	2000-3000	Var
Minimum Sıcaklık (T <sub>1</sub> )	10	13235,047	10-20	Yok
	20	13235,047	10-30	Yok
	30	13235,037	20-30	Yok

TB algoritmasının Model1-2 için yapılan Duncan çoklu aralık testinin sonuçlarını incelediğimizde,  $\alpha = 0,05$  anlamlılık düzeyinde, minimum sıcaklığının düşük, orta ve maksimum düzeyleri anlamlı bir farklılığa sahip değilken, başlangıç sıcaklığı, soğutma oranı ve iterasyon sayısı parametreleri için seçilen 3 farklı düzeyin tüm kombinasyonları ise TB algoritmasının farklı bir performans göstermesine yol açmaktadır.

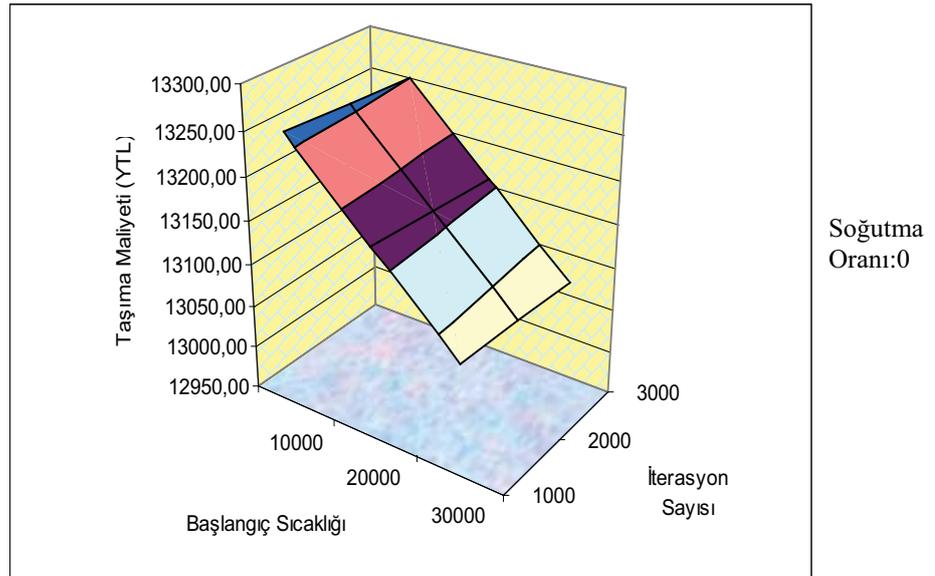
Şekil 53’de soğutma oranının 0,95 ile başlangıç sıcaklığının 30000 düzeylerinin, Şekil 54’de iterasyon sayısının 3000 ile başlangıç sıcaklığının 30000 düzeylerinin, Şekil 55’de soğutma oranının 0,95 ile iterasyon sayısının 3000 düzeylerinin taşıma maliyeti (YTL) değerini daha küçük yapmaktadır.

$$(Z_{\text{Min.Mal.}} = 13410,38 - 0,009BS - 58,23SO - 0,006I + 1,48^{-07}BS^2, R^2 = 0,906)$$

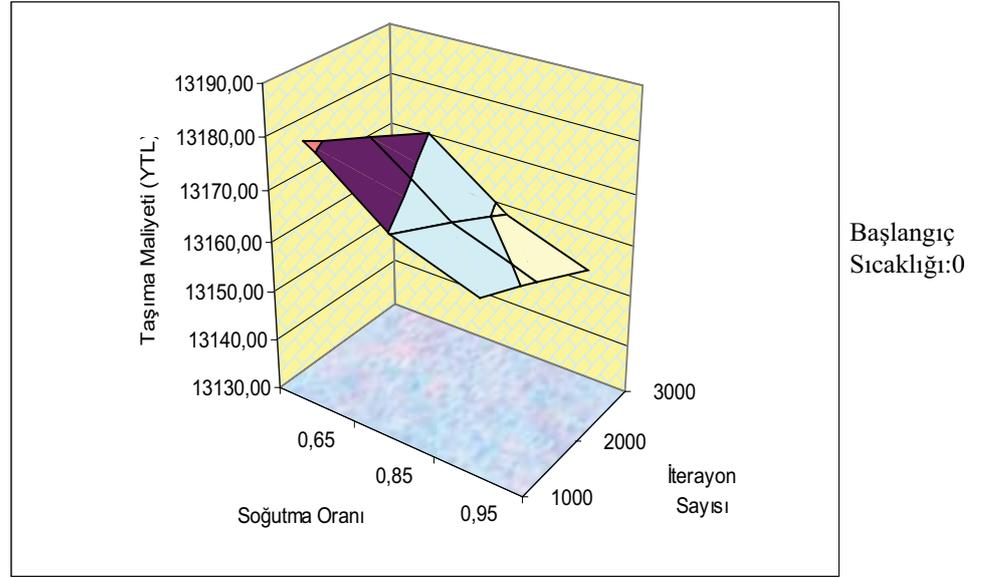
(16)



Şekil 53. Soğutma oranı ve başlangıç sıcaklığının taşıma maliyeti üzerindeki birlikte etkilerinin yüzey grafiği



Şekil 54. İterasyon sayısı ve başlangıç sıcaklığının taşıma maliyeti üzerindeki birlikte etkilerinin yüzey grafiği



Şekil 55. Soğutma oranı ve iterasyon sayısının taşıma maliyeti üzerindeki birlikte etkilerinin yüzey grafiği

TB algoritması Model1-2 için yapılan Çok yönlü varyans analizi ve Duncan çoklu aralık testine göre, bu algoritmanın parametreleri aşağıdaki gibi belirlenmiştir. Duncan testiyle düzeyleri birbirinden farksız bulunan parametrelerin değerinin seçilmesinde, algoritmanın daha kısa sürede çalışma durumu göz önünde tutulmuştur. Model1-2 için TB parametreleri;

$$T= 30000, r= 0,95, m= 3000, T_1= 30 \text{ dir.}$$

### 3.8.3. Model1-2 İçin En uygun Alternatif Güzergâhlar ve Taşıma Maliyeti

Model1-2 için en uygun TB parametreleri seçimi ( $T= 30000, r= 0,95, m= 3000, T_1= 30$ ) kullanılarak elde edilen odun hammaddelerinin toplam taşıma maliyetini en aza indiren güzergâhlar Tablo 20'de gösterilmiştir.

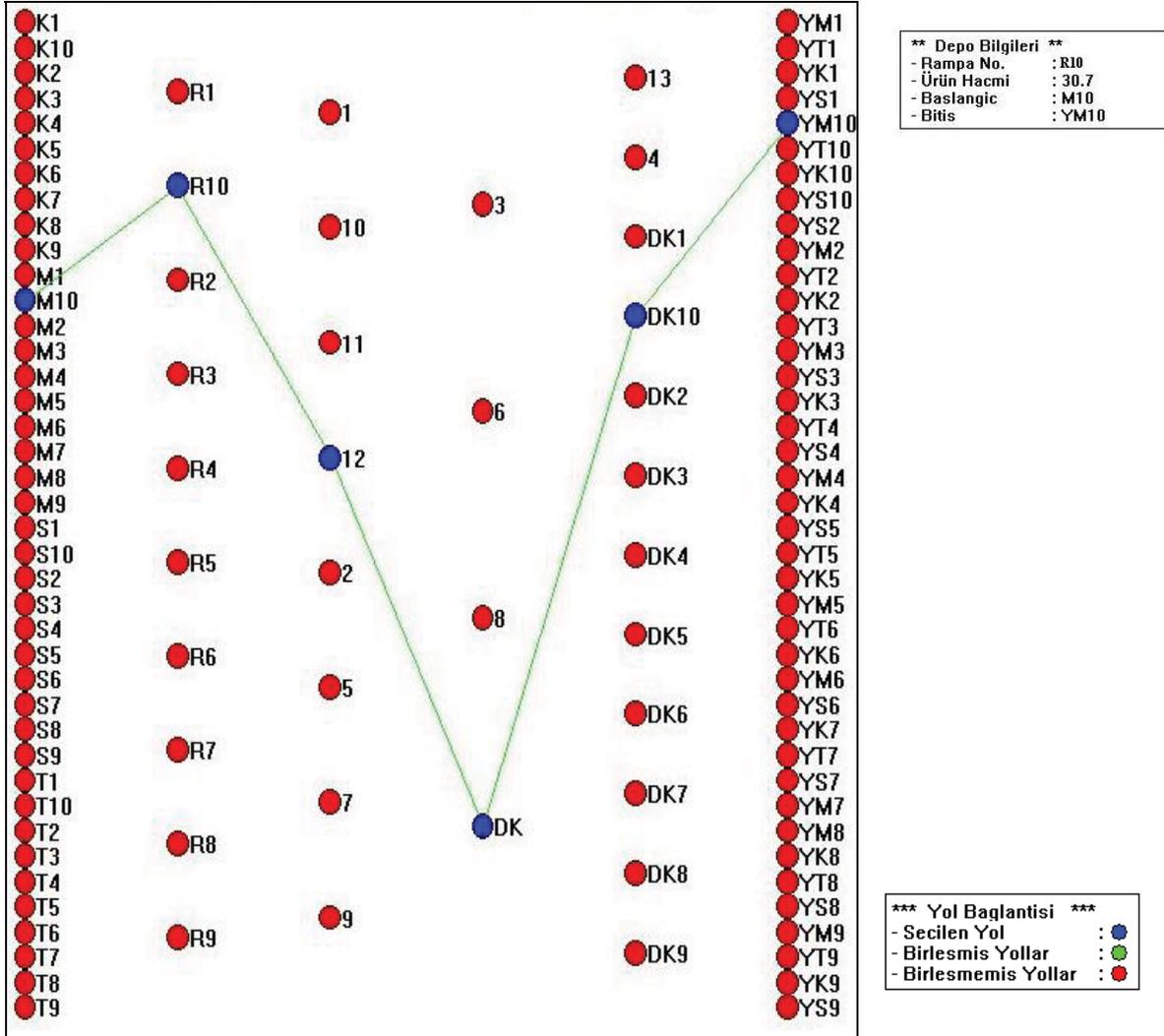
Bu alternatifte Bicik deposuna nakliyata izin verilmediğinden, istiflenen bütün odun hammaddeleri Kovanlı deposuna ulaştırılmıştır. Buna göre, toplam taşıma maliyeti 13206,66 YTL olarak hesaplanmıştır. Tek depoya en uygun gösterimi ise şekil 56'da gösterilmiştir.

Tablo 20. Model 1-2 için her bir odun hammaddeleri için taşıma maliyetini en aza indiren güzergâhlar

Odun Hammaddesi Hacmi (m <sup>3</sup> )	Giriş Düğüm Noktaları	En Uygun Güzergâhlar
473,7	T1	T1->R1->R2->1->R4->2->3->4->R5->5->6->9->R10->12->DK->DK1->YT1
540,9	T2	T2->R2->1->R4->2->3->4->R5->5->6->9->R10->12->DK->DK2->YT2
350,3	T3	T3->R3->1->R4->2->3->4->R5->5->6->9->R10->12->DK->DK3->YT3
84,3	T4	T4->R4->2->3->4->R5->5->6->9->R10->12->DK->DK4->YT4
943,0	T5	T5->R5->5->6->9->R10->12->DK->DK5->YT5
83,4	T6	T6->R6->R7->7->8->6->9->R10->12->DK->DK6->YT6
222,8	T7	T7->R7->7->8->6->9->R10->12->DK->DK7->YT7
308,5	T8	T8->R8->10->R9->11->9->R10->12->DK->DK8->YT8
547,0	T9	T9->R9->11->9->R10->12->DK->DK9->YT9
122,5	T10	T10->R10->12->DK->DK10->YT10
34,4	S1	S1->R1->R2->1->R4->2->3->4->R5->5->6->9->R10->12->DK->DK1->YS1
114,7	S2	S2->R2->1->R4->2->3->4->R5->5->6->9->R10->12->DK->DK2->YS2
202,0	S3	S3->R3->1->R4->2->3->4->R5->5->6->9->R10->12->DK->DK3->YS3
201,4	S4	S4->R4->2->3->4->R5->5->6->9->R10->12->DK->DK4->YS4
236,7	S5	S5->R5->5->6->9->R10->12->DK->DK5->YS5
12,6	S6	S6->R6->R7->7->8->6->9->R10->12->DK->DK6->YS6
70,0	S7	S7->R7->7->8->6->9->R10->12->DK->DK7->YS7
40,6	S8	S8->R8->10->R9->11->9->R10->12->DK->DK8->YS8
25,9	S9	S9->R9->11->9->R10->12->DK->DK9->YS9
31,1	S10	S10->R10->12->DK->DK10->YS10
58,9	M1	M1->R1->R2->1->R4->2->3->4->R5->5->6->9->R10->12->DK->DK1->YM1
10,2	M2	M2->R2->1->R4->2->3->4->R5->5->6->9->R10->12->DK->DK2->YM2
37,8	M3	M3->R3->1->R4->2->3->4->R5->5->6->9->R10->12->DK->DK3->YM3
31,0	M4	M4->R4->2->3->4->R5->5->6->9->R10->12->DK->DK4->YM4
238,6	M5	M5->R5->5->6->9->R10->12->DK->DK5->YM5
25,9	M6	M6->R6->R7->7->8->6->9->R10->12->DK->DK6->YM6
31,6	M7	M7->R7->7->8->6->9->R10->12->DK->DK7->YM7
17,9	M8	M8->R8->10->R9->11->9->R10->12->DK->DK8->YM8
89,3	M9	M9->R9->11->9->R10->12->DK->DK9->YM9
30,7	M10	M10->R10->12->DK->DK10->YM10
14,5	K1	K1->R1->R2->1->R4->2->3->4->R5->5->6->9->R10->12->DK->DK1->YK1
13,1	K2	K2->R2->1->R4->2->3->4->R5->5->6->9->R10->12->DK->DK2->YK2
13,7	K3	K3->R3->1->R4->2->3->4->R5->5->6->9->R10->12->DK->DK3->YK3
11,8	K4	K4->R4->2->3->4->R5->5->6->9->R10->12->DB->DB4->YK4

