

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ORMANCILIKTA ENDÜSTRİYEL ODUN HAMMADDESİNİN
TARIM TRAKTÖRLERİYLE BÖLMEDEN ÇIKARILMASINDA
SÜRÜTME ŞERİTLERİ AĞININ OPTİMİZASYONU**

DOKTORA TEZİ

Orm. Yük. Müh. Yılmaz TÜRK

**NİSAN 2011
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ORMANCILIKTA ENDÜSTRİYEL ODUN HAMMADDESİNİN
TARIM TRAKTÖRLERİYLE BÖLMEYEN ÇIKARILMASINDA
SÜRÜTME ŞERİTLERİ AĞININ OPTİMİZASYONU**

Orm. Yük. Müh. Yılmaz TÜRK

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

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 04.04.2011
Tezin Savunma Tarihi : 22.04.2011**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Selçuk GÜMÜŞ
Jüri Üyesi : Prof. Dr. H.Hulusi ACAR
Jüri Üyesi : Doç. Dr. Hamdi ÖĞÜT
Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Erhan ÇALIŞKAN
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Metin TUNAY**

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Trabzon 2011

ÖNSÖZ

“Ormancılıkta Endüstriyel Odun Hammaddesinin Tarım Traktörleriyle Bölmeden Çıkarılmasında Sürütme Şeritleri Ağının Optimizasyonu” adlı bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı’nda “Doktora Tezi” olarak hazırlanmıştır. Bu doktora çalışmasıyla ülkemiz ormancılığı için yararlı olacağı düşünülen sürütme şeritleri ağının optimizasyonu yaklaşımı geliştirilmiştir.

Bu tez çalışmasında; tez konusunun seçiminden çalışmaların yürütülmesi ve sonuçlandırılmasına kadar her aşamada, rahatça çalışabilmem için her türlü desteği sağlayan Tez Danışmanım Sayın Hocam Yrd. Doç. Dr. Selçuk GÜMÜŞ’e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Doktora çalışma konusunun yürütülmesinde fikir desteğini esirgemeyen, rahatça çalışabilmem için her türlü desteği sağlayan ve tez izleme komitesi üyesi olan Sayın Hocam Prof. Dr. H. Hulusi ACAR’a; öneri ve uyarılarından yararlandığım ve tez izleme komitesi üyesi olan Sayın Doç. Dr. Hamdi ÖĞÜT’ e teşekkür ederim. Prof. Dr. Metin TUNAY, Yrd. Doç. Dr. Sezgin HACISALİHOĞLU, Yrd. Doç. Dr. Erhan ÇALIŞKAN, Doç. Dr. Abdullah Emin AKAY, Doç. Dr. Habip EROĞLU, Yrd. Doç. Dr. Mehmet EKER ve Yrd. Doç. Dr. Saliha ÜNVER hocalarıma da önerilerinden dolayı ayrı ayrı teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

İstatistik analizlerin değerlendirilmesinde yardımını aldığım Sayın Yrd. Doç. Dr. İlker ERCANLI’ya ve Arş. Gör. Aydın KAHRİMAN’a teşekkür ederim.

Arazi çalışmalarımın yürütülmesinde yardımlarını gördüğüm Gölyaka/Balıkli Orman İşletme Şefi Sayın Funda GÖNEN’e ve Şeflik personeline teşekkür ederim.

Çalışmamın yoğunluğu karşısında manevi desteğini esirgemeyen Sevgili Eşim Seher’e teşekkür eder, bu çalışmayı eşime ve oğlum Hamza Yiğit’e ithaf ederim. Eğitimimde emeği olan Ailem’e de ayrıca teşekkür ederim.

Bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Araştırma Projeleri Yönetim Birimi tarafından 2008.113.001.3 Kod No’lu Doktora Tezi Projesi olarak desteklenmiştir. Birim çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın sonucunda belirlenen sürütme şeritleri ağının optimizasyonu yaklaşımının ülkemiz ormancılığına yararlı olması en büyük dileğimdir.

Yılmaz TÜRK

Trabzon 2011

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	VII
SUMMARY.....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Ülkemiz Ormancılığında Endüstriyel Odun Hammaddesi Üretimi	4
1.3. Ormancılıkta Bölmeden Çıkarma Yöntemleri	5
1.3.1. İnsan Gücüyle Bölmeden Çıkarma	6
1.3.2. Hayvan Gücüyle Bölmeden Çıkarma	6
1.3.3. Makine Gücüyle Bölmeden Çıkarma	7
1.3.3.1. Tarım Traktörüyle Bölmeden Çıkarma	7
1.3.3.1.1. Traktörle Doğrudan Sürütme Şeridi Üzerinde Sürüterek Bölmeden Çıkarma	8
1.3.3.1.2. Kablo Çekimi ile Bölmeden Çıkarma.....	8
1.3.3.1.3. Traktörün Arkasına Takılan Bir Sele Yardımıyla Bölmeden Çıkarma.....	9
1.3.3.1.4. Traktör Treyler Yardımıyla Bölmeden Çıkarma	9
1.3.3.2. Orman Hava Hatları ile Bölmeden Çıkarma.....	10
1.4. Orman Yol Ağları.....	11
1.4.1. Orman Yol Tipleri ve Standartları.....	11
1.4.1.1. Ana Orman Yolu.....	11
1.4.1.2. Tali Orman Yolu.....	12
1.4.1.2.1. A Tipi Tali Orman Yolu.....	12
1.4.1.2.2. B Tipi Tali Orman Yolu.....	12
1.4.1.2.2.1. Standartları Yükseltilmiş B Tipi Tali Orman Yolu.....	13
1.4.1.2.2.2. Normal B Tipi Tali Orman Yolu	13

1.4.1.2.2.3. Ekstrem B Tipi Tali Orman Yolu	13
1.4.2. Traktör Yolları, Sürütme Şeritleri ve Kablo Çekim Şeritleri.....	13
1.4.2.1. Traktör Yolları.....	13
1.4.2.2. Sürütme Şeritleri.....	14
1.4.2.3. Kablo Çekim Şeritleri.....	22
1.5. Ormancılıkta Kullanılan Traktörler.....	23
1.5.1. Tarım Traktörleri.....	23
1.5.2. Orman Traktörleri.....	25
1.5.3. Özel Orman Traktörleri.....	26
1.6. Odun Hammaddesi Taşınmasının Optimize Edilmesi.....	26
1.6.1. Doğrusal Programlama Modeli ve Modelin Kurulması	29
1.6.2. Tamsayı Programlama.....	34
1.6.3. Dinamik Programlama.....	35
1.6.4. Amaç Programlama.....	36
1.7. Endüstriyel Odun Hammaddesinin Bölmeden Çıkarılmasında Çalışma Verimi.....	37
1.8. Odun Hammaddesinin Taşınmasında CBS' nin Kullanımı	38
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	40
2.1. Araştırmanın Sınırlandırılması ve Planlanması.....	40
2.1.1. Araştırmanın Coğrafik, Teknik, Ekonomik ve Zaman Açısından Sınırlandırılması.....	40
2.1.2. Araştırmanın Planlanması.....	41
2.2. Materyal.....	42
2.2.1. Araştırma Alanının Tanıtımı.....	42
2.2.1.1. Araştırma Alanının Coğrafik, Jeolojik ve İklim Özellikleri.....	42
2.2.1.2. Araştırma Alanının Orman Varlığı ve Orman Yol Ağı Planı.....	44
2.2.1.3. Araştırma Alanının Arazi Yapısı.....	46
2.2.1.4. Araştırma Alanının İşgücü Potansiyeli.....	46
2.2.2. Araştırmada Kullanılan Makine ve Ekipmanlar.....	47
2.2.3. Arazide Kullanılan Etüt Formları	48
2.2.4. Araştırmada Kullanılan Yazılımlar ve Donanımlar.....	48
2.3. Yöntem.....	49
2.3.1. Veri Tabanı Tasarımı ve Veri Temini.....	49

2.3.2.	Ölçüm Yöntemleri.....	52
2.3.2.1.	Sürütmeyi Etkileyen Faktörler ve Zaman Analizleri.....	52
2.3.2.2.	Çevresel Zararlara İlişkin Ölçümler.....	53
2.3.3.	Kullanılan İstatistik Yöntemler	57
2.3.4.	Değerlendirme Yöntemi	58
2.3.5.	Optimum Sürütme Modelinin Belirlenmesi	59
2.3.5.1.	Doğrusal Programlama Modelleri.....	61
2.3.5.1.1.	Model-1-1 İçin Doğrusal Programlama Modeli.....	62
2.3.5.1.2.	Model-2-1 İçin Doğrusal Programlama Modeli.....	63
2.3.5.1.3.	Model-3-1 İçin Doğrusal Programlama Modeli.....	64
2.3.5.1.4.	Model-4-1 İçin Doğrusal Programlama Modeli.....	66
2.3.6.	Sürütme Şeritleri Ağının Optimizasyonunun Sağlanması... ..	67
2.3.7.	Optimum Sürütme Şeridi Deseninin Planlanması ve Bilgisayar Ortamında Test Edilmesi.....	69
2.3.8.	Sürütme Şeritleri Ağının Optimizasyonunun Arazide Test Edilmesi	70
3.	BULGULAR VE TARTIŞMA.....	72
3.1.	Araştırma Alanına Ait Bulgular ve Tartışma.....	72
3.2.	Araştırma Alanı Mevcut Orman Yol Ağına Ait Bulgular ve Tartışma.....	77
3.3.	Tarım Traktörleri ile Bölmeden Çıkarma İşlerine İlişkin Bulgular ve Tartışma.....	79
3.3.1.	Zaman Analizleri ve Etken Faktörlere İlişkin Bulgular ve Tartışma.....	79
3.3.2.	Mevcut Sürütme Şeritlerine İlişkin Bulgular ve Tartışma	81
3.3.3.	Değişkenler Arasındaki İlişkilerin Belirlenmesi.....	86
3.3.4.	Sürütme Modeline Ait Bulgular ve Tartışılması.....	88
3.3.5.	Sürütmede Çevre Zararlarının Modellenmesine Ait Bulgular ve Tartışılması.....	91
3.4.	Optimum Sürütme Modelinin Belirlenmesine Ait Bulgular ve Tartışılması.....	94
3.4.1.	Model-1-1'in Çözümüne Ait Bulgular.....	94
3.4.2.	Model-1-2'nin Çözümüne Ait Bulgular.....	96
3.4.3.	Model-2-1'in Çözümüne Ait Bulgular	97
3.4.4.	Model-2-2'nin Çözümüne Ait Bulgular.....	98
3.4.5.	Model-3-1'in Çözümüne Ait Bulgular.....	99
3.4.6.	Model-3-2'nin Çözümüne Ait Bulgular.....	100