Tablo 20'nin devamı

47,8	K5	K5 -> R5 -> 5 -> 6 -> 9 -> R10 -> 12 -> DK -> DK5 -> YK5
10,3	K6	K6-> R6->R7->7->8->6->9->R10->12-> DK->DK6-> YK6
10,8	K7	K7-> R7-> 7->8->6->9->R10->12-> DK->DK7-> YK7
11,8	K8	K8 -> R8 -> 10 -> R9 -> 11 -> 9 -> R10 -> 12 -> DK -> DK8 -> YK8
10,2	K9	K9-> R9->11->9->R10 -> 12-> DK->DK9-> YK9
15,8	K10	K10 -> R10 -> 12 -> DK -> DK10 -> YK10



Şekil 56. M10 odun hammaddesinin R10 rampasından DK deposuna taşıma maliyetini en aza indiren güzergâh

### 3.9. Model2-1 için TB Algoritmasına göre Deneysel Bulgular ve Tartışması

Model 2’de toplam net kârı en yüksek olan güzergâh araştırılmıştır. Model2-1 problemi için seçilen faktörlerin oluşturduğu her kombinasyon düzeyinde rassal başlangıç çözümleri seçilerek 5 deneme yapılmıştır. Buna göre elde edilen toplam deneme sayısı  $405(=3^4 \times 5)$  olmuştur. Bunlardan 81 adedi en iyi sonucu veren denemeler olarak rapor edilmiştir. Model2-1’in TB parametreleri ile çözümü şekil 57’de gösterilmiştir. Model2-1 problemi için yapılan 81 farklı deneme ve bulunan çözümler ile kullanılan parametreler Tablo 21’de verilmiştir. Ayrıca Model2-1 problemine ait çözüm sayısına göre amaç fonksiyonu değerinin değişimi Şekil 58’de verilmiştir.

The screenshot shows a software window titled "Meta-Sezgisel" with a close button in the top right corner. The window is divided into several sections:

- Tavlama Benzetim Parametreleri**: A section containing four input fields with their respective values:
  - Baslangic Sicakligi: 20000
  - Min. Sicaklik: 20
  - Sogutma Orani: 0.85
  - Adim Sayisi: 2000
- Buttons**: Three buttons are located on the right side of the parameter section: "Tamam", "Iptal", and "Tavlama Benzetimi".
- Progress Bar**: A horizontal progress bar with 20 segments, mostly filled with blue, indicating the simulation's progress.
- Sonular**: A text box at the bottom containing the message: "Daha iyi bir sonuç araştırılıyor. Lütfen bekleyin. Mevcut çözüm -907159.31".

Şekil 57. Model2-1 probleminin TB parametreleri ile çözümü

Tablo 21. Model2-1 problemi için yapılan denemeler ve sonuçları

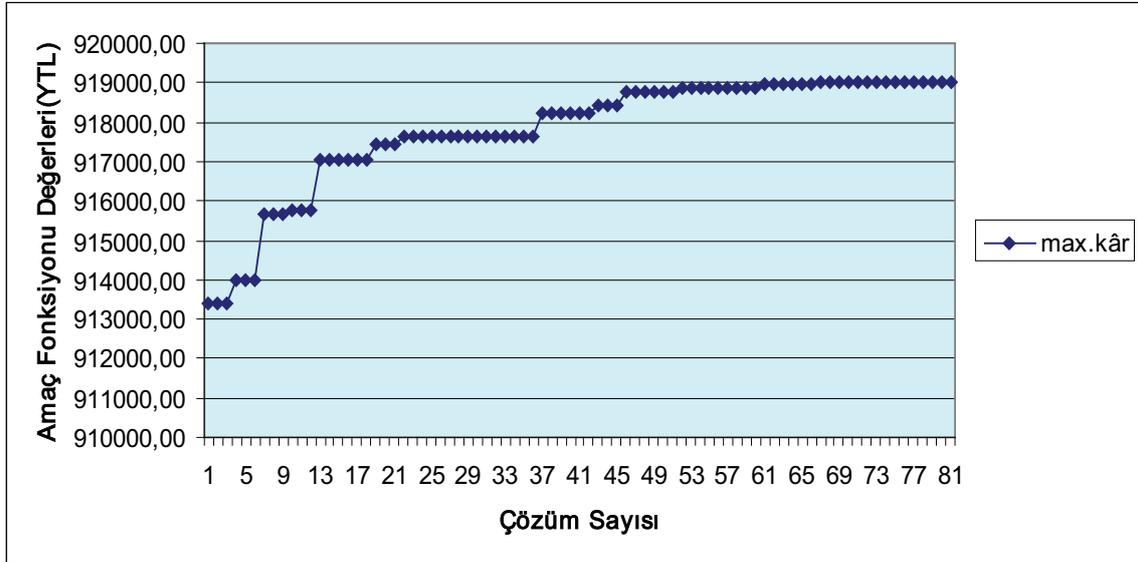
T	r	m	T <sub>1</sub>	Z <sub>amaç</sub> (YTL)	Çs (sn)	T	r	m	T <sub>1</sub>	Z <sub>amaç</sub> (YTL)	Çs (sn)
10000	0,65	1000	10	913418,20	12	20000	0,85	2000	30	918870,46	45
10000	0,65	1000	20	913418,20	9	20000	0,85	3000	10	918970,56	80
10000	0,65	1000	30	913418,20	8	20000	0,85	3000	20	918970,56	75
10000	0,65	2000	10	913978,20	22	20000	0,85	3000	30	918970,56	70
10000	0,65	2000	20	913978,20	17	20000	0,95	1000	10	918970,56	85
10000	0,65	2000	30	913978,20	13	20000	0,95	1000	20	918970,56	80
10000	0,65	3000	10	915667,53	30	20000	0,95	1000	30	918970,56	75
10000	0,65	3000	20	915667,53	26	20000	0,95	2000	10	918990,68	156
10000	0,65	3000	30	915667,53	24	20000	0,95	2000	20	918990,68	151
10000	0,85	1000	10	915772,57	25	20000	0,95	2000	30	918990,68	146
10000	0,85	1000	20	915772,57	23	20000	0,95	3000	10	918990,68	233
10000	0,85	1000	30	915772,57	21	20000	0,95	3000	20	918990,68	230
10000	0,85	2000	10	917046,47	56	20000	0,95	3000	30	918990,68	228
10000	0,85	2000	20	917046,47	51	30000	0,65	1000	10	918990,68	15
10000	0,85	2000	30	917046,47	46	30000	0,65	1000	20	918990,68	12
10000	0,85	3000	10	917046,47	85	30000	0,65	1000	30	918990,68	10
10000	0,85	3000	20	917046,47	80	30000	0,65	2000	10	918995,70	25
10000	0,85	3000	30	917046,47	75	30000	0,65	2000	20	918995,70	20
10000	0,95	1000	10	917453,75	80	30000	0,65	2000	30	918995,70	15
10000	0,95	1000	20	917453,75	75	30000	0,65	3000	10	918995,70	33
10000	0,95	1000	30	917453,75	70	30000	0,65	3000	20	918995,70	30
10000	0,95	2000	10	917653,85	155	30000	0,65	3000	30	918995,70	27
10000	0,95	2000	20	917653,85	150	30000	0,85	1000	10	918970,56	30
10000	0,95	2000	30	917653,85	145	30000	0,85	1000	20	918970,56	25
10000	0,95	3000	10	917653,85	230	30000	0,85	1000	30	918970,56	20
10000	0,95	3000	20	917653,85	228	30000	0,85	2000	10	918970,56	60
10000	0,95	3000	30	917653,85	225	30000	0,85	2000	20	918970,56	55
20000	0,65	1000	10	917653,85	13	30000	0,85	2000	30	918970,56	50
20000	0,65	1000	20	917653,85	10	30000	0,85	3000	10	918970,56	85
20000	0,65	1000	30	917653,85	9	30000	0,85	3000	20	918990,68	80
20000	0,65	2000	10	917653,85	20	30000	0,85	3000	30	918990,68	75
20000	0,65	2000	20	917653,85	15	30000	0,95	1000	10	918990,68	90

Tablo 21'in devamı

20000	0,65	2000	30	917653,85	13	30000	0,95	1000	20	918990,68	85
20000	0,65	3000	10	917653,85	30	30000	0,95	1000	30	918990,68	80
20000	0,65	3000	20	917653,85	25	30000	0,95	2000	10	918990,68	185
20000	0,65	3000	30	917653,85	20	30000	0,95	2000	20	918990,68	180
20000	0,85	1000	10	918215,43	34	30000	0,95	2000	30	918990,68	175
20000	0,85	1000	20	918215,43	29	30000	0,95	3000	10	918990,68	236
20000	0,85	1000	30	918215,43	25	30000	0,95	3000	20	918990,68	233
20000	0,85	2000	10	918215,43	55	30000	0,95	3000	30	918990,68	230
20000	0,85	2000	20	918215,43	50						

Tablodaki sütunlara ait açıklamalar aşağıda verilmiştir:

T:Başlangıç Sıcaklığı, r:Soğutma Oranı, m:Adım Sayısı(İterasyon),  $T_1$ :Minimum Sıcaklık,  $Z_{amaç}$ :Taşıma Maliyeti (YTL), Çs:Çözüm Süresi (sn)



Şekil 58. Model2-1 probleminin, çözüm sayısına göre amaç fonksiyonu değişimi

TB algoritmasının optimum çözüme yaklaşım hızı, Model2-1 için en iyi çözümün bulunması 61. çözüm sayısında olmuştur. 61. Çözüm sayısında algoritma % 75,3'lük iyileştirme göstermiştir.

### 3.9.1. Model2-1 İçin TB Algoritmasına Göre Deney Tasarımı Analizi

TB algoritmasının performansının Model2-1 üzerinde etkin olup olmadığını belirlemek için çok yönlü varyans analizi kullanılmış ve bu faktörler için dikkate alınan düzeyler arasında anlamlı bir farklılığın olup olmadığı ise Duncan oklu aralık testi ile değerlendirilmiştir. Bu teste ait sonuçlar Tablo 22’de verilmektedir.

Tablo 22. Model2-1’in TB algoritması parametreleri için çok yönlü varyans analizi sonuçları

Değişim Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kare	F- değeri	P- değeri
<b>Ana Etki</b>	145831275,130	8	72915637,565	1110,480	0,000
T	111897105,835	2	55948552,918	852,077	0,000
R	31058826,122	2	15529413,061	236,508	0,000
M	2875343,173	2	1437671,586	21,895	0,000
T <sub>1</sub>	0,000	2	0,000	0,000	1,000
<b>2-Ortak</b>	30130193,799	24	7532548,450	114,718	0,000
T* r	24481790,486	4	6120447,622	93,212	0,000
T* m	4146820,838	4	1036705,209	15,789	0,000
T* T <sub>1</sub>	0,000	4	0,000	0,000	1,000
r* T <sub>1</sub>	0,000	4	0,000	0,000	1,000
m* T <sub>1</sub>	0,000	4	0,000	0,000	1,000
r*m	1501582,475	4	375395,619	5,717	0,001
<b>Hata</b>	3151746,221	48			
<b>Toplam</b>	33281940,020	80			

Tablo 19’da Model2-1’nin TB algoritması parametreleri için yapılan çok yönlü varyans analizi sonuçları görülmektedir. Varyans analizi ile ana etkiler ve en fazla ikili ortak etkiler incelenmiştir.

Tablo 19’daki P değerleri (nem düzeyleri) incelendiğinde, dikkate alınan bütün ana etkilerin minimum sıcaklık haricinde (T<sub>1</sub>) TB algoritmasının performansının Model2-1 üzerinde,  $\alpha = 0,05$  anlamlılık düzeyinde etkin olduğu görülmektedir. Ayrıca, başlangıç sıcaklığı(T)-minimum sıcaklık(T<sub>1</sub>), soğutma oranı(r)-minimum sıcaklık(T<sub>1</sub>), adım sayısı(m)-minimum sıcaklık(T<sub>1</sub>) arasındaki ikili ortak etki haricinde bütün ikili ortak

etkiler anlamlı bulunmuştur. Çok yönlü varyans analizi ile elde edilen bu sonuçlar, TB algoritmasının iyi bir performans göstermesi için tavlama planının ne kadar önemli olduğunu vurgulamaktadır. Çok yönlü varyans analizi ile TB algoritmasının performansı üzerinde etkin bulunan ana faktörlerin, varyans analizinde dikkate alınan düzeyleri arasında anlamlı bir farklılığın olup olmadığı yine Duncan çoklu aralık testi ile belirlenmiştir. Bu teste ait sonuçlar Tablo 23’de verilmektedir.