3.4.7.	Model-4-1'in Çözümüne Ait Bulgular.....	101
3.4.8.	Model-4-2'nin Çözümüne Ait Bulgular.....	102
3.5.	Sürütme Şeritleri Ağının Optimizasyonuna İlişkin Bulgular ve Tartışılması.....	103
3.6.	Optimum Sürütme Şeridi Deseninin Planlanması ve Optimum Sürütme Modelinde Test Edilmesine Ait Bulgular ve Tartışılması.....	109
3.7.	Sürütme Şeritleri Ağının Optimizasyonunun Arazide Test Edilmesi.....	113
3.8.	Tarım Traktörleriyle Sürüterek Bölmeden Çıkarmada Ortalama Sürütme Birim Fiyatlarına İlişkin Bulgular ve Tartışılması.....	116
4.	SONUÇLAR	117
5.	ÖNERİLER.....	121
6.	KAYNAKLAR.....	123
7.	EKLER.....	138
ÖZGEÇMİŞ		

ÖZET

Ormancılıkta endüstriyel odun hammaddesinin traktörler ile sürütme şeritlerinden sürütülerek, geçici istif yerlerine getirilmesi bölmeden çıkarma yöntemlerinden birisidir. Traktörler ile yapılan bölmeden çıkarma çalışmaları, sürütme şeritleri üzerinde gerçekleştirilmektedir. Sürütme şeritleri için üretim sahasının tamamını kapsayacak şekilde bir planlamanın hangi esaslara göre yapılacağı yönünde, mevzuata ilişkin bir düzenleme bulunmamaktadır. Bu nedenle zamansal ve ekonomik açılardan kayıplar oluşabilmekte, üretim alanında birçok olumsuz çevresel etkiler de meydana gelmektedir.

Bu çalışmanın amacı, endüstriyel odun hammaddesinin üretimi sırasında tarım traktörleriyle sürütme şeritleri üzerinde sürütme işlerinin teknik, ekonomik ve çevresel açılardan incelenmesi ve saptanan olumsuz yönleri en alt düzeye indirerek yeni bir sürütme modelinin oluşturulması ile sürütme şeritleri ağının optimizasyonunun yapılmasıdır.

Gölyaka Orman İşletme Müdürlüğü, Balıklı Orman İşletme Şefliği'nde eğimi %0-33 arasında olan üretim alanları çalışma alanı olarak seçilmiştir. Bu çalışmada; sürütme şeritleri kavramı değerlendirilmiş, tarım traktörleriyle bölmeden çıkarma işleri incelenmiş, teknik, ekonomik ve çevresel yönlerden istatistik yöntemler kullanılarak sürütme modeli oluşturulmuş ve sürütme şeritleri ağının optimizasyonu sağlanmıştır. Modelin optimize edilmesinde DP yöntemi kullanılmış ve alana ilişkin veri tabanı CBS ile kurulmuştur.

Çalışma sonucunda, geliştirilen optimum sürütme modelinde teknik, ekonomik ve çevresel açıdan adım adım ilerleme ve iyileştirme stratejisi uygulanmış ve sürütme şeritleri ağının optimizasyonu sağlanmıştır. Optimum sürütme modelinin belirlenmesi sonucu tarım traktörleriyle bölmeden çıkarma işinde çalışma verimi mevcut duruma göre %16,84 arttığı ve 100 m³'de 1 m³ tomruğun sürütülmesiyle seferde 0,10 \$ tasarruf sağlandığı görülmüştür. Sürütme şeritleri ağının optimizasyonu yaklaşımıyla üretim alanında, hektarda 236 m² alanın toprak sıkışıklığına maruz kalması, hektarda 17,86 m³ (44829 ton) toprak kaybının olması ve hektarda 2124 adet fidanın zarar görmesi gibi belirlenen olumsuz sonuçlar minimize edilmiştir.

Sürütme şeritleri ağının optimizasyonu yaklaşımıyla endüstriyel odun hammaddesinin bölmeden çıkarılması minimum zaman, maliyet ve çevre zararıyla sağlanabilecektir.

Anahtar Kelimeler: Endüstriyel Odun Hammaddesi, Tarım Traktörleri, Sürütme Şeritleri Ağı, Bölmeden Çıkarma, Optimum Sürütme Modeli, Optimizasyon

SUMMARY

The Optimization of Skid Trails Network for Extracting of Industrial Wood Based Forest Products by Farm Tractors in Forestry

Transporting wood based forest products from temporarily landing areas through skid trails is one of the logging methods in forestry. Logging operation by using tractors takes place on skid trails. Currently, there are no technical regulations indicating principles for planning of skid trail considering entire harvesting unit. This current status may lead to cause time and economical losses and environmental impacts in many places of forested areas.

The objective of this study is investigating technical, economical, and environmental aspects of skidding industrial wood based products by farm tractors on skid trails and optimizing skid trails network by developing new skidding model which minimizes negative effects.

The harvesting units with the ground slope of 0-33% were selected as study area located in Balıklı Forest Enterprise Chief, Gölyaka Forest Enterprise Directorate. In this study; term of skid trail was evaluated, logging with farm tractor was investigated, skidding model was generated considering technical, economical, and environmental aspects, and skid trails network were optimized. In optimization of the model, Linear Programming (LP) method was used and spatial database was generated by GIS.

At the end of this study, step wise improvement and enhancement strategy was implemented in the model by considering technical, economical, and environmental aspects and then skid trails network were optimized. It was found that optimum skid trail model increased productivity of farm tractor logging by 16.84% and 0.10\$ saving was reached in skidding of 1 m³ log on 100 m long skid trail, comparing with current methods. By the means of skid trail optimization approach in the field of forest harvesting, number of environmental impacts were avoided such as soil compaction of 236 m² per hectare, soil loss of 17.86 m³ per hectare, and residual damages on 2124 saplings per hectare.

Extraction of industrial wood based forest products with minimum time, economical, and environmental losses can be ensured by implementing skid trails network optimization approach.

Key Words: Industrial Wood Based Forest Products, Farm Tractors, Skid Trails Network, Extraction, Optimum Skidding Model, Optimization

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Sürütme şeridi genişliği.....	15
Şekil 2. Sürütme şeritlerinin planda görünümü.....	16
Şekil 3. Planlama yapılmamış bir sürütme şeridi	22
Şekil 4. Tarım traktörünün genel görünümü.....	23
Şekil 5. Orman traktörünün genel görünümü.....	25
Şekil 6. Özel orman traktörünün genel görünümü.....	26
Şekil 7. Balıklı Orman İşletme Şefliği çalışma yapılan alanlar.....	43
Şekil 8. Balıklı Orman İşletme Şefliği meşcere tipleri haritası.....	45
Şekil 9. Teknik standartlara uygun orman yolu.....	46
Şekil 10. Tarım traktörüne monte edilmiş kablolu vinç.....	47
Şekil 11. Çalışma alanında kullanılan bazı cihazlar.....	48
Şekil 12. Sürütme şeritleri ağının optimizasyonu yaklaşımı.....	50
Şekil 13. Traktörün yüklü gidişi.....	53
Şekil 14. Zaman ölçümlerinde verilerin elde edilmesi.....	53
Şekil 15. Sürütme şeridinde el penetrometresiyle toprak sıkışıklığı ölçümü.....	55
Şekil 16. Doğal alandan alınan ölçümler.....	55
Şekil 17. Sürütme şeridinde oluşan toprak kaybının ölçülmesi	56
Şekil 18. Bölmeden çıkarma sonucu oluşan fidan zararları.....	57
Şekil 19. Optimum sürütme şeridi desenin belirlenmesinde grafik ve öznitelik veri tabanı.....	68
Şekil 20. Sürütme desenlerinin optimum sürütme modelinde LINDO 6.1 optimizasyon yazılımı ile test edilmesi.....	69
Şekil 21. Üretime girecek her bölmecikteki ağaçları temsil eden noktalar ve optimum sürütme deseninin transport sınırı.....	70
Şekil 22. Balıklı Orman İşletme Şefliği sayısal arazi modeli.....	74
Şekil 23. Balıklı Orman İşletme Şefliği eğim sınıfları ve bölmeleri haritası.....	75
Şekil 24. Balıklı Orman İşletme Şefliği'nin genel özellikleri itibariyle uydudan görünümü.....	76
Şekil 25. Balıklı Orman İşletme Şefliği'nin üç boyutlu görünümü.....	77
Şekil 26. Balıklı Orman İşletme Şefliği orman yol ağı haritası.....	78
Şekil 27. Sürütme şeritleri üzerindeki yatık ve kırık genç bireyler.....	84

Şekil 28. Sürütme şeritleri üzerinde oluşan toprak aşınımı ve anakayanın açığa çıkmış hali.....	85
Şekil 29. Balıklı Orman İşletme Şefliği çalışma alanı optimum konumsal sınıf haritası.....	105
Şekil 30. Optimum konumsal sınıf katmanı üzerine radyal sürütme şeridinin Planlanması.....	106
Şekil 31. Optimum konumsal sınıf katmanı üzerine paralel sürütme şeridinin planlanması.....	106
Şekil 32. Optimum konumsal sınıf katmanı üzerine geliştirilen sürütme şeridinin planlanması.....	107
Şekil 33. Çalışma alanı optimum sürütme şeritleri ağ haritası.....	110

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.	Literatürde tespit edilen çevre zararlarıyla ilgili çalışmalar.....	18
Tablo 2.	Literatürde tespit edilen çevre zararlarını en aza indirmeye yönelik çalışmalar.....	21
Tablo 3.	Araştırman alanında yaygın olarak kullanılan tarım traktörlerinin teknik özellikleri.....	25
Tablo 4.	Balıkli Orman İşletme Şefliği orman varlığı.....	44
Tablo 5.	Optimum konumsal sınıf.....	67
Tablo 6.	Balıkli Orman İşletme Şefliği'nin eğim sınıflarına dağılımı.....	72
Tablo 7.	Traktörle bölmeden çıkarma sürecinde ölçülen ve gözlenen değişkenlere ilişkin aritmetik ortalama, standart sapma, minimum ve maksimum değerler..	79
Tablo 8.	Sürütme şeritlerinde ve KN'de ölçülen ve gözlenen değişkenlere ilişkin aritmetik ortalama, standart sapma, minimum ve maksimum değerleri.....	82
Tablo 9.	Traktörlerle bölmeden çıkarmada zamansal değişkenlerin ilişkilerini gösteren korelasyon analizi sonuçları.....	87
Tablo 10.	Sürütme şeritleri üzerinde meydana çevresel zararlara ilişkin değişkenlerin ilişkilerini gösteren korelasyon analizi sonuçları.....	87
Tablo 11.	Traktörle bölmeden çıkarmada yüklü gidiş ve boş dönüş zamanlarının hesaplanmasında regresyon eşitlikleri (sürütme modeli).....	89
Tablo 12.	Sürütme şeritleri üzerinde meydana gelen toprak kayıplarının ve toprak sıkışıklığının hesaplanmasında regresyon eşitlikleri.....	92
Tablo 13.	Optimum sürütme modelinde farklı değerlerdeki parça sayısı ve tomruk hacmi deneme sonuçları.....	95
Tablo 14.	Optimum konumsal sınıflara ait bulgular.....	104
Tablo 15.	Sürütme desenlerine ilişkin konumsal ve zamansal analizlere ait bulgular...	108
Tablo 16.	Balıkli Orman İşletme Şefliği 2010 yılı yıllık uygulama planı, damgalanan ağaç bilgileri ve bölmeciklerdeki konumsal dağılımları.....	111
Tablo 17.	Optimum sürütme modelinde test edilen bazı sürütme şeritlerine ilişkin elde edilen konumsal ve zamansal verilere ait bulgular.....	112
Tablo 18.	Tarım traktörleri veriminin optimum sürütme şeritlerinde ve mevcut sürütme şeritlerinde LINDO 6.1 optimizasyon yazılımı ile test edilmesi ve şeritlerin çevresel yönden karşılaştırılması.....	112
Tablo 19.	Arazi ortamında optimum sürütme modelinde test edilen sürütme şeritlerine ilişkin elde edilen konumsal ve zamansal verilere ait bulgular.....	114
Tablo 20.	Arazide test edilen optimum sürütme modeli deseni ile mevcut sürütme şeritlerinin verim ve çevresel yönden karşılaştırılması.....	115

SEMBOLLER DİZİNİ

CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
DKGH	: Dikili Kabuklu Gövde Hacmi
DOİ	: Devlet Orman İşletmesi
DPT	: Devlet Planlama Teşkilatı
GPS	: Küresel Konumlama Sistemi (Global Positioning System)
KN	: Kontrol Noktası
DP	: Doğrusal Programlama (Linear Programming)
OGM	: Orman Genel Müdürlüğü
ÖA	: Örnek Alan
SAM	: Sayısal Arazi Modeli
psi	: pound per square inch
tgg	: traktör gücü grupları
ps	: parça sayısı
th	: tomruk hacmi
zd	: zemin durumu
zs	: zemin sınıfı
eg	: eğim grupları
ts05	: toprak sıkışıklığı 0-5 cm
ts510	: toprak sıkışıklığı 5-10 cm
sm	: sürütme mesafesi
kth	: kaybolan toprak hacmi
e	: eğim
şg	: şerit genişliği
ygz	: yüklü gidiş zamanı
bdz	: boş dönüş zamanı
fs	: fidan sayısı
knts05	: kontrol noktasındaki toprak sıkışıklığı 0-5 cm
knts510	: kontrol noktasındaki toprak sıkışıklığı 5-10 cm

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Ormancılık, insanlara çeşitli ürün ve hizmetler sağlamaya yönelik, biyolojik, ekonomik, sosyal ve teknik çalışmaların tümünü kapsayan yönetsel bir etkinliktir. Ormancılığın temel amacı ormanlardan topluma çeşitli mal ve hizmetler sunmaktır. Bu nedenle ormancılık, insan gereksinmelerini karşılamaya yönelik bir ekonomik etkinlik olup, ulusal ekonominin kollarından birini oluşturmaktadır. Ormancılık; orman korunması, bakımı, imarı ve yetiştirilmesi, orman ürünlerinin hasadı (üretim) ile değerlendirilmesi, orman işçiliği, çeşitli teknik ve özellikleri taşımaktadır (Özdönmez vd., 1996).

Ormancılık çalışmalarını sırasıyla; alt yapı (yol, fidanlık, bina, tesis v.b.), yetiştirme (ekim, dikim, bakım), koruma, kesim ve bölmeden çıkarma, taşıma-depolama ile değerlendirme gibi aşamalarda toplamak ormancılık esaslarına uygundur (Erdaş, 1997).

Ülkemizde endüstriyel odun hammaddesi talebinin %60'ı Orman Genel Müdürlüğü (OGM) tarafından karşılanmakta olup, orman işletmelerine ait gelirlerin en az %90'ı bu yolla sağlanmaktadır. OGM'nin yaptığı odun hammaddesi üretiminin yaklaşık %59'unu endüstriyel odun üretimi, bunun da %38'ini tomruk üretimi oluşturmaktadır (DPT, 2007). OGM'nin yıllık üretiminin yaklaşık 15 milyon m³'ü endüstriyel odun, 10 milyon steri ise yakacak odun olarak kullanılmaktadır. Özel sektör tarafından yapılan yıllık odun üretimi ise yaklaşık 3-3,5 milyon m³ civarında gerçekleşmektedir. Ülkemizdeki yıllık odun hammaddesi tüketimi ise ortalama 23-24 milyon m³/yıl'dır. Ülkemizde odun üretimi piyasa talebini karşılayamaz durumda olup endüstriyel odun hammaddesi talebinin %15'i başka ülkelerden ithal edilerek karşılanmaktadır (Kaplan, 2007; Acar vd., 2008).

Orman işletmeciliğinin en önemli ilkelerinden biri olan süreklilik ilkesi, diğer ormancılık çalışmaları gibi odun hammaddesinin üretimiyle de gerçekleşmektedir. Bir orman işletmesi devamlılığını sağlayabilmesi için gelir kaynağına sahip olması gerekir. Orman işletmeleri ormanda üretilen odun hammaddesini ekosisteme zarar vermeyecek şekilde alarak piyasaya ulaştırır ve gelirlerinin büyük bir kısmını elde eder. Bu süreç içinde bölmeden çıkarma en önemli aşamayı oluşturur (Acar, 2004).

Endüstriyel odun hammaddesi üretim aşamalarından biri olan bölmeden çıkarma işlerinde teknik, ekonomik ve çevresel faktörlere göre farklı araç ve yöntemler

uygulanmaktadır. Odun hammaddesinin orman traktörü veya tarım traktörü ile sürütme şeritleri üzerinde sürütülerek geçici istif yerlerine (rampaya) getirilmesi bu yöntemlerden birisidir. Sürütme çalışmalarında en belirgin etmen arazinin topografyasıdır. Bayoğlu (1996) arazi sınıflamasına göre; düz, hafif eğimli, orta eğimli ve dik arazide (%0-50) yer alan ormanların işletmeye açılmasını sağlayan sürütme şeritlerinin, meşcerenin entansif bir şekilde bakımının gerçekleştirilmesi yönünden de büyük önem taşıdığını belirtmiştir. Üretim alanlarında %50'den fazla eğimlerde sürütme şeritlerinin yapılması erozyonu arttırmaktadır (Garland, 1997).

Ülkemizde üretim işleri OGM'ce yürütülmektedir. OGM'nin 2010 yılı genel üretim giderleri toplamı 610 000 000 TL'dir (OGM, 2010a). Genel üretim giderleri, tüm genel giderlerin %39'una karşılık gelmektedir. Üretim giderleri içerisinde yer alan sürütme ve toplama giderleri ise genel üretim giderlerinin yaklaşık %41'idir (247 890 000 TL). Bu da bölmeden çıkarma işlerinin ekonomik yönden ne derecede önemli olduğunu ortaya koymaktadır. Tarım traktörleriyle sürüterek bölmeden çıkarma işlerinin gerçekleştirildiği sürütme şeritlerine ilişkin olarak çeşitli teknik tanımlamalar yapılmıştır. OGM'nin Orman Yolları Planlaması, Yapımı ve Bakımına Ait 292 Sayılı Tebliğinde her türlü standart dışı mevcut orman yollarının, sürütme yolu (şeridi) veya acil yangın müdahalelerinde kullanıldığı belirtilmiştir. OGM'nin 288 sayılı tebliğinde ise sürütmenin idarece tespit edilen geçkilerden yapılacağı, önceden üretim yapılmış ise meydana gelen sürütme yollarının (şeritlerinin) tercih edileceği, ihtiyaç duyulan sürütme yollarının ise inşa edileceği belirtilmiştir (OGM, 1996; OGM, 2010b). Ancak sürütme şeritleriyle ilgili teknik özellikler verilmesine rağmen, bütün bir üretim alanı için planlama modeli veya temel ilkeler açıklanmamıştır.

Uygulamada genel olarak sürütme şeritleri planlaması yapılmamakta, sürütmeye uygun arazi koşullarında endüstriyel odun hammaddesi düzensiz bir şekilde yükleme yerlerine sürütülerek getirilmektedir. Sürütme şeritleri için üretim alanının tamamını kapsayacak şekilde bir planlamanın hangi esaslara göre yapılacağı yönünde, mevzuatta doğrudan sürütme şeritleri için hazırlanmış bir düzenleme mevcut değildir. Plansız ve programsız olarak odun hammaddesinin bölmeden çıkarılması sonucunda orman alanlarının birçok yerinde gelişmiş sürütme şeritleri oluşmaktadır. Böylece bu alanlarda toprak sıkışması ve aşınımı artmakta, ayrıca sürütme maliyeti ve zamanı da yükselebilmektedir. Bununla beraber bahsedilen problemleri optimize edecek bir sürütme modeli de oluşturulmamıştır.

Bu doktora çalışmasının konusu; endüstriyel odun hammaddesinin tarım traktörleriyle sürütme şeritleri üzerinde sürütülerek bölmeden çıkarılmasında optimum sürütme modelini oluşturmak ve sürütme şeritleri ağının optimizasyonunu sağlamaktır. Çalışma konusu ülkemizde ilk defa ele alınacak bir konudur.

Çalışma konusu ile ulusal ve uluslararası literatürde doğrudan örtüşen bir çalışma bulunmamaktadır. Ancak konu ile ilgili dolaylı olarak yapılmış çalışmalar mevcuttur. Ulusal ve uluslararası bilim çevrelerinde odun hammaddesinin bölmeden çıkarma işlerinin olumsuz yönleri ortaya konulmuş, özellikle uluslararası çalışmalarda su kaynaklarını korumaya, meşcere zararlarını ve toprak sıkışmasını önlemeye yönelik çalışmalar yapılmıştır (Garland, 1997; Anonym, 2002a; Anonym, 2002b). Ancak sürütme çalışmalarını optimize edecek bir sürütme modeli ve optimum sürütme şeritleri planı oluşturulmamıştır.