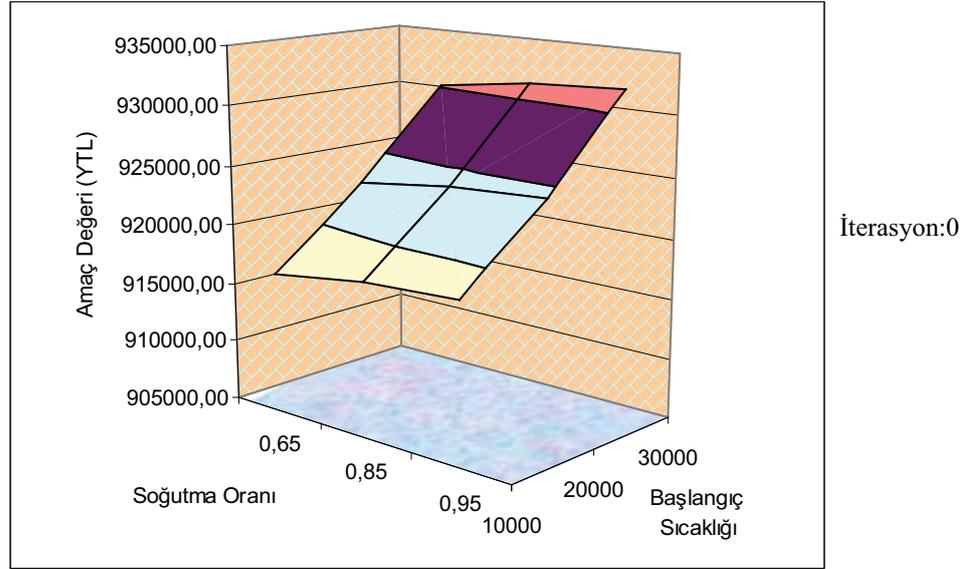
Tablo 23. Model2-1’in TB algoritması parametreleri için Duncan çoklu aralık testi sonuçları

Faktörler	Düzyerler	Grup Ortalaması	Test Sonuçları	
			Kombinasyonlar	Anlamlı Farklılık
Başlangıç sıcaklığı (T)	10000	916187,876	10000-20000	Var
	20000	918245,415	10000-30000	Var
	30000	918960,608	20000-30000	Var
Soğutma Oranı (r)	0,65	916970,773	0,65-0,85	Var
	0,85	917962,613	0,65-0,95	Var
	0,95	918460,514	0,85-0,95	Var
İterasyon Sayısı (m)	1000	917567,868	1000-2000	Var
	2000	917796,662	1000-3000	Var
	3000	918029,370	2000-3000	Var
Minimum Sıcaklık (T <sub>1</sub> )	10	917797,977	10-20	Yok
	20	917797,967	10-30	Yok
	30	917797,967	20-30	Yok

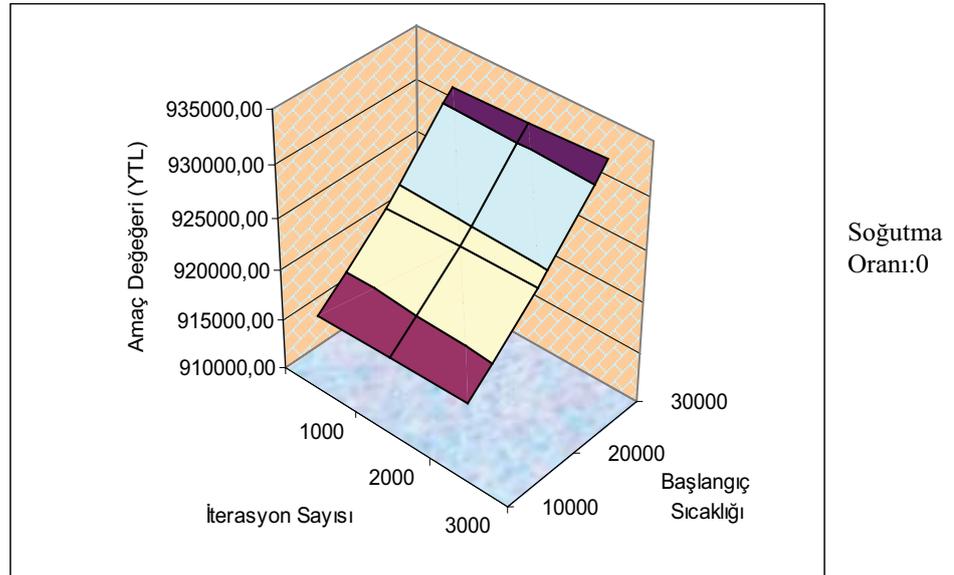
TB algoritmasının Model2-1 için yapılan Duncan çoklu aralık testinin sonuçlarını incelediğimizde,  $\alpha = 0,05$  anlamlılık düzeyinde, minimum sıcaklığının düşük, orta ve maksimum düzeyleri anlamlı bir farklılığa sahip değilken, başlangıç sıcaklığı, soğutma oranı ve iterasyon sayısı parametreleri için seçilen 3 farklı düzeyin tüm kombinasyonları ise TB algoritmasının farklı bir performans göstermesine yol açmaktadır.

Şekil 59’da soğutma oranının 0,95 ile başlangıç sıcaklığının 30000 düzeylerinin, Şekil 60’da iterasyon sayısının 3000 ile başlangıç sıcaklığının 30000 düzeylerinin, Şekil 61’de soğutma oranının 0,95 ile iterasyon sayısının 3000 düzeylerinin amaç fonksiyonu (YTL) değerini daha büyük yapmaktadır.

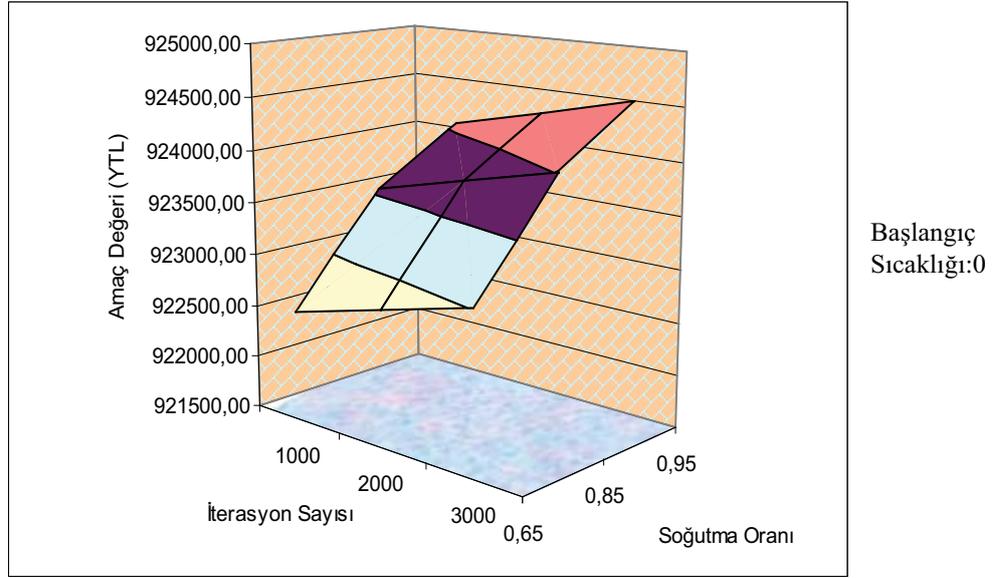
$$(Z_{\text{Max.Kar.}} = 908271,8 + 0,041BS + 4964,86SO + 0,023İ - 6,71 \cdot 10^{-6}BS^2, R^2 = 0,970) \quad (17)$$



Şekil 59. Soğutma oranı ve başlangıç sıcaklığının amaç değeri üzerindeki birlikte etkilerinin yüzey grafiği



Şekil 60. İterasyon sayısı ve başlangıç sıcaklığının amaç değeri üzerindeki birlikte etkilerinin yüzey grafiği



Şekil 61. Soğutma oranı ve iterasyon sayısının amaç değeri üzerindeki birlikte etkilerinin yüzey grafiği

TB algoritması Model2-1 için yapılan Çok yönlü varyans analizi ve Duncan çoklu aralık testine göre, bu algoritmanın parametreleri aşağıdaki gibi belirlenmiştir. Duncan testiyle düzeyleri birbirinden farklı bulunan parametrelerin değerinin seçilmesinde, algoritmanın daha kısa sürede çalışma durumu göz önünde tutulmuştur. Model2-1 için TB parametreleri;

$$T= 30000, r= 0,95, m= 3000, T_1= 10' \text{ dur.}$$

### 3.9.2. Model2-1 İçin En uygun Alternatif Güzergâhlar ve Taşıma Maliyeti

Model2-1 için en uygun TB parametreleri seçimi ( $T= 30000, r= 0,95, m= 3000, T_1= 10$ ) kullanılarak elde edilen odun hammaddelerinin taşımada net kârı eniyileyen güzergâhlar görülmektedir. Bu alternatifte Bicik deposuna nakliyatın izin verilmesine rağmen, R1, R2, R3, R4 ve R5 numaralı rampada istiflenen sanayi odunu hammaddeleri Kovanlı deposuna ulaştırılmıştır. Buna karşılık, diğer odun hammaddeleri Bicik deposuna ulaştırılmıştır. En uygun güzergâhlar Tablo 24'de gösterilmiştir.

Bunun nedeni, tomruk, maden direği ve kağıtlık odun hammaddelerinin Kovanlı deposundaki satış fiyatlarının Bicik deposundaki satış fiyatlarından sırası ile 4,66, 17,74 ve 8,15 YTL yüksek olmasıdır. Sanayi odununun satış fiyatı ise sadece 1,38YTL daha yüksektir. Buna göre, toplam net kâr 918990,68 YTL olarak hesaplanmıştır.

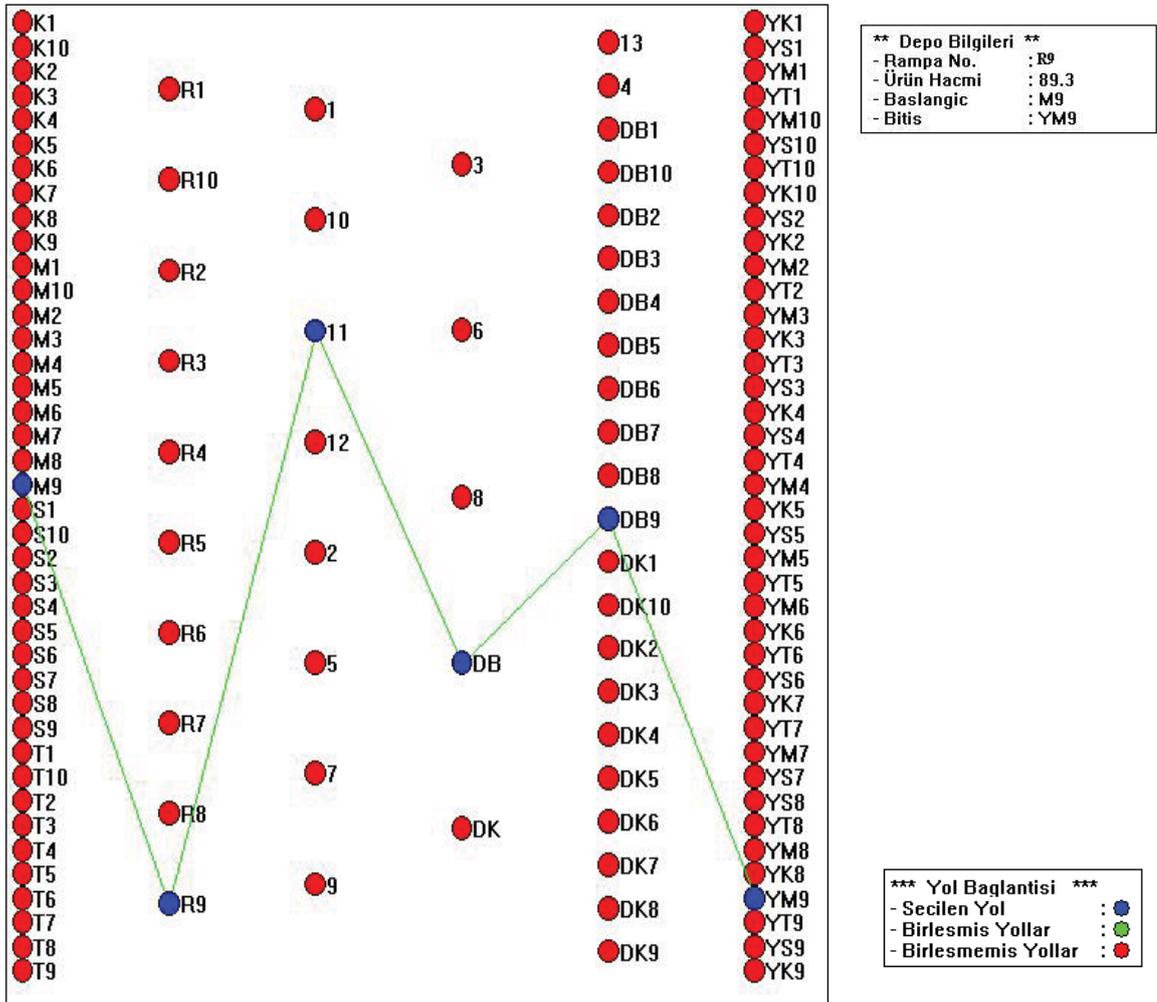
Model2-1'i için geliştirilen M9 odun hammaddesinin R9 rampasından DB deposuna satış kârını maksimize eden güzergâh Şekil 62'de gösterilmiştir.