Çalışma alanı ve ülke bazında endüstriyel odun hammaddesinin tarım traktörleriyle sürütme şeritleri üzerinde sürütülerek bölmeden çıkarılması işlerinde teknik, ekonomik ve çevresel yönden eksiklikler bulunmaktadır. Bunlar; zor arazi koşullarında düzensiz bir şekilde sürütme yapılarak iş güvenliğinin zora sokulması, en güvenli ve en ekonomik sürütme modelinin belirlenmemiş olması ve çevresel bakımdan doğal peyzaja, kalan meşcereye, orman toprağına zarar verilmesi gibi eksikliklerden oluşmaktadır (Bayoğlu, 1996).

Gölyaka Orman İşletme Müdürlüğü'ne bağlı Balıklı Orman İşletme Şefliği'nde (Gölyaka/Düzce) hazırlanan bu tez çalışması kapsamında;

- Sürütme şeritleriyle ilgili ulusal ve uluslararası çalışmaların teknik, ekonomik ve çevresel açılardan literatür analizlerinin yapılması ve değerlendirilmesi,
- Tarım traktörlerinin sürütme işlemini yapabildiği %0-33 eğimli alanların konumsal olarak belirlenmesi,
- Mevcut sürütme şeritlerinin teknik özelliklerinin (eğim, uzunluk, genişlik) tespit edilmesi,
- Odun hammaddesinin tarım traktörüyle sürütme şeritleri üzerinden sürütülerek geçici istif yerlerine getirilme zamanını ve sürütme güçlüğüne etkileyen faktörlerin değerlendirilmesi,
- Endüstriyel odun hammaddesinin tarım traktörleriyle zemin üzerinde sürütülerek bölmeden çıkarma çalışmalarının fidanlar ve orman toprağında meydana getirdiği zararların belirlenmesi ve benzer doğal alanlarla karşılaştırılması,

- Zamansal ve çevresel verilerin istatistiksel olarak değerlendirilmesi,
- Optimum sürütme modelinin DP ile LINDO 6.1 optimizasyon yazılımında oluşturulması,
- Sürütme desenlerinin teknik, ekonomik ve çevresel yönlerden CBS ve LINDO 6.1 yazılımlarında karşılaştırılması ve optimum sürütme şeridi deseninin belirlenmesi,
- Optimum sürütme şeridi planının CBS ve LINDO 6.1 yazılımlarında test edilmesi ve sonuçların mevcut sürütme şeritleriyle karşılaştırılması,
- Optimum sürütme şeridi ağı planının arazide test edilmesi ve sonuçların mevcut sürütme şeritleriyle karşılaştırılması konuları araştırılmıştır.

Bu doktora tez çalışmasının amacı, (1) Sürütme işleminin gerçekleştiği transport tesisi için yapılan farklı tanımları tek bir tanımla birleştirmek, (2) Endüstriyel odun hammaddesinin üretiminde uygulanmakta olan tarım traktörleriyle sürütme şeritleri üzerinde sürütme işleminin teknik, ekonomik ve çevresel açılarından incelemek, (3) Sürütme şeritleri üzerinde gerçekleşen, sürütme işleminde tespit edilen kısıtlayıcı faktörleri belirlemek (4) Sürütme sonucu saptanan olumsuz yönleri en alt düzeye indirmek, (5) Yeni bir optimum sürütme modelini oluşturmak, (6) Sürütme şeritleri ağının optimizasyonunu sağlamak, (7) Araştırma alanı optimum sürütme şeritleri ağ haritasını oluşturmaktır.

Araştırma sonuçları OGM'ye aktarılacak ve sürütme şeritleri ağının optimizasyonu ile ilgili önerilerde bulunulacaktır. Sürütme şeritleri ağının optimizasyonu yaklaşımının uygulamaya aktarılması halinde OGM sürütme giderlerinin önemli düzeyde azalacağı düşünülmektedir. Ayrıca sürütmeden dolayı oluşan diğer olumsuz etkiler de minimuma indirilecektir.

1.2. Ülkemiz Ormancılığında Endüstriyel Odun Hammaddesi Üretimi

Asli orman ürünü olan odun hammaddesinin üretimi; idari yaşını doldurmuş, çap ve boy bakımından ergin hale gelmiş ağaçların piyasadaki yapacak ya da yakacak odun hammaddesi talebinin karşılanması veya orman işletmelerinin kazanç elde etmesi amacıyla kesilerek depolara taşınması sürecinde uygulanan faaliyetlerin tamamıdır (Erdaş, 1997).

Ormancılıkta endüstriyel odun hammaddesinin (tomruklar, direkler ve sanayi odunları vb.) üretimi; genel itibarıyla kesme, bölmeden çıkarma ve taşıma aşamalarından oluşmaktadır. Bu aşamaların yeri ve şekli organizasyona bağlı olarak değişebilmektedir (Özçamur, 1981; FAO, 1982; Erdaş, 1986; Dykstra and Heinrich, 1996).

Türkiye ormanlarının yaklaşık yarısı, eğimin %44'ün üzerinde olduğu dağlık alanlarda yayılış gösterir (DPT, 2007). Bu nedenle bölmeden çıkarma aşaması, odun hammaddesi üretim aşamalarının en zor, pahalı ve çevresel zararı en fazla olan aşamasıdır. Türkiye'de en yaygın olarak kullanılan bölmeden çıkarma tekniği, yaklaşık %95 oranında zemin üzerinde sürütme yöntemidir. Ülkemizde zemin üzerinde sürütme; insan gücü (%72), hayvan gücü (%15) ve traktör (%8) gücüyle gerçekleştirilmektedir. Bunların yanı sıra tamamen askıda ya da bir ucu askıda olarak taşıma yapabilen hava hatları (%5) gibi makine gücüne bağlı basit ve ara teknolojiler de kullanılmaktadır (Erdaş ve Acar, 1993).

Acar'ın (2000; 2004) yapmış olduğu çalışmalarla, ince çaplı ürünlerin bölmeden çıkarılmasında oluk ve monorail sistemlerinin kullanılması da yaygınlaşmıştır. Günümüzde, kalın çaplı ürünlerin bölmeden çıkarılmasında çevresel zararı en az olan yöntemlerin balon ve helikopter olduğu düşünülmektedir (Flatten, 1991; Blakeney, 1992). Fakat bu tekniklerin çok pahalı olmaları ve ülkemizdeki teknolojinin bu metotlar için yetersiz kalması nedeniyle tercih edilmemektedir.

1.3. Ormanlıkta Bölmeden Çıkarma Yöntemleri

İnsan ve eşyanın bir yerden diğer bir yere taşınması, insanlık tarihinin kaydettiği en eski ihtiyaçlarından birisidir. Nitekim yol ve taşıma araçlarındaki gelişme, hayat standartlarının gelişmesiyle birlikte ilerlemiştir. Gerçekten bugün taşıma işleri, üretimi tüketime bağlayan bir köprü olması nedeniyle ekonominin de önemli bir parçası durumuna gelmiştir (Erdaş, 1997).

Ormancılığın temel prensibi olan sürdürülebilirlik ilkesini gerçekleştirebilmek için orman ürünlerinin üretildiği yerlerden tüketim yerlerine ulaştırılması gerekmekte bu da transport şeklinde olmaktadır.

Orman içerisinde kesilip hazırlanmış orman ürünlerinin transport süreci iki aşamadan oluşmaktadır. İlk olarak orman içerisinde belirlenen en uygun bölmeden çıkarma yöntemi ile orman yolu kenarına ya da geçici istif yerlerine getirilmesi, daha sonra traktör treyler, kamyon ve kamyon treyler, su, hava yolu vb. gibi uzak nakliyat araçları kullanılarak orman depolarına ulaştırılmasıyla son bulmaktadır.

Üretim işlerinin planlanmasında, bölmeden çıkarma yöntemleri genelde arazi eğim sınıflarına göre belirlenmektedir. Üretim tipinin belirlenmesinde baz alınan eğim grupları şu şekildedir: Tarım traktörü ile sürütme ve hayvan gücü ile taşıma %0-33 eğimli alanlar,

orman traktörü ile kablo çekimi suretiyle bölmeden çıkarma %34-50 eğimli alanlar ve hava hattıyla kablo çekimi ile bölmeden çıkarma %50< eğimli alanlardır (Erdaş vd., 2007). Aşağıda odun hammaddesinin bölmeden çıkarılmasında genel olarak kullanılan üç farklı yöntem (İnsan, hayvan ve makine gücü) açıklanmıştır.

1.3.1. İnsan Gücüyle Bölmeden Çıkarma

Odun hammaddesinin bölmeden çıkarılması işinde kullanılan en eski ve en basit olan yöntem insan gücünden ve tomruğun ağırlığından yararlanılan yöntemdir. Özellikle düz ve yayvan arazide bölmeden çıkarma işlerinde insan gücünün başarısı daha dar sınırlar içinde kalmaktadır. Fakat arazinin eğimli olduğu durumlarda eğimden ve tomruğun kendi ağırlığından yararlanılarak ve çok basit el araçları kullanılarak bölmeden çıkarma etkili bir şekilde sağlanabilmektedir. İnsan gücüyle bölmeden çıkarma genel olarak üç şekilde olmaktadır. Bunlar;

- a) İnsan Gücüyle Taşıma Suretiyle Bölmeden Çıkarma
- b) Zemin Üzerinde Kontrollü Kaydırarak Bölmeden Çıkarma
- c) Zemin Üzerinde Kontrolsüz Kaydırarak Bölmeden Çıkarma

1.3.2. Hayvan Gücüyle Bölmeden Çıkarma

Hayvan gücünden yararlanılarak bölmeden çıkarmada genelde at, manda, katır ve öküz gibi koşum hayvanları kullanılır. Hayvanlar ile bölmeden çıkarma yöntemleri; sırtta taşıma, koşum hayvanlarına boyunduruk takılarak zeminde sürütme şeklinde taşıma ve kızak ile tomruk arabası gibi akslı arabaları çekme şeklinde sıralanabilir. Bölmeden çıkarmada kullanılan hayvanların çekme gücü cinslerine, ağırlıklarına, çekme hızlarına ve çekme mesafesinin uzunluğuna göre değişmektedir. Ağırlık olarak 700-800 kg ağırlığındaki atların 1 m/sn çekme hızındaki çekme güçleri 100 kg, 600-650 kg ağırlığındaki atların 1,1-1,2 m/sn çekme hızındaki çekme gücü 75-80 kg ve 375-400 kg ağırlığındaki atların 0,8-1,1 m/sn çekme hızındaki çekme güçleri ise 60-80 kg'dır. Hayvan gücüyle taşımada en uygun taşıma yukardan aşağıya doğru, arazi eğiminin %0-33 olduğu alanlardır (Acar, 2004).