Tablo 24. Model 2-1 için her bir odun hammaddesi için satış kârını maksimize eden güzergâhlar

<b>Odun Hammaddesi Hacmi (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Giriş Düğüm Noktaları</b>	<b>En Uygun Güzergâhlar</b>
473,7	T1	T1->R1->R2->1->R4->2->3->4->R5->5->6->9->R10->12->DB->DB1->YT1
540,9	T2	T2->R2->1->R4->2->3->4->R5->5->6->9->R10->12->DB->DB2->YT2
350,3	T3	T3->R3->1->R4->2->3->4->R5->5->6->9->11->DB->DB3->YT3
84,3	T4	T4->R4->2->3->4->R5->5->6->9->11->DB->DB4->YT4
943,0	T5	T5->R5->5->6->9->R10->12->DB->DB5->YT5
83,4	T6	T6->R6->R7->7->8->6->9->11->DB->DB6->YT6
222,8	T7	T7->R7->7->8->6->9->R10->12->DB->DB7->YT7
308,5	T8	T8->R8->10->R9->11->DB->DB8->YT8
547,0	T9	T9->R9->11->DB->DB9->YT9
122,5	T10	T10->R10->12->DB->DB10->YT10
34,4	S1	S1->R1->R2->1->R4->2->3->4->R5->5->6->9->R10->12->DK->DK1->YS1
114,7	S2	S2->R2->1->R4->2->3->4->R5->5->6->9->R10->12->DK->DK2->YS2
202,0	S3	S3->R3->1->R4->2->3->4->R5->5->6->9->11->DK->DK3->YS3
201,4	S4	S4->R4->2->3->4->R5->5->6->9->R10->12->DK->DK4->YS4
236,7	S5	S5->R5->5->6->9->R10->12->DK->DK5->YS5
12,6	S6	S6->R6->R7->7->8->6->9->R10->12->DB->DB6->YS6
70,0	S7	S7->R7->7->8->6->9->11->DB->DB7->YS7
40,6	S8	S8->R8->10->R9->11->DB->DB8->YS8
25,9	S9	S9->R9->11->DB->DB9->YS9
31,1	S10	S10->R10->12->DB->DB10->YS10
58,9	M1	M1->R1->R2->1->R4->2->3->4->R5->5->6->9->R10->12->DB->DB1->YM1
10,2	M2	M2->R2->1->R4->2->3->4->R5->5->6->9->11->DB->DB2->YM2
37,8	M3	M3->R3->1->R4->2->3->4->R5->5->6->9->R10->12->DB->DB3->YM3
31,0	M4	M4->R4->2->3->4->R5->5->6->9->R10->12->DB->DB4->YM4
238,6	M5	M5->R5->5->6->9->R10->12->DB->DB5->YM5
25,9	M6	M6->R6->R7->7->8->6->9->11->DB->DB6->YM6
31,6	M7	M7->R7->7->8->6->9->R10->12->DB->DB7->YM7
17,9	M8	M8->R8->10->R9->11->DB->DB8->YM8
89,3	M9	M9->R9->11->DB->DB9->YM9

Tablo 24'ün devamı

30,7	M10	M10->R10->12->DB->DB10->YM10
14,5	K1	K1->R1->R2->1->R4->2->3->4->R5->5->6->9->11->DB->DB1->YK1
13,1	K2	K2->R2->1->R4->2->3->4->R5->5->6->9->R10->12->DKB->DB2->YK2
13,7	K3	K3->R3->1->R4->2->3->4->R5->5->6->9->11->DB->DB3->YK3
11,8	K4	K4->R4->2->3->4->R5->5->6->9->11->DB->DB4->YK4
47,8	K5	K5->R5->5->6->9->11->DB->DB5->YK5
10,3	K6	K6->R6->R7->7->8->6->9->11->DB->DB6->YK6
10,8	K7	7->R7->7->8->6->9->11->DB->DB7->YK7
11,8	K8	K8->R8->10->R9->11->DB->DB8->YK8
10,2	K9	K9->R9->11->DB->DB9->YK9
15,8	K10	K10->R10->9->11->DB->DB10->YK10



Şekil 62. M9 odun hammaddesinin R9 rampasından DB deposuna satış kârını maksimize eden güzergâh

### 3.10. Model2-2 İçin TB Algoritmasına Göre Deneysel Bulgular ve Tartışması

Model2-2 problemi için 81 adet çözüm yapılmıştır (Şekil 63) ve en iyi sonucu veren denemeler rapor edilmiştir. Model 2-2 problemi için yapılan 81 farklı deneme ve bulunan çözümler ile kullanılan parametreler Tablo 25’de verilmiştir. Ayrıca Model2–2 problemine ait çözüm sayısına göre amaç fonksiyon değerinin değişimi Şekil 64’de verilmiştir.



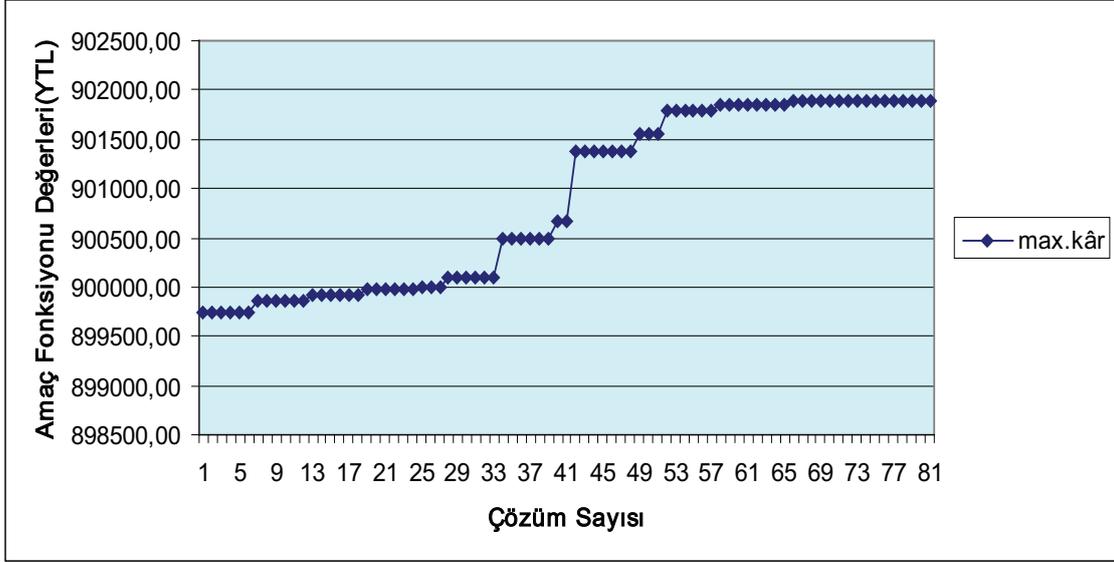
Şekil 63. Model2-2 probleminin TB parametreleri ile çözümü

Tablo 25. Model2-2 problemi için yapılan denemeler ve sonuçları

T	r	m	T <sub>1</sub>	Z <sub>amaç</sub> (YTL)	Çs (sn)	T	r	m	T <sub>1</sub>	Z <sub>amaç</sub> (YTL)	Çs (sn)
10000	0,65	1000	10	899744,10	12	20000	0,85	2000	30	901370,20	45
10000	0,65	1000	20	899744,10	9	20000	0,85	3000	10	901370,20	80
10000	0,65	1000	30	899744,10	8	20000	0,85	3000	20	901370,20	75
10000	0,65	2000	10	899744,10	22	20000	0,85	3000	30	901370,20	70
10000	0,65	2000	20	899744,10	17	20000	0,95	1000	10	901370,20	85
10000	0,65	2000	30	899744,10	13	20000	0,95	1000	20	901370,20	80
10000	0,65	3000	10	899856,24	30	20000	0,95	1000	30	901370,20	75
10000	0,65	3000	20	899856,24	26	20000	0,95	2000	10	901550,65	156
10000	0,65	3000	30	899856,24	24	20000	0,95	2000	20	901550,65	151

Tablo 25'in devamı

10000	0,85	1000	10	899856,24	25	20000	0,95	2000	30	901550,65	146
10000	0,85	1000	20	899856,24	23	20000	0,95	3000	10	901787,15	233
10000	0,85	1000	30	899856,24	21	20000	0,95	3000	20	901787,15	230
10000	0,85	2000	10	899920,36	56	20000	0,95	3000	30	901787,15	228
10000	0,85	2000	20	899920,36	51	30000	0,65	1000	10	901787,15	15
10000	0,85	2000	30	899920,36	46	30000	0,65	1000	20	901787,15	12
10000	0,85	3000	10	899920,36	85	30000	0,65	1000	30	901787,15	10
10000	0,85	3000	20	899920,36	80	30000	0,65	2000	10	901850,15	25
10000	0,85	3000	30	899920,36	75	30000	0,65	2000	20	901850,15	20
10000	0,95	1000	10	899970,64	80	30000	0,65	2000	30	901850,15	15
10000	0,95	1000	20	899970,64	75	30000	0,65	3000	10	901850,15	33
10000	0,95	1000	30	899970,64	70	30000	0,65	3000	20	901850,15	30
10000	0,95	2000	10	899970,64	155	30000	0,65	3000	30	901850,15	27
10000	0,95	2000	20	899970,64	150	30000	0,85	1000	10	901850,10	30
10000	0,95	2000	30	899970,64	145	30000	0,85	1000	20	901850,10	25
10000	0,95	3000	10	899995,85	230	30000	0,85	1000	30	901880,10	20
10000	0,95	3000	20	899995,85	228	30000	0,85	2000	10	901880,10	60
10000	0,95	3000	30	899995,85	225	30000	0,85	2000	20	901880,10	55
20000	0,65	1000	10	900100,35	13	30000	0,85	2000	30	901880,10	50
20000	0,65	1000	20	900100,35	10	30000	0,85	3000	10	901880,10	85
20000	0,65	1000	30	900100,35	9	30000	0,85	3000	20	901880,10	80
20000	0,65	2000	10	900100,35	20	30000	0,85	3000	30	901880,10	75
20000	0,65	2000	20	900100,35	15	30000	0,95	1000	10	901880,20	90
20000	0,65	2000	30	900100,35	13	30000	0,95	1000	20	901880,20	85
20000	0,65	3000	10	900495,20	30	30000	0,95	1000	30	901880,20	80
20000	0,65	3000	20	900495,20	25	30000	0,95	2000	10	901880,20	185
20000	0,65	3000	30	900495,20	20	30000	0,95	2000	20	901880,20	180
20000	0,85	1000	10	900495,20	34	30000	0,95	2000	30	901880,20	175
20000	0,85	1000	20	900495,20	29	30000	0,95	3000	10	901880,20	236
20000	0,85	1000	30	900495,20	25	30000	0,95	3000	20	901880,20	233
20000	0,85	2000	10	900675,30	55	30000	0,95	3000	30	901880,20	230
20000	0,85	2000	20	900675,30	50						



Şekil 64. Model2-2 probleminin, çözüm sayısına göre amaç fonksiyonu değişimi

TB algoritmasının optimum çözüme yaklaşım hızı, Model2-2 için en iyi çözümün bulunması 67.çözüm sayısında olmuştur. 67.çözüm sayısında algoritma % 82,7'lik iyileştirme göstermiştir.

### 3.10.1. Model2-2 İçin TB Algoritmasına göre Deney Tasarımı Analizi

TB algoritmasının performansının Model2-2 üzerinde etkin olup olmadığını belirlemek için çok yönlü varyans analizi kullanılmış ve bu faktörler için dikkate alınan düzeyler arasında anlamlı bir farklılığın olup olmadığı ise Duncan çoklu aralık testi ile değerlendirilmiştir. Bu teste ait sonuçlar Tablo 26'da verilmektedir.