Hayvan gücüyle bölmeden çıkarma ülkemizde uygulama yeri olan bir metottur. Ancak bu metodun uygulanmasında; çekim gücünün yer yer yetersiz kalması, büyük

hacimdeki gövdeleri bölmeden çıkarmaya yeterli olmaması, yol altından yukarıya doğru çekimin yapılamaması, en çok 100 m gibi bir sürütme mesafesi için uygun ve ekonomik olması, hayvanların bakımının orman içinde zor olması, özel bakım yerleri ve bakıcılar gerektirmesi gibi olumsuz yönleri bulunmaktadır (Erdaş, 2008).

1.3.3. Makine Gücüyle Bölmeden Çıkarma

İnsan ve hayvan gücü ile bölmeden çıkarma kas gücüne dayalı metotlardır. Her ikisi de yukarıdan aşağıya doğru bölmeden çıkarma işlerinde uygulama yeri bulur. Makine gücünün bölmeden çıkarma işlerinde kullanılmasıyla bu özellik taşıma şeklini değiştirmiştir. Makine gücü ile bölmeden çıkarma ile aşağıdan yukarıya doğru da bölmeden çıkarma mümkün olmuştur. Türkiye’de traktörlerle bölmeden çıkarma yönteminin kullanım oranı yaklaşık %8, orman hava hatlarıyla bölmeden çıkarma yönteminin oranı ise yaklaşık %5’dir

- a) Traktörler ile Bölmeden Çıkarma
- b) Orman Hava Hatları ile Bölmeden Çıkarma

1.3.3.1. Tarım Traktörüyle Bölmeden Çıkarma

Hayvan gücü ile bölmeden çıkarmanın bütün olumsuz yönlerini kapatan bir bölmeden çıkarma metodu olması yanında hayvan gücü ile bölmeden çıkarmanın yeterli olmadığı yerlerde, kaydırarak bölmeden çıkarmada meydana gelen zararların azaltılması gerektiği yerlerde kullanılan bir metottur. Traktörlerde motor gücünden yararlanılarak arka tekerleklerin tahrik edilmesi hareketi sağlarken ön tekerlekler yön seçicidir. Traktör ağırlığı ve yük arka tekerlerde dengelenir (Acar, 2004). Ayrıca endüstriyel odun hammaddesinin sürütülerek bölmeden çıkarılmasında, tarım traktörleri en uygun %0-33 eğimli arazide çalışabilmektedir (Bayoğlu, 1996; Bayoğlu, 1997; Erdaş vd., 2007). Tarım traktörleri ile bölmeden çıkarma 4 değişik şekilde yapılmaktadır.

- a) Doğrudan sürütme şeridi üzerinde sürüterek bölmeden çıkarma (Traktöre takılan ek bir sistem yardımıyla orman ürünlerinin sürütülmesi)
- b) Kablo çekimi ile bölmeden çıkarma
- c) Traktörün arkasına takılan bir sele yardımıyla bölmeden çıkarma
- d) Traktör treyler yardımıyla bölmeden çıkarma

1.3.3.1.1. Traktörle Doğrudan Sürütme Şeridi Üzerinde Sürüterek Bölmeden Çıkarma

Bu yöntem sürütme şeridi eğiminin %0-33 arasında olduğu arazide kullanılmaktadır. Endüstriyel odun hammaddesi tarım traktörünün zincirlerine bağlanarak sürütme şeritleri üzerinde sürütülerek geçici istif yerlerine ulaştırılmaktadır.

Traktörle Bölmeden Çıkarmayı Etkileyen Faktörler: Orman ürünleri transportunda ekonomi, transportu etkileyen faktörlerin başında gelmektedir. İşletmenin ekonomik yapısı, bütün ormancılık uygulamalarında olduğu gibi transport ile de doğrudan ilişkilidir. Ormancılıkta transport zamanı, ürünlerin üretildikleri yılda, ekonomik değer kaybına uğramadan ve işletmenin giderlerini karşılayacak şekilde pazarlanabilmesi için son derece önemlidir. Orman transport tesis ve taşıtları, transport aşamalarının her ikisinde de en önemli faktördür. Kullanılacak bölmeden çıkarma yöntemini belirlemede, mevcut üretim tesis ve taşıtları öncelikle gözden geçirilmelidir. Bundan sonra bölgenin orman varlığı, üretim periyodu uzunluğu ve ekonomik koşulları değerlendirilerek kullanılması en uygun olan bölmeden çıkarma tekniği belirlenir (Acar, 2004).

Araştırmanın yapıldığı Balıklı Orman İşletme Şefliği'nde 2009 ve 2010 yılları verilerine göre ortalama yıllık üretimin (21185 m³) %58'i tarım traktörleriyle sürüterek gerçekleştirilmiştir.

1.3.3.1.2. Kablo Çekimi ile Bölmeden Çıkarma

Tarım traktörleri ile en çok karşılaşılan bölmeden çıkarma tekniği kablo çekimleridir. Bu çekimde traktörle bölmeden çıkarma yerinin sonunda bir dönüş yeri varsa traktör, ön tekerlekler yönünde ilerler. Eğer yoksa arka tekerlekler yönünde geriye doğru çekim yapacağı noktaya doğru ilerler.

Kablo çekimi yapılacağı yere gelen traktör durur ve bu sırada traktörün tamburu boşa alınır. Bir işçi tamburdan çözdüğü kabloyu çeker ve orman içine ürüne doğru götürür. Tamburdaki kablo açılır ve orman ürününe bağlanır. Yine kablo çekimine hazırlanan traktörün destek tablasının oturtulmuş olması gerekmektedir. Kablonun ürüne bağlanması sapan (çoker) sistemiyle yapılır.

Traktörün orman yolundan bir sürütme şeridi ile meşcere içerisine girmesi ve oradan ürünü önce bir ön sürütme ile sürütme şeridi kenarına kadar çekmesi sonra sürütme şeridi üzerinden sürüterek en yakın yerdeki geçici istif yeri kenarına kadar sürütmesi ile

bölmeden çıkarma işlemi tamamlanmış olur. Traktör meşcereye, sürütme şeridi üzerinde dönüş yerinin olup olmamasına göre, ya ön tekerleği ile girer veya arka tekerlekleri ile girer (Acar, 2004).

1.3.3.1.3. Traktörün Arkasına Takılan Bir Sele Yardımıyla Bölmeden Çıkarma

Küçük sanayi, yakacak ve istif odunlarının bölmeden çıkarılmasında kullanılan ve traktöre sele adı verilen bir ekipman takılarak yapılan bir bölmeden çıkarma metodudur. Bu ekipmanla yakacak odunlar, sanayi odunları ve kâğıtlık odunlar gibi kısa boy ve insan gücü ile taşınabilen ürünler bölmeden çıkarılabilir.

Odunlar meşcere içerisinde ön sürütme ile traktör yoluna getirilir ve traktörün selesine atılır. Bu şekilde istif yerine getirilirler ve istif edilirler. Bu yöntemle çok kısa zamanda bölmeden çıkarma uygulanır ve oldukça verimli çalışılır.

Bu yöntem römorkun basitleştirilmiş bir şeklidir. 1 işçi traktör operatörü olarak 1 işçide yüklemeyi yapmak üzere en az 2 işçiden oluşan bir ekiple çalışılır. Diğer işçilerle yükleme beslenebilir ve verim artırılabilir.

Bu yöntem ormanı korur, ikinci derece ürünleri bölmeden çıkarır, ek gelir sağlar ve traktörün tarımdan arta kalan zamanlarda orman işlerinde kullanımını sağlar. Türkiye'de son derece fazla kullanılan bir yöntem olarak gözlenmektedir. Düzce ve yöresinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Acar, 2004).

1.3.3.1.4. Traktör Treyler Yardımıyla Bölmeden Çıkarma

İki akslı olanlara treyler, tek akslı olanlara ise römork adı verilir. Her türlü tomruk ürünlerini römorklara veya treylerlere yükleyerek bölmeden çıkarılması olanaklıdır. Traktör yollarında hareket edilerek gerekli yerlerde yüklemeler yapılarak uygulanır. Meşcere içlerine girilmez. Kesinlikle ön sürütmeye ihtiyaç vardır. Oldukça fazla oranda kullanılır. Treyler düz alanlarda kullanılır ve hareket kabiliyeti römorklara göre daha azdır (Acar, 2004).

1.3.3.2. Orman Hava Hatları ile Bölmeden Çıkarma

Orman hava hatları diğer bölmeden çıkarma tekniklerinden çok farklıdır. İnsan gücü ile bölmeden çıkarmada hacim sınırlı ve kaydırma tek yönlü olup eğimin yüksek olması durumunda yapılabilir. Hayvan gücü ile bölmeden çıkarmada yüksek eğimli arazide yukarıdan aşağıya doğru bölmeden çıkarma yapılamaz. Yüksek eğimlerde traktörle bölmeden çıkarmada ise yukarıdan aşağıya doğru nakliyatın yapılamaması ve kablo boyunun kısa olması gibi olumsuz durumlar söz konusudur. Bütün bu olumsuz koşulların ortadan kaldırılması için hava hatları geliştirilmiştir (Acar, 2004).

Ülkemizde hava hatlarıyla bölmeden çıkarma çalışmaları özellikle Karadeniz Bölgesi'nde Artvin, Trabzon, Gümüşhane, Zonguldak ve Kastamonu'da, Akdeniz Bölgesi'nde ise Antalya ve İzmir'de yapılmıştır. Orman hava hatları hizmet götürmekten çok bölmeden çıkarmaya yönelik olarak geliştirilmiştir. Bu nedenle belirli bir yol yoğunluğunun hava hatları ile birleşimi sağlanarak ormancılık faaliyetleri ve özellikle tali nakliyat en yüksek noktaya doğru çekilebilir (Acar, 2004).

Orman hava hattı sistemleri içinde küçük ve büyük yapıda olanlar birbirinden farklı şekilde bölmeden çıkarma işlerini gerçekleştirmektedir. Küçük yapıda olanlar daha çok aralama kesimlerine kadar olan devrede orman içinde kullanılmaktadır. Vinçli orman hava hatlarının da içinde bulunduğu kablo hatlarını çok kesin ve net bir şekilde sınıflandırmak mümkün olmamaktadır. Çünkü taşıyıcı kablo ihtiva edip etmemesi, bölmeden çıkarmayı yerden veya havadan gerçekleştirmesi, vinç ihtiva edip etmemesi, kullanım mesafelerinin uzunlukları gibi faktörler birer sınıflandırma kriteri olmaktadır (Erdaş, 2008).