Tablo 26. Model2-2'nin TB algoritması parametreleri için çok yönlü varyans analizi sonuçları

Değişim Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kare	F- değeri	P- değeri
<b>Ana Etki</b>	46020579,799	8	23010289,899	10647,867	0,000
T	41893030,338	2	20946515,169	9692,868	0,000
r	3619727,459	2	1809863,729	837,503	0,000
m	507822,002	2	253911,001	117,496	0,000
T <sub>1</sub>	0,000	2	0,000	0,000	1,000
<b>2-Ortak</b>	1118546,269	24	279636,567	129,400	0,000
T *r	706294,305	4	176573,576	81,708	0,000
T *m	140198,648	4	35049,662	16,219	0,000
T *T <sub>1</sub>	0,000	4	0,000	0,000	1,000
r *T <sub>1</sub>	0,000	4	0,000	0,000	1,000
m*T <sub>1</sub>	0,000	4	0,000	0,000	1,000
r*m	272053,316	4	68013,329	31,473	0,001
<b>Hata</b>	103729,121	48			
<b>Toplam</b>	47242855,189	80			

Tablo 26'da Model2-2'nin TB algoritması parametreleri için yapılan çok yönlü varyans analizi sonuçları görülmektedir. Varyans analizi ile ana etkiler ve en fazla ikili ortak etkiler incelenmiştir.

Tablo 26'daki P değerleri (önem düzeyleri) incelendiğinde, dikkate alınan bütün ana etkilerin minimum sıcaklık haricinde (T<sub>1</sub>) TB algoritmasının performansının Model2-2 üzerinde,  $\alpha = 0,05$  anlamlık düzeyinde etkin olduğu görülmektedir. Ayrıca, başlangıç sıcaklığı(T)-minimum sıcaklık(T<sub>1</sub>), soğutma oranı(r)-minimum sıcaklık(T<sub>1</sub>), adım sayısı(m)-minimum sıcaklık(T<sub>1</sub>) arasındaki ikili ortak etki haricinde bütün ikili ortak etkiler anlamlı bulunmuştur. Çok yönlü varyans analizi ile elde edilen bu sonuçlar, TB algoritmasının iyi bir performans göstermesi için tavlama planının ne kadar önemli olduğunu vurgulamaktadır.

Çok yönlü varyans analizi ile TB algoritmasının performansı üzerinde etkin bulunan ana faktörlerin, varyans analizinde dikkate alınan düzeyleri arasında anlamlı bir farklılığın

olup olmadığı yine Duncan çoklu aralık testi ile belirlenmiştir. Bu teste ait sonuçlar Tablo 27’de verilmektedir.

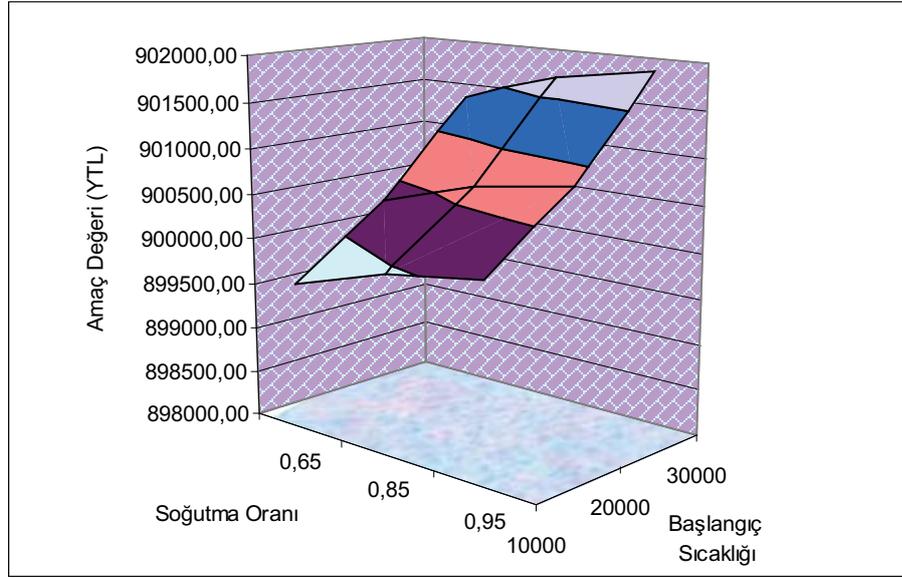
Tablo 27. Model2-2’nin TB Algoritması parametreleri için Duncan çoklu aralık testi sonuçları

Faktörler	Düzeyley	Grup Ortalaması	Test Sonuçları	
			Kombinasyonlar	Anlamlı Farklılık
Başlangıç sıcaklığı (T)	10000	899886,503	10000-20000	Var
	20000	900595,811	10000-30000	Var
	30000	901637,600	20000-30000	Var
Soğutma Oranı (r)	0,65	900434,432	0,65-0,85	Var
	0,85	900735,690	0,65-0,95	Var
	0,95	900949,792	0,85-0,95	Var
İterasyon Sayısı (m)	1000	900607,303	1000-2000	Var
	2000	900711,544	1000-3000	Var
	3000	900801,066	2000-3000	Var
Minimum Sıcaklık (T <sub>1</sub> )	10	900706,6381	10-20	Yok
	20	900706,6391	10-30	Yok
	30	900706,6381	20-30	Yok

TB algoritmasının Model2-2 için yapılan Duncan çoklu aralık testinin sonuçlarını incelediğimizde,  $\alpha = 0.05$  anlamlılık düzeyinde, minimum sıcaklığının düşük, orta ve maksimum düzeyleri anlamlı bir farklılığa sahip değilken, başlangıç sıcaklığı, soğutma oranı ve iterasyon sayısı parametreleri için seçilen 3 farklı düzeyin tüm kombinasyonları ise TB algoritmasının farklı bir performans göstermesine yol açmaktadır.

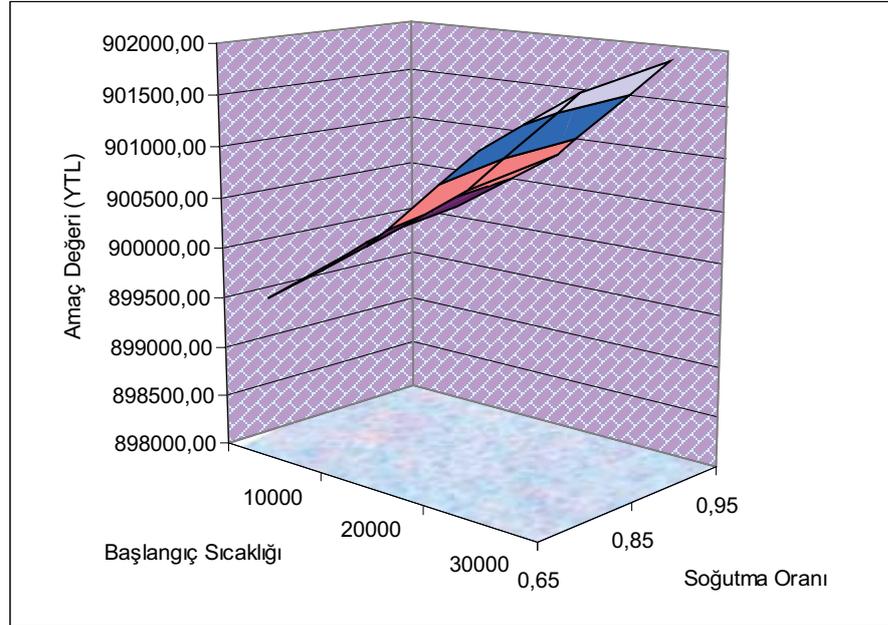
Şekil 65’de soğutma oranının 0,95 ile başlangıç sıcaklığının 30000 düzeylerinin, Şekil 66’da iterasyon sayısının 3000 ile başlangıç sıcaklığının 30000 düzeylerinin, Şekil 67’de soğutma oranının 0,95 ile iterasyon sayısının 3000 düzeylerinin amaç fonksiyonu (YTL) değerini daha büyük yapmaktadır.

$$(Z_{\text{Max.Kar.}} = 897937,67 + 0,021BS + 1687,64SO + 0,097İ + 1,66^{-06}BS^2, \quad R^2 = 0,964) \quad (18)$$

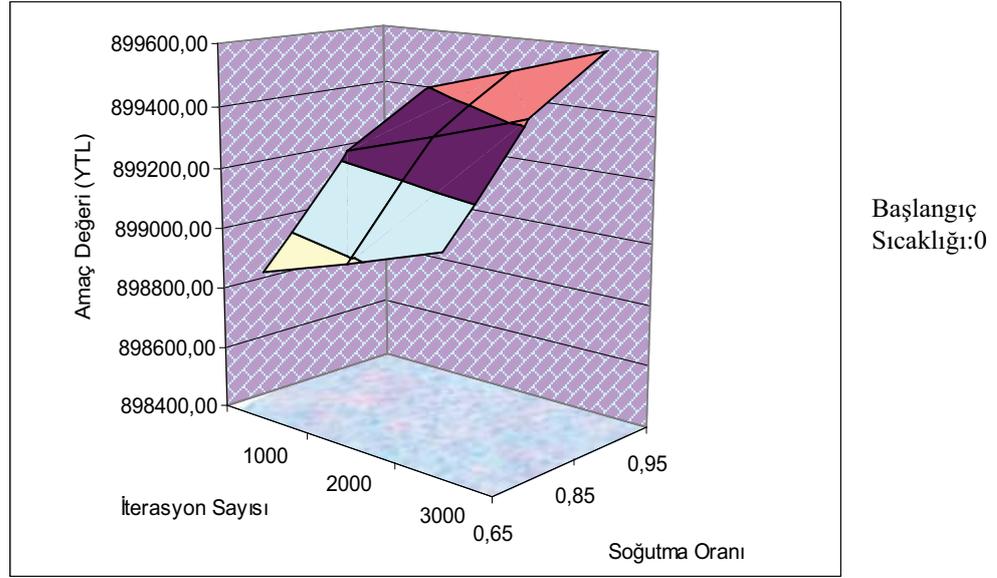


İterasyon:0

Şekil 65. Soğutma oranı ve başlangıç sıcaklığının amaç değeri üzerindeki birlikte etkilerinin yüzey grafiği

Soğutma  
Oranı:0

Şekil 66. İterasyon sayısı ve başlangıç sıcaklığının amaç değeri üzerindeki birlikte etkilerinin yüzey grafiği



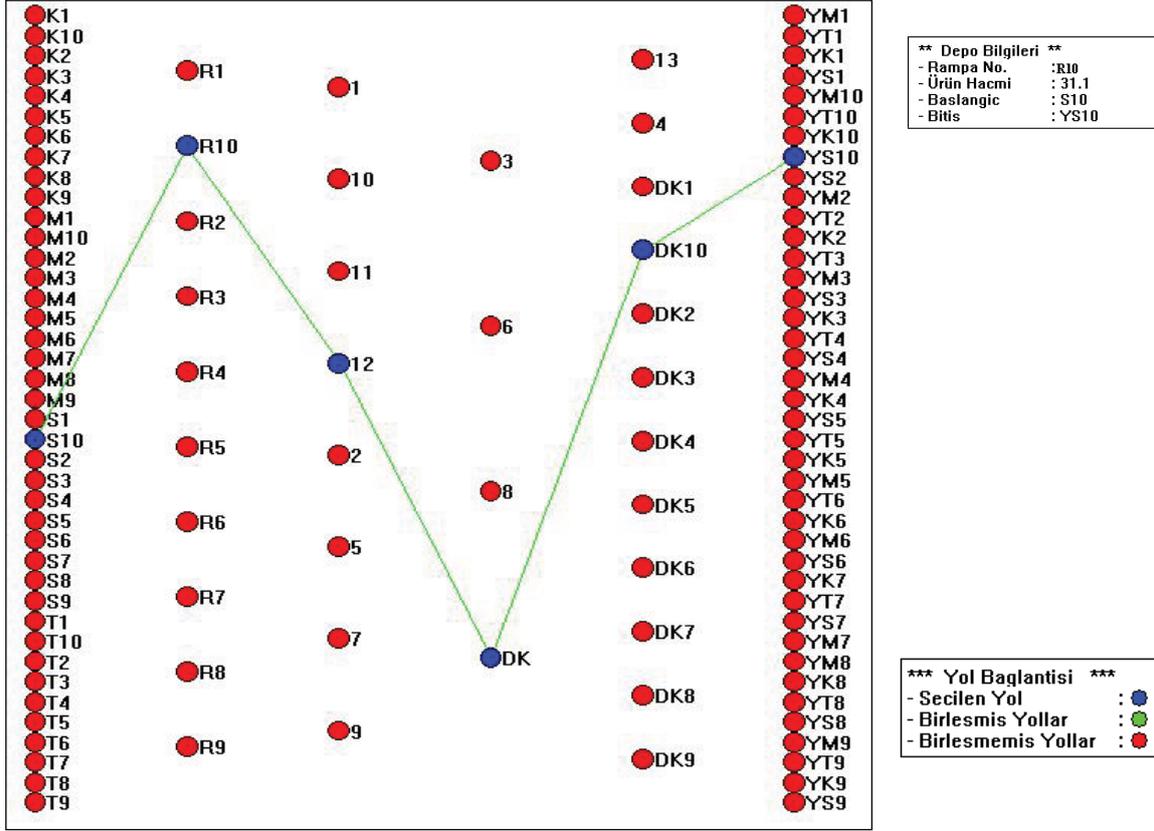
Şekil 67. Soğutma oranı ve iterasyon sayısının amaç değeri üzerindeki birlikte etkilerinin yüzey grafiği

TB algoritması Model2-2 için yapılan Çok yönlü varyans analizi ve Duncan çoklu aralık testine göre, bu algoritmanın parametreleri aşağıdaki gibi belirlenmiştir. Duncan testiyle düzeyleri birbirinden farksız bulunan parametrelerin değerinin seçilmesinde, algoritmanın daha kısa sürede çalışma durumu göz önünde tutulmuştur. Model2-2 için TB parametreleri;

$$T= 30000, r= 0,95, m= 3000, T_1= 20' \text{ dir.}$$

### 3.10.2. Model2-2 İçin En uygun Alternatif Güzergâhlar ve Taşıma Maliyeti

Bicik deposuna nakliyatın izin verilmediği Model2-2’de oluşan güzergâhlar ve net kârlar, R1, R2, R3,R4 ve R5 numaralı rampada istiflenen sanayi odunu hariç, Model2-1 ile paralellik göstermiştir. Buna göre, toplam net kâr 901370,65 YTL olarak hesaplanmıştır. Model2-2’için geliştirilen S10 odun hammaddesinin R9 rampasından DB deposuna satış kârını maksimize eden güzergâh Şekil 68’de gösterilmiştir.



Şekil 68. S10 odun hammaddesinin R9 rampasından DB deposuna satış kârını maksimize eden güzergâh

### 3.11. Odun Hammaddesi Taşıma Modellerinin Genel Olarak Tartışılması

Taşıma ağını oluşturan unsurlar genellikle orman işletmesinin etkin faaliyet gösterebilmesi için hayati önem taşıyan ve temelinde maliyet yaklaşımı bulunan faktörlerdir. Orman İşletmeleri faaliyetlerini kesintisiz sürdürebilmeleri için girdi niteliği taşıyan odun hammaddesinin zamanında rampa yerlerinden alınıp orman satış depolarına ulaştırılması, istenen spesifikasyonlara tam uyum göstermesi, odun hammaddesinin belirlenen kalite düzeyinde olabilmesi için bileşenlerinde kalite standartlarına uygun olması, ani değişimlere karşı (talep ve odun hammaddesi çeşidi) optimal stok bulundurulması ve nihai odun hammaddesinin talep edilen zaman ve yerde bulundurulması gerekmektedir. Bu nedenle taşıma ağı tasarımı ve optimizasyonu hayati bir faaliyet olarak orman işletmelerin karşısına çıkmaktadır.

Taşıma kararlarının alınmasında; her bir rampadaki odun hammaddesinin hangi güzergâhı (orman yolu) takip ederek hangi depoya taşınacağı kararları analiz edilmektedir.

Hâlihazırda Ülkemizde odun hammaddesi taşımalarının topoğrafik ve teknik sürecinde yıllık düzeyde taşıma modellerine rastlanılmamıştır.

Burada, odun hammaddesi taşıma modeli yöntemi bir bütün olarak değerlendirildiğinde klasik taşımaya göre daha hızlı, topoğrafik, teknik, ekonomik, daha doğru sonuçlar veren bir yöntem olduğu ortaya çıkmıştır. Planlama aşamasında kurulan veritabanı sayesinde klasik yöntemle kıyaslanamayacak düzeyde çok verinin işlenmesi sağlanmaktadır. Bu veriler alan, yol ağı ve taşıma ile doğrudan ilişkili olan teknik ve ekonomik verilerden oluşmaktadır. Verilerin etkin bir şekilde kullanımı klasik taşımada teknik açıdan mümkün değildir.

Çalışmada ele alınan taşıma verilerinin kullanıldığı model, tavlama benzetiminin belirlenen parametreleri kullanılarak defalarca çalıştırılmıştır. Bu çalıştırmalar sonucunda elde edilen amaç fonksiyonunun değeri olan taşımanın toplam maliyetinin özellikle başlangıç çözümünün kalitesine bağlı olarak farklı değerler aldığı görülmüştür. Elde edilen sonuçlarda farklı değerler ile karşılaşılmasının diğer bir nedeni ise programın her çalıştırıldığında bazı girdi değerlerinin rasgele olarak atanıyor olmasından kaynaklanmıştır. Bu nedenlerin dışında tavlama benzetimi meta-sezgisel yönteminin bir optimum çözüm yöntemi olmadığı ve olasılıklarla çalıştığı gerçeği de elde edilen farklı sonuçların açıklanmasında yardımcı olmuştur. Tablo 28’de modellerin maliyetler yönünden karşılaştırılması verilmiştir.

Tablo 28. Modellerin maliyetler yönünden karşılaştırılması

Modeller	T	r	m	T <sub>1</sub>	Z <sub>amaç</sub> (YTL)
Model1-1	30000	0,95	3000	20	11309,52
Model1-2	30000	0,95	3000	30	13206,66
Model2-1	30000	0,95	3000	10	918990,68
Model2-2	30000	0,95	3000	20	901880,20

Model1 için odun hammaddelerinin toplam taşıma maliyetini en aza indiren güzergâhlar araştırılmıştır.

Model1-1’de TB parametrelerini kullanarak her iki orman deposunun kullanımına izin verilmesi durumunda toplam taşıma maliyeti 11309,52 YTL olarak hesap edilmiştir. Model1-2’de TB parametrelerini kullanarak sadece tek orman deposunun kullanımına izin

verilmesi durumunda toplam taşıma maliyeti 13206,66 YTL olarak hesap edilmiştir. Model1 için, her iki orman deposunun kullanımına izin verilmesi durumunda toplam taşıma maliyetinde %14,45 oranında tasarruf yapılmıştır.

Model2 için odun hammaddelerinin taşınmasında net kârı eniyileyen güzergâhlar araştırılmıştır.

Model2-1'de TB parametrelerini kullanarak her iki orman deposunun kullanımına izin verilmesi durumunda toplam net kâr 918990,68 YTL olarak hesap edilmiştir. Model2-2'de TB parametrelerini kullanarak sadece tek orman deposunun kullanımına izin verilmesi durumunda toplam net kâr 901880,20YTL olarak hesap edilmiştir. Model2 için, her iki orman deposunun kullanımına izin verilmesi durumunda toplam net kârda 17440,03 YTL gibi bir artış sağlanmıştır. Bunun nedeni, Kovanlı deposundaki satış fiyatlarının yüksek olması ile iki alternatifte de Kovanlı deposunun tercih edilmesidir. Toplam net kârdaki farkın nedeni ise R1, R2, R3, R4 ve R5 numaralı rampada istiflenen sanayi odunu hammaddesinin Model2-1'de Kovanlı deposuna ulaştırılmasıdır.

İşletmede 2007 yılı içerisinde toplam 5377,500m<sup>3</sup> tomruk, sanayi odunu, maden direği ve kâğıtlık odun orman yolları üzerinden kamyonlarla Kovanlı deposuna taşınmıştır. Anbardağ Orman İşletme Şefliğinde 2007 yılı itibariyle, muhasebe kayıtlarına göre 1m<sup>3</sup> endüstriyel odun hammaddesinin taşıma fiyatı 13,32 YTL olduğu belirlenmiş ve toplam 71621,64 YTL taşıma gideri ödenmiştir.

İşletmede nakliyeciler için tek depo seçimi sonucunda pratikte ortaya çıkan değerler Model1-2 için karşılaştırıldığında, taşıma maliyetinde %18,45 oranında tasarruf yapılmıştır. Acar (1998), Artvin Orman İşletme Müdürlüğü'nde orman yolları üzerinde nakliyatın doğrusal programlama tabanlı transport modeli ile planlanması durumunda %16 oranında tasarruf yapılabileceğini belirtmiştir. Diğer modeller için karşılaştırma yapılamamıştır. Çünkü uygulamada iki depo kullanılmamaktadır.

Tez problemi boyunca TB ile çözüm arama zamanı (CPU), bu modeller için maksimum 230-235 saniye sürmüştür. Murray ve Church (1993), operasyonel orman planları için, tavlama benzetimi ve tabu arama'dan oluşan iki meta-sezgisel optimizasyon yaklaşımını kullanmıştır. Yaklaşık optimal sonuçlar veren bu yaklaşım kısa bir zamanda çözüme ulaşabilmiştir.

Ichihara vd. (1996), yol yapım maliyetini en aza indiren optimum düşey güzergâhı tespit etmek için meta-sezgisel yöntemler kullanarak bir optimizasyon modeli

geliştirmişlerdir. Sonuçlara göre meta-sezgisel yöntemlerin kullanılması yol dizaynındaki toplam hesaplama zamanını önemli ölçüde azaltmıştır.

Tavlama Benzetimi yaklaşım, çözümlenmesi çok uzun zaman alan yada mümkün olan tam sayılı çözümün sağlanamadığı problemler için optimale yakın sonuçlar vermesinden dolayı iyi bir çözüm tekniği olarak kabul edilmektedir (Dykstra, 1976; Weintraub vd., 1995; Sessions vd, 2001; Karlsson vd, 2002; Chung, 2003; Davis vd., 2000; Gunnarson vd, 2001). Bu çalışmada da taşıma modelleri için bu yöneme başvurulmuştur.

#### 4. SONUÇLAR

Bu doktora çalışmasında, optimizasyon yöntemi kullanılarak odun hammaddesi taşıma ağı modeli ve çözüm yöntemi geliştirilmiştir. Odun hammaddesi taşımaya yönelik yıllık taşıma modeli, işletme şefliği bazında üretimin yoğun olduğu bölmelerde, çeşitli standartlardaki odun hammaddesinin kamyonlarla orman yolları üzerinde rampalardan ana depolara taşıma maliyetlerinin minimize edilmesini kapsayacak şekilde oluşturulmuştur.

Modelin çözümü için meta-sezgisel teknikler arasında yer alan ve kombinatorial optimizasyon problemlerinin çözümünde başarıyla uygulanan, olasılıklı bir arama yöntemi olan Tavlama Benzetimi algoritması kullanılmıştır. Tavlama Benzetimi algoritmasının olasılıklı yönü yerel minimumlardan kurtulmayı sağlamaktadır. Oluşturulan Tavlama Benzetimi algoritması, Visual C++ 2006 dili ile kodlanmıştır.

Geliştirilen modelin ve tasarlanan Tavlama Benzetimi algoritmasının değerlendirilmesi için 4 farklı model kullanılmıştır. Her model için 405 adet çözüm yapılmıştır ve en iyi sonucu veren 81 deneme rapor edilmiştir.

Tavlama Benzetimi algoritması ile bulunan en iyi çözümlerin, literatürdeki diğer yöntemlerle karşılaştırması yapılamamıştır. Çünkü, odun hammaddesi taşınması problemi üzerine ilk çalışma bu tezde yapılmaktadır. Herhangi bir karşılaştırmanın yapılamaması nedeniyle, geliştirilen modelin daha iyi açıklanabilmesi için, çok yönlü varyans analizi kullanılmıştır. Yapılan  $3^4$  (4=parametre sayısı) faktöriyel deney tasarımı ile parametrelerin algoritmanın performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Daha sonra yapılan Duncan çoklu aralık karşılaştırma testi ile hem parametreler için seçilen düzeyler arasında anlamlı bir farklılığın olup olmadığı araştırılmış, hem de en iyi performansı veren parametre düzeyleri belirlenmiştir. Başlangıç sıcaklığı, minimum sıcaklık, iterasyon sayısı ve soğutma oranı faktörlerinin algoritmanın performansına etkisi, faktörlerin dört düzeyine göre analiz edilmiştir. Her bir durum için 12 bağımsız tekrar yapılmıştır.

Faktörler  $\alpha = 0,05$  anlamlılık düzeyinde değerlendirilmiştir. Buna göre Başlangıç sıcaklığı, iterasyon sayısı ve soğutma oranının anlamlı çıktığı görülmüştür. Minimum sıcaklığın etkisi görülmemiştir. Yüksek başlangıç sıcaklığı, yüksek iterasyon sayısı ve yüksek soğutma oranı model üzerinde olumlu sonuçlar doğurmuştur. Bu anlamda modelden beklenen sonuçlar elde edilmiştir.

Geliştirilen Tavlama Benzetimi algoritması ile bulunan sonuçlar, oldukça ümit vericidir. Modellerin optimal çözümleri bilinmemektedir. Her bir model için yapılan 81 denemenin hemen hemen tamamına yakınında birbirine yakın sonuçların bulunması, bu modeller için optimal sonuçların bulunduğu sonucunu güçlendirmektedir. Modellerin çözümleri ile optimal sonuçlara ulaşıp ulaşılmadığı bilinmemektedir. Bununla beraber, bundan sonra literatürde bu konuda yapılacak olan çalışmalar için bir altlık şimdiden belirlenmiş olmaktadır.

İncelenen çözüm sayısına göre karşılaştırdığımızda, her nakliyat güzergâhında yapılan 81 denemede, algoritmanın bulunduğu en düşük maliyetli çözümler dikkate alınmıştır. TB algoritmasının optimum çözüme yaklaşım hızı, Model1-1 için en iyi çözümün bulunması 53. çözüm sayısında olmuştur. 53. Çözüm sayısında algoritma % 65,4'lük iyileştirme göstermiştir. Model1-2 için en iyi çözümün bulunması 50. çözüm sayısında olmuştur. 50. Çözüm sayısında algoritma % 61,7'lik iyileştirme göstermiştir. Model2-1 için en iyi çözümün bulunması 61.çözüm sayısında olmuştur. 61.Çözüm sayısında algoritma % 75,3'lük iyileştirme göstermiştir. Model2-2 için en iyi çözümün bulunması 67. çözüm sayısında olmuştur. 67. Çözüm sayısında algoritma % 82,7'lik iyileştirme göstermiştir.