Orman hava hatları ile bölmeden çıkarma yöntemleri genel olarak aşağıda belirtilmiştir:

- a) Tel Kaydıraklar ile Bölmeden Çıkarma: Tel kaydıraklar ile taşıma yapılması için eğim en az %20-25, en fazla %60 olmalıdır. Genellikle 200-400 m arasındaki uzunluklarda kullanılır.
- b) Teleferik Sistemi ile Bölmeden Çıkarma: Motor gücü ile taşıma sayesinde daha ağır odun hammaddesi, daha uzun mesafede ve daha yüksek eğimde (%50-80) kontrollü olarak taşınabilmektedir. Teleferik hatlarının taşıma kapasiteleri maksimum 350 kg'a kadar ulaşmaktadır.

- c) Çift Tamburlu Traktör Vinçlerinin Hava Hattı Biçiminde Çalıştırılması ile Bölmeden Çıkarma: Traktör vinçleri 100-150 m arasındaki mesafelerde etkili olarak kullanılabilir.
- d) Kısa Mesafeli Mobil Vinçli Hava Hatları ile Bölmeden Çıkarma: Kısa mesafeli hava hatları 300 m ve daha kısa mesafelerde kurulan hava hatlarıdır.
- e) Orta Mesafeli Mobil Vinçli Hava Hatları ile Bölmeden Çıkarma: Orta mesafeli hava hatları 300-800 m arasındaki mesafelerde kullanılmaktadır.
- f) Uzun Mesafeli Kızaklı Hava Hatları ile Bölmeden Çıkarma: Uzun mesafeli hava hatları 800-2000 m arasındaki mesafelerde kurulan hava hatlarıdır (Erdaş, 2008).

1.4. Orman Yol Ağları

Orman Yolları Planlaması, Yapımı ve Bakımına Ait 292 Sayılı Tebliğde; orman yol ağı planlarının amaç ve kapsamı, "bir orman topluluğunun entansif olarak işletilmesi için ekim, dikim, bakım, hastalık ve zararlılarla mücadele, yangınlardan koruma veya söndürme gibi çeşitli ormancılık hizmetlerinin zamanında, usul ve tekniğine uygun olarak yapılabilmesi amacıyla ormandaki tüm meşcerelerde ulaşımı sağlamak", tarifi ise, "bir orman topluluğundan elde edilecek her çeşit hâsılatı amaca uygun bir şekilde ve sürekli olarak taşımaya ve çeşitli ormancılık hizmetlerini yapmaya elverişli vadi yolları, yamaç yolları, sürütme şeritleri ve irtibat yolları gibi birbirine bağlı birçok ana ve tali yolların genel projelerini oluşturmak" şeklinde ifade edilmektedir (OGM, 2008).

1.4.1. Orman Yol Tipleri ve Standartları

Orman yolları, bir yılda üzerinden taşınacak emval miktarları, yapılış amaçları, trafik yoğunluğu, seyir halindeki araçların büyüklüğü ve tonajları dikkate alınarak üç ana gruba ayrılmıştır. Bunlar: Ana orman yolları, tali orman yolları (A tipi tali orman yolu ve B tipi tali orman yolu) ve traktör yollarıdır (OGM, 2008).

1.4.1.1. Ana Orman Yolu

Trafiğe uygun platform genişliği 7 m ve hendek genişliği 1 m olan ve ana dereleri takip eden yollardır. Bu genişlikte yol yapılabilmesi için o yol üzerinde bir yılda taşınacak

emval miktarının 50000 m³ ten fazla olması ve OGM'den özel izin alınması gerekmektedir. Bu tip yolların tamamı 6 m genişliğinde üst yapı malzemesi ile kaplı, asgari kurp yarıçapı 50 m ve azami eğim %8 olmaktadır. Bu tip yollarda standart trafik işaretleri konulması zorunludur.

1.4.1.2.Tali Orman Yolu

1.4.1.2.1. A Tipi Tali Orman Yolu

Trafiğe uygun 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 m³ arasında olması ve OGM'den özel izin alınması gerekmektedir. Bu tip yolların tamamı 5 m genişlikte üst yapı malzemesi ile kaplı, asgari kurp yarıçapı 35 m ve azami eğim %10 olmaktadır.

1.4.1.2.2. B Tipi Tali Orman Yolu

Trafiğe uygun platform genişliği 3-5 m ve hendek genişliği 0,50-1 m olup, toplam genişliği 3,5-6 m olan dere ve yamaç yollarıdır. Bu yollar üzerinde bir yılda taşınacak emval miktarı 25000 m³ ten azdır. Üretim ve nakliyat mevsimi, nakledilecek emvalin cinsi, arazi yapısı gibi faktörler dikkate alınarak bu tip yolların tamamı veya bir kısmı 3-4 m genişliğinde üst yapı malzemesi ile kaplıdır. Asgari kurp yarıçapı 12 m ve eğim %9 olmalı, ancak nadiren ve kısa mesafelerde uygulanmak şartıyla azami eğim %12 olabilir. Ters taşımada eğim 1000 m ye kadar %9, 1000 m den daha uzun mesafede %7 olmaktadır. Yamaç eğimi %75'in üzerinde olan yerlerde uzun mesafede som ve sert kaya olması halinde, yol platformu 3 m, hendek genişliği 0,50 m olmak üzere B tipi tali orman yolu 3,5 m genişliğindedir.

Orman yollarının büyük bir bölümünü oluşturan 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.

1.4.1.2.2.1. Standartları Yükseltilmiş B Tipi Tali Orman Yolu

Bu yollar, işletme şefliği ormanlarının merkezine ulaşan veya ormanlarla birlikte grup köylerin ulaşımını sağlayan, treylerlerin ağır iş makinelerini manevrasız taşıyabileceği, platform genişliği 5 m, hendek genişliği 1 m, azami eğimi %9, asgari kurp yarıçapı 20 m, laseleri asgari 20-30 m, görüş mesafesi olan, sanat yapısı ve üst yapı yapılması öncelikli yollardır.

1.4.1.2.2.2. Normal B Tipi Tali Orman Yolu

Platform genişliği 4 m, hendek genişliği 1 m, azami eğimi genelde %9 nadiren %12, kurp ve lase asgari yarıçapı 12 m olan ormanların geneline ulaşımı sağlayan yollardır. Bu yollar normal topoğrafik yapı ve arazi şartlarında uygulanır.

1.4.1.2.2.3. Ekstrem B Tipi Tali Orman Yolu

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 uygulanabilen yollardır. Platform genişliği 3 m, hendek genişliği 0,50 m, azami eğim kısa mesafelerde %12 olmakta, karşılaşma yerleri ve yolun sonunda dönüş yeri yapılmakta, uygun görülen yerlere trafik işaretleri konulmaktadır.

1.4.2. Traktör Yolları, Sürütme Şeritleri ve Kablo Çekim Şeritleri

Meşcerelerin işletmeye açılmasında traktör ve sürütme şeritleri, orman yolları gibi bir alt yapı olarak değerlendirilmemekte geçici olarak hizmet etmektedirler. Traktör yollarının, sürütme şeritlerinin ve kablo çekim şeritlerinin düzeni ve teknik özellikleri aşağıda açıklanmıştır.

1.4.2.1. Traktör Yolları

Mekanizasyon uygulaması henüz başlamayan üretim alanında, sürütülerek dere içlerinde belirli bir rampada toplanan emvalin, mevcut yollara sürütülmesinin imkânsız

olması halinde, sadece sürütülen bu emvali almak amacıyla yapılan geçici yollara traktör yolu denir. Traktör yollarında iniş aşağı azami eğim %16, çözüm bulunamayan hallerde %20 ve yokuş yukarı eğimi ise %12 olmaktadır. Traktör yollarının kurp yarıçapı en az 8 m, uzunluğu en fazla 1+000 km ve genişliği ise 3,5 m olmaktadır. Traktör yollarında uygulanan eğimler yüksek olduğundan muhtemel şiddetli erozyon tehlikesine karşı nakliyattan sonra her 40 m’de bir doğal açık kasis yapılmakta ve zorunlu olmadıkça sanat yapısı yapılmamaktadır. Ayrıca traktör yollarında üst yapı bulunmamaktadır.

1.4.2.2. Sürütme Şeritleri

Sürütme şeritleri kavramının ülkemizdeki ve yurt dışındaki tanımları farklı yapılmakta ve sürütme şeritleriyle ilgili farklı etkinlikler değerlendirilmektedir. Ulusal ve uluslararası bilim çevrelerinde odun hammaddesinin bölmeden çıkarma işlerinin olumsuz yönleri ortaya konulmuş, özellikle uluslararası çalışmalarda su kaynaklarını korumaya, meşcere zararlarını ve toprak sıkışmasını önlemeye yönelik çalışmalar yapılmıştır. Fakat sürütme çalışmalarını optimize edecek bir sürütme modeli ve optimum sürütme şeritleri ağı planı yapılmamıştır. Aşağıda sürütme şeritleri kavramı ve sürütme şeritleriyle ilgili yapılan çalışmalar yer almaktadır.

Sürütme yolu (şeridi), arazi yapısı ve topografyaya göre en kolay ve en ekonomik güzergâhtan geçirilen, mümkün olduğu kadar ağaç kesiminden kaçınılan, yol genişliği 2,5 m’yi ve eğimi yokuş yukarı %33’ü geçmeyen yollardır. Sürütme yolunda erozyon oyuklarının oluşmaması için uygun yerlerde %2-3’ü geçmeyen ters eğimler verilerek suların yoldan dışarı atılması sağlanmalı ve yokuş yukarı eğim %8’i geçmemelidir. (OGM, 1996; OGM, 2010b).

Sürütme yolu (şeridi), özellikle düşük eğimli arazide meşcereyi işletmeye açmak amacıyla uygulanan bir işletmeye açma tesisidir. Sürütme yollarıyla genel anlamda bir yol anlaşılmalıdır. Sürütme yolu olarak belirtilen tesis, ağaçlar ve kütüklerden temizlenmiş bir şerit olarak anlaşılmalıdır (Acar, 2004).