Buna göre, Model1-1 için en iyi toplam taşıma maliyeti 11309,52 YTL, Model1-2 için en iyi toplam taşıma maliyeti 13206,66 YTL, Model2-1 için en iyi toplam net kâr 918990,68 YTL ve Model2-2 için en iyi toplam net kâr 901880,20 YTL olarak hesaplanmıştır. Model1-1 için, her iki orman deposunun kullanımına izin verilmesi durumunda toplam taşıma maliyetinde % 14,45 oranında tasarruf yapılmıştır.

Elde edilen rakamsal kazanımlar, ilk bakışta küçük görülse de, çalışmanın yürütüldüğü alan sınırlarında elde edilen bu değerlerin, bu çeşit bir plânlamanın daha büyük alanlarda, daha fazla girdi ile tekrarlandığı takdirde, katlanarak artacağı açıktır.

Modelin matematiksel modellere göre en büyük üstünlüğü de hesaplama süresinin kısa olmasıdır. Bu anlamda, bu değerlendirme amacına uygunluk taşımaktadır. Gerek optimal çözümlerle karşılaştırma gerekse deney tasarımından elde edilen sonuçlarla modelin gayet başarılı olduğu görülmektedir. TB yöntemi, odun hammaddesi taşımada bir planlama aracı olarak kullanılabilir.

Odun hammaddesi taşınmasında, yıllık düzeyde bir model oluşturulması amacıyla yapılan bu çalışma ile;

✓ Ağ yöntemi ile optimum güzergahların tasarımı oluşturulmuştur.

✓ Odun hammaddesi taşıma planlamasında alternatif güzergâhlar arasından en uygununun seçilmesinde model çalışabilmiştir.

✓ Geliştirilen taşıma planlama modelinde adım adım ilerleme ve iyileştirme stratejisi ile odun hammaddesi taşıma planlamasının optimizasyonu sağlanmıştır.

✓ Model ile hangi rampadaki odun hammaddesinin hangi depoya taşınacağı belirlenebilmiştir.

✓ Matematiksel modelin hazırlık aşamasında konuma bağlı bu analizlerin yapılmasıyla CBS'nin etkin kullanımı sağlanmıştır. Bu, bilgisayar destekli odun hammaddesi taşıma planlaması açısından önemli olup CBS, Ağ Analizi, Tavlama Benzetimi ve İstatistiki değerlendirme gibi modern planlama araçlarının bir arada kullanıldığı bir odun hammaddesi taşıma modeli gerçekleştirilebilmiştir.

✓ Bu modellerin çözümüyle birlikte yöneticiler daha sağlıklı kararlar verebileceklerdir.

Çalışmanın yürütüldüğü orman alanlarında ortalama eğimin % 70, verimli ormanların genelde 1400-1800 m yükseltiler arasında değiştiği, mevcut orman yolları dikkate alındığında, itibari yol yoğunluğunun 11,01 m/ha ve gerçek yol yoğunluğunun 18,26 m/ha olduğu belirlenmiştir.

## 5. ÖNERİLER

Yapılan bu çalışma sonrasında elde edilen sonuçlar da dikkate alındığında şu öneriler ortaya konulmuştur;

Yeni orman yollarının planlamasında, toplam yol yapım maliyeti ile gelecekteki bakım, taşıma maliyetleri Tavlama Benzetimi kullanılarak değerlendirilebilir ve en uygun güzergâhlar ile yol standartları seçilebilir. Ayrıca, pazar şartlarının ve taleplerinin uygun olması halinde, dikili satış ile depodan satış uygulamalarının taşıma maliyetleri ve toplam net kârları Tavlama Benzetimi yöntemi sayesinde en ekonomik model belirlenebilir.

Odun hammaddesi üretiminin yoğun olarak devam ettiği bölgelerde toplam net kârı eniyileyen taşıma güzergâhlarının Tavlama Benzetimi ile tespit edilmesi odun hammaddesi taşıma işinde önemli oranda tasarruf yapılmasını sağlayacaktır.

Ülkemizde odun hammaddesi taşımalarını planlayan ekiplerin yöneylem araştırma teknikleri (sezgisel ve meta-sezgisel) konusunda yeterli bilgileri bulunmamakta ve bunun sonucu olarak bu teknikler, planların yapımında kullanılmamaktadır. Bu nedenle ekiplerin modelleme kavramları konusunda eğitilerek bilgi sahibi olmaları ve karar verme problemlerinde bu yaklaşımları kullanmaları gerekmektedir.

Bu doğrultuda gerek orman fakültelerinin eğitim programlarında gerekse hizmet içi eğitimlerde, yöneylem araştırma teknikleri ve modelleme kavramının önemi ile karar verme problemlerindeki kullanımı ayrıntılı olarak ele alınmalıdır.

Gelecekteki çalışmalarda, taşıma problemleri ile ilgili mevcut meta-sezgisel algoritmalar ile Tavlama Benzetimi Algoritmasının etkinliği karşılaştırılabilir. Tavlama Benzetimi Algoritmasının farklı parametrik değerleri kullanılarak taşıma problemleri için uygun parametre değerlerinin belirlenmesi sağlanabilir. Tavlama Benzetimi bölmeden çıkarma problemlerine uygulanabilir.

Önerilen modelleme yaklaşımının uygulamaya aktarılabilmesi için CBS ile birlikte, matematiksel programlama gibi sezgisel ve meta-sezgisel tekniklerinin yer aldığı teknolojilerin yazılımı, donanımı ve kullanımı da orman işletmelerine kazandırılmalıdır.

Orman yol standartlarına birebir uyulmalı, ters eğimlerden mümkün olduğunca kaçınılmalıdır. Bunun yanında taşıma planları düzgün yapılarak, üretilen ürünün en kısa ve en güvenli yoldan depolara taşınması sağlanmalıdır. Söz konusu problemin çözümü için farklı sezgisel algoritmaların birleşiminden oluşan melez algoritmalar kullanılabilir. Tavlama

Benzetimi yerine Tabu Arama, Genetik Algoritmalar veya Karınca Kolonisi gibi arama metotları kullanılarak probleme çözüm getirilebilir.

Orman yol standartları uygun duruma getirildiği takdirde bir seferde taşınacak kamyon yükünü, aks ilave etmek suretiyle artırmak ve böylece günlük verimi de yükseltmek mümkün görülmektedir. Yükleme isleri yoğun rampalarda mutlaka yükleyicilerle yapılmalı, bu amaçla mevcut araçlardan yapılacak organizasyonla maksimum yarar sağlayacak şekilde düzenleme yapılmalıdır. Bölgede orman depolarının alt yapı tesislerindeki eksiklikler en kısa zamanda tamamlanmalıdır.

Orman yollarında üst yapı çalışmaları tamamlanmalıdır. Taşıma giderinin çok yüksek olduğu yerlerde taşıma giderini azaltabilmek için bu bölgelerde orman depoları yakın yerlerde oluşturulmalıdır.

Ormancılıkta yapılan planlama ve çalışmalarda; ülkemiz ormancılığı için oluşturulması planlanan ORBİS (Orman Bilgi Sistemi)'e katkı sağlayacağı düşünülen CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) teknolojilerinden mutlaka yararlanılmalı ve ülke genelinde kullanımı yaygınlaştırılmalıdır. Odun hammaddesi taşıma planlanması için konumsal veritabanı CBS ile oluşturulmalıdır.

## 6. KAYNAKLAR

Acar, H.H., 1994. Ormancılıkta Transport Planları ve Dağlık Arazide Orman Transport Planlarının Oluşturulması, Yayınlanmamış Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 150 s.

Acar, H.H., 1997. Dağlık Arazide Orman Transport Planlarının Hazırlanması Üzerine Bir Araştırma (Kümbet Orman İşletme Şefliği Örneği) Türk Tarım ve Ormancılık Dergisi, 21, 201-206.

Acar, H.H., 1998. Giresun Orman Bölge Müdürlüğü Üretim Araçlarının Teknik ve Ekonomik Açından İncelenmesi, TÜBİTAK Doğa Dergisi, 22, 2, 143-150.

Acar, H.H. ve H. Eroğlu., 2001. Orman Yolları Üzerinde Odun Hammaddesi Nakliyatının Planlanması. Kafkas Üniversitesi, Artvin Orman Fakültesi Dergisi, 1,1, 61-66.

Acar, H.H., 2004. Transport Tekniği ve Tesisleri Ders Notları, KTÜ Orman Fakültesi Ders Teksirleri Serisi:78, Trabzon, 268 s.

Acar, H.H., 2005. Orman Yolları, KTÜ Orman Fakültesi Ders Teksirleri Serisi:82, Trabzon, 183 s.

Akay, A., 2003. Minimizing Total Cost of Construction, Maintenance, and Transportation Costs with Computer-Aided Forest Road Design, PhD Dissertation, Forest Engineering, Oregon StateUniversity, 148 pp.

Akay, A., 2004. A New Method of Designing Forest Roads, Turk Journal Agric.Forest, 28, 273-279 pp.

Akay, A. and J. Sessions., 2005. Applying The Decision Support System, TRACER, to Forest Road Design, Western Journal of Applied Forestry, 20, 3, 184-191.

Akay, A., Erdaş, O., Yüksel, A., Bozali, N., Gündoğan, R., Öztürk, T., 2007. Bilgisayar Destekli Orman Yolu Planlama Modeli, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, Trabzon, 61-72.

Akgül, A., 1998. Sistem Tasarımı ve Optimizasyon, Tisamat Basım Sanayi, Ankara, 240 s.

Anonim, 1996. Giresun Orman Bölge Müdürlüğü, Giresun Orman İşletme Müdürlüğü, Anbardağ Orman İşletme Şefliği, Amenajman Planı ve Haritası.

Anonim, 1998. Giresun Orman Bölge Müdürlüğü, Giresun Orman İşletme Müdürlüğü, Anbardağ Orman İşletme Şefliği, Orman yolları Şebeke Planı ve Haritası.

Anonim, 2007. Giresun Orman İşletme Müdürlüğü Muhasebe Kayıtları.

Aronoff, S , 1989, Geographic Information Systems: A Management Perspectives, WDL Publications, Ottawa, Ontario, Canada

Aruga, K., J. Sessions, and A.E. Akay. 2005. Heuristic Techniques Applied to Forest Road Profile. The Japanese Forest Society, J. For. Res. 10 (2): 83-92.

Aykut, T., 1984. Orman Ürünleri Taşımcılığında Araç ve Teknikler, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları No: 3246/370, İstanbul, 100 s.

Aykut,T., Acar, H.H., Şentürk, N., 1997. Artvin Yöresinde Bölmeden Çıkarmada Kullanılan Koller K 300, URUS MIII ve Gantner Tipi Hava Hatlarının Karşılaştırılması Üzerine Bir Araştırma, İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, 47, 2, 30-54.

Aytaç, M. ve Bayram, N. 2001. Çok Değişkenli Varyans Analizi ve Akademisyenler Üzerine Bir Uygulama, Uludağ Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 19, 3, 55-60.

Başkent, E.Z., 2001. Combinatorial Optimization in Forest Mangement Modelling, Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 25 (2001), 187-194.

Başkent, E. Z., ve Jordan, J.A., 2002, Forest Landscape Management Modelling with Simulated Annealing. Forest Ecology and Management, 165/1-3 , 29-45.

Başkent, E. Z., 2004. Yöneylem Araştırması, Modelleme ve Doğal Kaynak Uygulamaları. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Genel yayım No: 218, Fakülte yayım No: 36, KTÜ Matbaası. Trabzon. 480 s.

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., 1996. Orman Nakliyatının Planlanması, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yayınları No:3941/8, İstanbul, 169 s.

Beasley, D., 1993. An Overview of Genetic Algorithms; Part 1, Fundamentals. Universty Computing 15: 58-69.

Bingül, Z., Sekmen, A.S., Palaniappan, S. ve Sabattp, S., 2000. Genetic Algorithms Applied to Real Timen Multiobjective Optimization Problems, Proceedings of the 2000 IEEE Southeast Con Conference, 95-103.

Broman, H., Frisk, M., Rönnqvist, M., 2006. Supply Chain Planning of Harvest Operations and Transportation After the Storm Gudrun, Discussion Papers, Department of Finance and Management Science, Norwegian School of Economics and Business Administration, No:16, 18 pp.

Björklund, E. S., 2006. Environmental Statement , Wood Supply Europe Report, Stora Enso Forest Product, Sweden, 30 pp.

Carlgren, C., Carlsson, D., Rönnqvist, M., 2006. Log Sorting in Forest Harvest Areas Integrated with Transportation Planning Using Backhauling, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 21, 260-271.

Chung, W. and Sessions, J., 2000. Network: 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, 223pp.