Sürütme şeritleri uygun sürütme araçlarının seyredebildiği ve üzerindeki ağaçlar kesilip çıkarılmış şeritlerdir. Bunlar ancak düz veya düze yakın az eğimli (%25-30) arazide söz konusu olurlar ve traktörlerle diğer üretim makineleri bu şeritler boyunca doğrudan tabii zemin üzerinde hareket ederler (Bayoğlu, 1996; 1997).

Sürütme şeritleri, meşcerelerin içinde orman yollarından ayrılarak istenilen yöne doğru yöneltilen, 3,0-3,5 m genişlikte, ağaçlardan arındırılmış, üzerinde sürütme yapılan şeritlerdir. Sürütme şeritleri sürütülen gövdenin hasar görmeden ve ekonomik olarak iş kazalarını en aza indirecek, işçileri en az zorlayacak, toprağa ve meşcereye zarar vermeden sürütülmesini temin edecek şekilde araziye applike edilmelidir. Bu şartları yerine getirebilmeleri için sürütme şeritleri,

- Gergin olmalı, bu mümkün değilse sürütülebilecek gövdenin uzunluğuna uyum sağlayan bir kurp içermeli,

- Eğimleri %25'den fazla olmamalı,

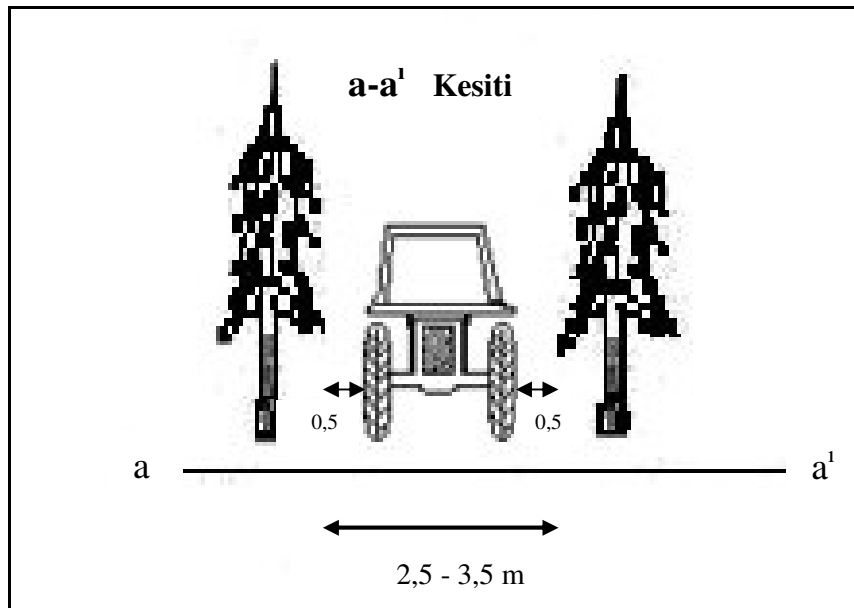
- Orman yolu ile en kısa bağlantıyı sağlamalı,

- Herhangi bir kazı makinesine gerek duyulmadan arazide oluşturulabilmeli,

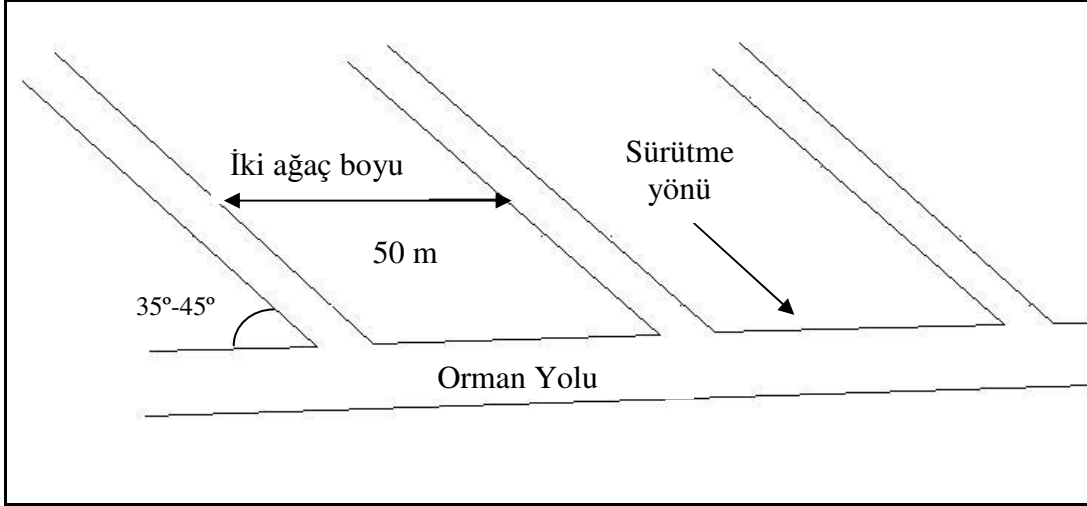
- Orman ürünlerinin özellikle yukarıdan aşağıya doğru taşınmasını gerçekleştirecek şekilde düzenlenmeli,

- Üzerinde kesinlikle üst yapı oluşturulmamalıdır (Erdaş, 2008).

Sürütme şeritleri meşcere içine uzanan doğal koridorlardır. Bunlardan ancak belirli orman araçları yararlanabilir. Koridorların bu araçlar tarafından kullanılması için çoğu kez bazı ağaçların kesilip alınması gerekir. Orman zemini yol yüzeyi olarak hizmet eder (Görcelioğlu, 2004). Aşağıdaki şekillerde sürütme şeridi genişliği (Şekil 1) ve sürütme şeritlerinin planda görünümü (Şekil 2) verilmiştir (Bayoğlu, 1996; Acar, 2004; Görcelioğlu, 2005; Erdaş, 2008).



Şekil 1. Sürütme şeridi genişliği



Şekil 2. Sürütme şeritlerinin planda görünümü

Sürütme şeritleri (skid trails), patika boyunca tomrukların çekildiği, zeminde sürütülerek bölmeden çıkarma sistemidir. Üretim alanındaki ağaçların pozisyonlarının ve topoğrafik verilerin değerlendirilmesi sonrasında sürütme şeritleri planlanır. Zemin üzerinde sürütmeye %30'un üzerindeki eğimde izin verilmemelidir. Sürütme şeritlerinin ağaçların pozisyonuna ve yoğunluğuna göre üretim alanında uzunlukları azaltılır. Sürütme şeritleri, planlanan sürütme şeridi ağının gösterildiği taşıma haritalarına ve meşçereye göre açılmak zorundadır. Şeritlerin genişliği 4 m'yi geçmemelidir. Sürütücü operatörünün işaretlenen sürütme şeritlerinden dışarı çıkmasına ve sürütme şeritlerinin 5 m'den daha geniş derelerden geçmesine izin verilmemelidir. Tomrukların traktörün arkasında %30'dan yüksek eğimlerde sürütülmesine izin verilmemeli, %30' dan yüksek eğimde tomruklar güçlü vinçlerle yukarı doğru çekilmelidir (Sist vd., 1998).

Bölmeden çıkarmada en iyi sürütme yukardan aşağıya doğru, eğimi %30'un altında olan alanlardaki sürütmedir. Odun hammaddesi üretiminden dolayı meydana gelen erozyonu, su kirliliğini ve meşçereye olan zararı en aza indiren üretim planı yapılmalıdır. Üç temel sürütme şeridi deseni vardır; karışık, paralel ve radyaldır (dallanmış). Karışık sürütme şeridinden kaçınılmalıdır. Çünkü gereğinden daha fazla alana girilmektedir. Genellikle sürütme şeritlerinin uzunlukları 350-450 m arasında olmakta, ancak taşıma maliyetini azaltmak için ortalama sürütme şeridi uzunluğu 250 m olabilmektedir. % 20'den az olan eğimlerde sürütme şeritlerinde kazıya gerek yokken, %20'den fazla eğimli arazide 30-60 cm derinliğinde sürütme şeridinde kazı yapılabilir. Bu durum yüklü araçların

yukardan-aşağıya kayma riski olmasından dolayı yapılmaktadır (Garland, 1997; Anonim, 1999).

Grammel ve Fenner'in (1997) yapmış oldukları çalışmada, sürütme şeridi geçkisinde bulunan ağaçların kesilmesinden sonra, sürütme şeritlerinin sürütücünün bıçağı ile düzeltilerek inşa edildiği ve sürütme şeridi uzunluğunun 80-120 m olduğu belirtilmiştir.

Ormanlardan yararlanma ile orman koruma yaklaşımı; ormancılık operasyonları ile ilgili kararların alınmasını zorlaştırmaktadır. Odun hammaddesi üretimi; toprakta, kalan meşcerede ve üretilen üründe farklı oranlarda zararlar oluşturmaktadır (Bayoğlu, 1972; Gürtan, 1975; Aykut, 1984; Acar, 1994).

Odun hammaddesinin zemin üzerinde sürütülerek bölmeden çıkarılmasının toprak üzerine olan doğrudan etkileri; toprak sıkışması, gözenek hacminde azalma, sıkışmaya bağlı olarak su ve hava kapasitesinin azalması ve hacim ağırlığında artış, yüzeysel akış ve erozyonla toprak kaybı, toprak taşınması ve karışma, humus tabakasında bozulma, dağılma, su birikmesi ve sürütme şeridi oluşması gibi fiziksel; toprakta denitrifikasyon yoluyla azot kayıpları, toprak verimliliği, besin maddesi içeriği ve kapasitesi gibi kimyasal ve toprak organik maddesi ve ölü örtüsünde humuslaşma ile mineralizasyonda toprak canlılarının yaşam şartları ve aktivitelerindeki etkilere bağlı olarak gerileme, toprak mikroorganizmaları gibi biyolojiksel yapısı üzerinde zararlara neden olabilmektedir. Zemin üzerinde sürütme yöntemi taşıma güzergâhında bulunan ağaç ve fidanlar üzerinde kırılma, sökülme ve yaralanmalara, orman toprağında fiziksel ve kimyasal bozulmalara ve taşınan üründe ise kalite ve miktar kayıplarına neden olmaktadır. Ayrıca odun hammaddesi üretim faaliyetleri nehir sularının kalitesini, nehir ekosistemindeki besin döngüsünü ve su sıcaklığını önemli oranda etkilemektedir. Bunun başlıca nedeni sürütme faaliyetleri sonucu drenaj sistemlerine fazla sediment akışının gerçekleşmesidir. Tablo 1'de literatürde tespit edilen çevre zararları özetlenmiştir.