Clark, M.M., 1998. The Forest Harvesting Problem: Integrating Operational and Tactical Planning, PhD Dissertation, Industrial and System Engineering, Auburn University, 296 pp.

Çalışkan, E., Şentürk, N., Acar, H.H., 2006. Orman Yollarında Hidrolik Sanat Yapısı İhtiyacının CBS ve GPS Kullanarak Araştırılması, *İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi*, A, 56, 2, 177-190.

Çalışkan, E., Acar, H.H., 2006. Yapay Zeka Tekniklerinin Odun Hammaddesi Üretiminde Kullanılması Üzerine Bir Değerlendirme, *Artvin Orman Fakültesi Dergisi*, 7, 1, 51-60.

Çalışkan, E., Acar, H.H., An Overview of Timber Transport in Turkey, 6th International Conference on Agricultural and Forest Engineering, 14-15 June 2007, Summary of Proceedings, Warsaw, Poland, 253 pp.

Demir, M., 1997. Dağlık Arazide Orman Transport Planlarının Önemi ve Etkileri, *İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi*, B, 47, 1-2, 49-56.

Demir, M., 2002. Bolu Mıntıkasında Orman Yol Şebeke ve Nakliyat Planlarının Bilgisayar Ortamında Düzenlemesi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü., 2005. Giresun Meteoroloji İl Müdürlüğü, İklim Verileri, Giresun.

Dorigo, M., Colomi. A., Trubian, M., 1991. Ant System for Job Scheduling, *Belgian Journal Of Operations Research Statistics and Computer Science*, 321-323 pp.

Dykstra, D.P., 1976. Timber Harvest Layout by Mathematical and Heuristic Programming, PhD Thesis, Oregon State University, 299 pp.

Eglese, R.W., 1990. "Simulated Annealing: A Tool for Operational Research", *European Journal of Operational Research*, 34: 600-612.

Eker, M. and Acar, H.H., 2002. An Assessment on the Utility of GIS-Based Decision Mechanism in The Wood Procurement Process, Proceeding CD of GIS, 2002-International Symposium on GIS, September 23-26, Istanbul, Turkey.

Eker, M., 2004, Ormancılıkta Odun hammaddesi Üretiminde Yıllık Operasyon Planlama Modelinin Geliştirilmesi, KTU Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon, 239 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., Acar, H.H., Tunay, M., ve Karaman, A., 1995. Türkiye’deki Orman İşçiliği ve Üretim, Orman Yolları, Orman Ürünleri Transportu, Ormancılıkta Mekanizasyon ve Mülkiyet – Kadastro ile İlgili Sorunlar ve Çözüm Önerileri, Türkiye Ormancılık Raporu, KTÜ Orman Fakültesi Yayın No:48, Trabzon.

Erdaş, O., 1997. “Orman Yolları – Cilt I”, KTÜ Orman Fakültesi Yayınları No:187/25, Trabzon, 390 s.

FAO, 1992. Cost Control in Logging Operations, FAO Forestry Paper No: 99, 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

Glover, F., 1989. "Tabu Search - Part I", ORSA Journal on Computing, USA, 1, 3., 190-206 pp.

Glover, F., Laguna, M., 1997. “Modern Heuristic Techniques for Combinatorial Problems”, Blackwell Syntefic Publications, New York, 48-73.

Goldberg D.E. 1989. Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning, Addison-Wesley, USA.

Gunnarsson, H., Lundgren J.T, Rönnqvist, M., 2001. Supply Chain Modeling of Forest Fuel, LITH-MAT-R-2001- 08. Linköping University, Dept. of Mathematics, Sweden

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.

Hasdemir, M. ve Demir, M., 2000. Türkiye’de Orman Yollarını Karayollarından Ayıran Özellikler ve Bu Yolların Sınıflandırılması, İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, B, 50, 2, 85-96.

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, 19-27 pp.

Holland, J., 1975. 'Adaptation in Natural and Artificial Systems', Ann Arbor USA, University of Michigan, 120 pp.

İbrahim, H.O., James, P.K., 1996. "Meta-Heuristics: Theory and Applications", Kluwer Academic Publishers, London, 37-45.

Ichihara, K., T. Tanaka, I. Sawaguchi, S. Umeda, and K. Toyokawa. 1996. The Method for Designing the Profile of Forest Roads Supported by Genetic Algorithm. The Jap. Forestry Society, Journal of Forest Research. 1: 45-49.

Jensen, K., Menard, J., English, B., Park, W., Wilson, B., 2002. The Wood Transportation and Resource Analysis System (WTRANS): An Analysis Tool to Assist Wood Residue Producers and Users, Forest Products Journal, 52, 5, 27-33.

Johnson, D., Aragon, C., McGeoch, L., Schevan, C., 1989. "Optimization by Simulated Annealing and Experimental Evaluation. Part 1. Graph Partitioning", Operations Research, 37(6): 865-892.

Karagülle, İ. ve Pala, Z., 2002. Visual C++ 6.0 Pro, 2. Baskı, Türkmen Kitabevi, İstanbul. 125 s.

Karaman, A., 2001. Odun Hammaddesinin Kesim ve Nakliyatı, Kafkas Üniversitesi Artvin Orman fakültesi Ders Notları, Yayın No: 4, Artvin, 263 s.

Kirkpatrick, S, Gellat, C, Vecchi, M., 1983. Optimization by Simulated Annealing. Science, 220: 671-680.

Koç, A., 1995. Ormancılıkta Coğrafi Bilgi Sistemi, ARC/INFO ERDAS Kullanıcıları Toplantısı, Ankara, Bildiriler Kitabı, 141-155.

Miyata, E. S., 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 pp.

Murray, A.T., Church, R.L., 1993. Heuristic Solution Approaches to Operational Forest Planning Problems., Journal of Forest Engineering 9, 31-37.

Nabiyev, V., 2003. Yapay Zeka, Birinci Baskı, Seçkin Yayıncılık Sanayi ve Ticaret.A.Ş., Ankara.

OGM, 1984. İnşaat Dairesi Başkanlığı 202 sayılı Tebliği Orman Yollarının Planlanması ve İnşaat İşlerinin Yürütülmesi Orman Genel Müdürlüğü Ankara.

OGM, 2006. "Orman Genel Müdürlüğü 2006 Yılı Döner Sermaye Bütçesi", Çevre ve Orman Bakanlığı OGM/APK Dairesi Başkanlığı, Şubat-2004, Ankara, 127 s.

OGM, 2008. İnşaat İkmal Daire Başkanlığı, Yapılan görüşme, Ankara.

OÖİKR, 2006. “IX. Beş Yıllık Kalkınma Planı–Ormancılık Özel İhtisas Komisyonu Raporu”, DPT, www.dpt.org . Ankara.

Olsson, L., 2001. “Optimal Forest Transportation with Respect to Road Investment”, Optimal Dynamic Decisions in the Forest Sector at EURO 2001, The European Operational Research Conference, July 9-11, Expo&Conference Center, Erasmus University-Rotterdam.

Palmgren, M., Rönnqvist, M., 2003. “RuttOpt – An Operative Transportation Planning System”, Symposium for System Analysis in Forest Resources, October 7-9, Abstracts – pp. 76, Skamania Lodge, Stevenson, Washington.

Palmgren, M., Ronnqvist, M., Varbrand, P., 2004. A Near-Exact Method for Solving the Log-Truck Scheduling Problem, Intl. Trans. In Op. Res., 11, 447–464.

Ponnambalam, S.G., Aravindan, P., Rajesh, S.V., 2000. A Tabu Search Algorithm for Job Scheduling, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 16. 765-771 pp.

Pulkki, R., 1984. A Spatial Database – Heuristic Programming System for Aiding Decision-Making in Long Distance Transport of Wood, Acta Forestalia Fennica 188, .1-89.

Robak, E.W., 1990. “Integrated Forest Operations Planning” Forest Modelling Symposium, 13-15 March 1989, Canada.

Robak, E.W., 1994. Integrated Forest Management System (IFMS) Designs for North American Forest Product Companies, Proceedings of the Meeting on Planning and Implementing Forest Operations to Achive Sustainabl Forests, Ed. by C.R. Blinn, M.A. Thompson Michigan, USA, 244-254 pp.

Roise, J.P 2001. “Optimal Development of Transportation Corridors and Ecological Restoration Sites”, Optimal Dynamic Decisions in the Forest Sector at EURO 2001, The European Operational Research Conference, July 9-11, Expo&Conference Center, Erasmus University-Rotterdam.

Samset, I., 1979. “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.

Schnelle, B., 1980. MINCOST Users Instructions. USDA Forest Service Report, Northern Region, Div. of Engineering, Missoula, MT.

Schuster, E.G., Leafers, L.A., Thompsin, J.E., 1993. “A Guide to Computer Basde Analytical Tolls for Implementing National Forest Plans”, USDA Forest Service, Intermountain Research Station General Technical Report, INT-296.

Seçkin, Ö.B., 1984. Orman Nakliyatında Yükleme ve Boşaltma İşleri Üzerine Araştırmalar, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları No: 2905/310. İstanbul, 151 s.

Sessions, J., 1985. A Heuristic Algorithm for The Solution of The Fixed and Variable Cost Transportation Problem. in Proc. of the 1985 Symposium on Systems Analysis in Forest Resources, Dress and Field (eds.). Society of American Foresters, Dec 9-11, Athens, GA, USA.

Sessions, J., J. B. Sessions, 1993. SNAP II/III User's Guide. USDA Forest Service, Portland, OR. 120 pp.

Sessions, J., W. Chung, and 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, 253-258 pp.

Shen, Z., Session, J., 1989. Log Truck Scheduling By Network Programming, Forest Products Journal, Vol.39, No.10,47-50 p.

Sinriech D. ve Samakh E.,1999. "A Genetic Approach to the Pickup/Delivery Station Location Problem in Segmented Flow Based Material Handling Systems", Journal of Manufacturing Systems,18, 2, 81-99 pp.

Sutter, B., 2000. "GIS for Inbound Logistics of Forest Products Industries" Repport Final Project TZ52, Afocel, France.

Soykan, B., 1979. "Aynı Yaşlı Ormanların Kuruluşlarının Optimal Kuruluşa Yaklaştırılmasında Yöneylem Araştırması Metotlarından Yararlanma Olanaklarının Araştırılması", KTÜ Orman Fakültesi Yayınları No: 106/5, Trabzon, 157 s.

Sullivan, E.C., 1974. Network User's Guide. Spec. Rep. Inst. Transport and Traffic ENg. Berkeley, Universty of California.

Suzuki, H., Ichihara, K., and Noda, I., 1998. Road Planning in Forest for Recreation. Journal of the Japan Forest Engineering Society. 13 (3), 151-160.

Vaisanen, U., 1987, Logging and Transportation Plan of a Forest Area, XIV. IUFRO-Kongress, , Münschen. 492-509 pp.

Weintraub, A. and Dreyfus, S.,1985. Modifications and Extensions of Heuristics for Solving Resource Transportation Problems. Coop Agreement Final Report, University of California, Berkeley. 76 pp.

Wenger, K.F.,1991. Logging, Forestry Handbook For The Society of American Foresters, Second Edition, 489-563 p.

Yanık, M., 1999. Visual Basic ile Görsel Programlama: Microsoft Visual Basic for Windows, 1. Baskı, Beta Basım Yayım Dağ. A.Ş., İstanbul.

Yeniay Ö., 2001. "An Overview of Genetic Algorithms", Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 2, 1, 37-49.

Yıldırım, M., 1989. Hasat İşlerinde Sınırlayıcı Faktörler, İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, B, 39, 4.

Yomralıoğlu, T., 2002. Coğrafi Bilgi Sistemleri Temel Kavramlar ve Uygulamalar, ISBN:975-97369-0, Trabzon.

## ÖZGEÇMİŞ

Erhan ÇALIŞKAN, 1976 yılında Trabzon' da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini burada tamamladı. 1995 yılında İÜ Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü'nde lisans öğrenimine başladı. 1999 yılında, 'Orman Mühendisi' olarak mezun oldu. 2000 yılında askerliğini tamamladı. 2001 yılında KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans eğitimine başladı. 2002 yılında Kafkas Üniversitesi Artvin Orman Fakültesi Orman İnşaatı, Geodezi ve Fotogrametri Anabilim Dalında Araştırma Görevlisi olarak başladı. 2003 yılında 'Orman Yüksek Mühendisi' olarak mezun oldu. 2003 yılının sonunda YÖK kanununun 35. maddesi hükmünce KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı'nda doktora yapmak üzere, KTÜ Orman Fakültesi'ne görevlendirildi.

2005 yılında Erasmus kapsamında 12 ay süre ile Avusturya/Viyana, Bodenkultur Üniversitesi (BOKU)'da çalışmalarda bulundu.

15-21.04.2006 tarihleri arasında Avusturya/Ossiach'da 'International Cable Crane Course for Students of European Universities' adlı çalışma programına katıldı. Ayrıca Polonya (Krakov, Varşova) Avusturya ve Almanya'daki bilimsel toplantılarda sözlü bildiriler sundu.

İngilizce bilen Erhan ÇALIŞKAN, bir kitap, çok sayıda ulusal ve uluslar arası bildiri ve makaleye sahiptir. Halen doktora öğrenimini sürdürmektedir.