Tablo 1. Literatürde tespit edilen çevre zararlarıyla ilgili çalışmalar

Yazar/lar	Tarih	Çalışma Konusu
Wert, S. ve Thomas, B.R.	1981	Toprak verimliliğinin azalması ve tür çeşitliliğinde değişimler
Lockaby, B.G. ve Vidrine, C.G.	1984	Toprak verimliliğinin azalması ve tür çeşitliliğinde değişimler
Froehlich, H.A., Milles, D.W.R. ve Robbins, R.W.	1986	Toprak verimliliğinin azalması ve tür çeşitliliğinde değişimler
Froehlich, H.A., Milles, D.W.R. ve Robbins, R.W.	1986	Toprak verimliliğinin azalması ve tür çeşitliliğinde değişimler
Stuart, W.B. ve Carr, J.L.	1991	Toprak verimliliğinin azalması ve tür çeşitliliğinde değişimler
Stuart, W.B. ve Carr, J.L.	1991	Toprak erozyonu
Jusoff, K.	1992	Toprak verimliliğinin azalması ve tür çeşitliliğinde değişimler
Rab, M.A.	1992	Üretimde toprak sıkışıklığı
McNabb, D.H. ve Boersma, L.	1993	Üretimde toprak sıkışıklığı
Johnson, N. ve Cabarle, B.	1993	Kalan meşcere ve taşınan üründe zararlar
Bettinger, P. ve Kellogg, L.D.	1993	Kalan meşcere ve taşınan üründe zararlar
Davies, P. ve Neilson, M.	1993	Su kaynaklarında kirlenme
Nichols, M.T., Lemin, R.C. ve Ostrofsky, W.D.	1994	Kalan meşcere ve taşınan üründe zararlar
Lacey, S.T., Ryan, P.J., Huang, J. ve Weiss, D.J.	1994	Üretimde toprak sıkışıklığı
Balcı, A.N.	1996	Üretimde toprak sıkışıklığı
Huang, J., Lacey, S.T. ve Ryan, P.J.	1996	Toprak verimliliğinin azalması ve tür çeşitliliğinde değişimler
Pinard, M.A. ve Putz, F.E.	1996	Toprak verimliliğinin azalması ve tür çeşitliliğinde değişimler
Johns, J.S., Barreto, P. ve Uhl, C.	1996	Toprak verimliliğinin azalması ve tür çeşitliliğinde değişimler
Tomasic, Z.	1996	Toprak erozyonu
Webb, E.L.	1997	Toprak verimliliğinin azalması ve tür çeşitliliğinde değişimler
Webb, E.L.	1997	Üretimde toprak sıkışıklığı
Whitman, A., Brokaw, N. ve Hagen, J.	1997	Toprak verimliliğinin azalması ve tür çeşitliliğinde değişimler
Grammel, R. ve Fenner, P.	1997	Üretimde toprak sıkışıklığı

Tablo 1'in devamı

Robek, R. ve Mathies, D.	1997	Toprak verimliliğinin azalması ve tür çeşitliliğinde değişimler
Collier, K.J., Baillie, B., Browman, E., Halliday, J., Quinn, J. ve Smith, B.	1997	Su kaynaklarında kirlenme
Stehman, J.A. ve Davis, C.J.	1997	Kalan meşcere ve taşınan üründe zararlar
FAO	1998a	Üretimde toprak sıkışıklığı
Shetron, S.g., John, A.S., Eunice, P. ve Carl, T.	1998	Üretimde toprak sıkışıklığı
Guariguata, M.R. ve Pinard, M.A.	1998	Toprak verimliliğinin azalması ve tür çeşitliliğinde değişimler
Sist, P., Dykstra, D. ve Fimbel, R.	1998	Kalan meşcere ve taşınan üründe zararlar
FAO	1998b	Toprak erozyonu
Virdine, C.G., Dehoop, C. ve Lanford, B.L.	1999	Toprak verimliliğinin azalması ve tür çeşitliliğinde değişimler
Balcı, N.	2000	Toprak erozyonu
Ballard, T.M.	2000	Üretimde toprak sıkışıklığı
Sancal, E.	2000	Üretimde toprak sıkışıklığı
Croke, J., Hairsine, P. ve Fogarty, P.	2001	Üretimde toprak sıkışıklığı
Laffan, M., Jordan, G. ve Duhing, N.	2001	Üretimde toprak sıkışıklığı
Brais, S.	2001	Toprak verimliliğinin azalması ve tür çeşitliliğinde değişimler
Tiernan, D., Owendw, P.M.O., kanali, C.L., Lyons, J. ve Ward, S.M.	2001	Toprak verimliliğinin azalması ve tür çeşitliliğinde değişimler
Sun, G., McNulty, S.G., Shepard, J.P., Amatya, D.M., Riekerk, H., Comerford, N.B., Skaggs, W. ve Swift, L.J.R.	2001	Toprak erozyonu
Laffan, M., Jordan, G. ve Duhing, N.	2001	Kalan meşcere ve taşınan üründe zararlar
Smidt, M.F. ve Kokla, R.K.	2001	Toprak erozyonu
Heninger, R., Scott, W., Dobkowski, A., Miller, R., Anderson, H. ve Duke, S.	2002	Üretimde toprak sıkışıklığı
Gomez, A., Powers, R.F., Singer, M.J. ve Horwath, W.R.	2002	Toprak verimliliğinin azalması ve tür çeşitliliğinde değişimler

Tablo 1'in devamı

Bozic, T.	2003	Üretimde toprak sıkışıklığı
Egan, A. F.	2003	Kalan meşcere ve taşınan üründe zararlar
Collier, K.J. ve Browman, E.	2003	Su kaynaklarında kirlenme
Acar, H.H.	2005	Üretimde toprak sıkışıklığı
Tan, X., Change X.S. ve Kabzems, R.	2005	Toprak verimliliğinin azalması ve tür çeşitliliğinde değişimler
Ares, A., Terry, T.A., Miller, R.E., Anderson, H.W. ve Flaming, B.L.	2005	Üretimde toprak sıkışıklığı
Anonim	2005	Kalan meşcere ve taşınan üründe zararlar
Makineci, E., Demir, M. ve Yılmaz, E.	2007a	Üretimde toprak sıkışıklığı
Makineci, E., Demir, M. ve Yılmaz, E.	2007b	Üretimde toprak sıkışıklığı
Demir, M., Makineci, E. ve Yılmaz, E.	2007a	Üretimde toprak sıkışıklığı
Demir, M., Makineci, E. ve Yılmaz, E.	2007b	Üretimde toprak sıkışıklığı
Makineci, E., Demir, M. ve Yılmaz, E.	2007a	Toprak verimliliğinin azalması ve tür çeşitliliğinde değişimler
Makineci, E., Demir, M. ve Yılmaz, E.	2007b	Toprak verimliliğinin azalması ve tür çeşitliliğinde değişimler
Ünver, S.	2008	Üretimde toprak sıkışıklığı

Odon hammaddesinin zemin üzerinde sürütülerek bölmeden çıkarılması sonucunda oluşan çevre zararlarını sürütme şeritlerinin hasattan önce planlanması, uygun işçi, araç-gereç, uygun hasat zamanı seçimi ve iyi bir kontrole en aza indirilmesi mümkün olabilmektedir. Tablo 2'de literatürde tespit edilen çevre zararlarını en aza indirmeye yönelik çalışmalar özetlenmiştir.

Yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde; sürütme şeritlerinin ve bunlar üzerinde yapılan sürütme çalışmalarının olumsuz yönleri ortaya konulmuş, optimum sürütme modeli ve optimum sürütme şeritleri ağının planı ile ilgili çalışmaların eksikliği belirlenmiştir. Ayrıca literatürde sürütme şeritleri kavramıyla ilgili tanımlar yapılmasına rağmen, birçok tanım birbiriyle örtüşmediği tespit edilmiştir. Yapılan değerlendirmeler ve literatür analizleri sonucunda sürütme işlerinin yapıldığı tesis, sürütme şeritleri (skid trails) olarak tanımlanmıştır.

Tablo 2. Literatürde tespit edilen çevre zararlarını en aza indirmeye yönelik çalışmalar

Yazar/lar	Tarih	Çalışma Konusu
Froehlich, H.A., Aulerich, D.E. ve Curtis, R.	1981	Kalan meşcere ve taşınan üründe zararların azaltılması
Öncer, M.	1990	Toprak kaybının azaltılması
Gullison, R.E. ve Hardner, J.J.	1993	Kalan meşcere ve taşınan üründe zararların azaltılması
Martin, C.W. ve Hornbeck, J.W.	1994	Su kaynaklarında kirlenmenin azaltılması
Megahan, W.F., King, J.G. ve Sayedbagheri, K.A.	1995	Su kaynaklarında kirlenmenin azaltılması
Greulich, F. R., Hanley D.P., McNeel J. F. ve Baumgartner D.	1996	Toprak kaybının azaltılması
Johns, J.S., Barreto, P. ve Uhl, C.	1996	Kalan meşcere ve taşınan üründe zararların azaltılması
Klassen, A.W.	1997	Toprak kaybının azaltılması
Garland, J.J.	1997	Toprak kaybının azaltılması
Sist, P.	1997	Üretimde toprak sıkışıklığının azaltılması
Ulbricht, E. ve Ulbricht, R.A.	1997	Üretimde toprak sıkışıklığının azaltılması
Adams, P.W.	1998	Üretimde toprak sıkışıklığının azaltılması
Sist, P., Dykstra, D. ve Fimbel, R.	1998	Toprak kaybının azaltılması
Anonim	1999	Toprak kaybının azaltılması
Anonim	2002	Su kaynaklarında kirlenmenin azaltılması
Eker, M.	2004	Üretimde toprak sıkışıklığının azaltılması
Anonim	2005	Üretimde toprak sıkışıklığının azaltılması
Holota, R.	2005	Kalan meşcere ve taşınan üründe zararların azaltılması
Solgi, H.C. ve Najafi, A.	2007	Kalan meşcere ve taşınan üründe zararların azaltılması

Sürütme şeridi kavramı, “Ormancılık sektöründe odun hammaddesi üretiminden önce planlanan, geçki üzerindeki ağaçların temizlenmesiyle oluşan, üretim araçlarından 1 m daha geniş (2,5-3,5 m) olan ve eğimi %0-50 arasındaki arazide planlanan bir transport tesisidir.” şeklinde tanımlanmıştır (Şekil 3). Tarım traktörleri en uygun %0-33 olan

eğimlerde çalışabilmekte, orman traktörleri ise en uygun %50 eğime kadar olan arazide çalışabilmektedir.



Şekil 3. Planlama yapılmamış bir sürütme şeridi

Genellikle sürütme şeritlerinin ortalama uzunlukları taşıma maliyetini azaltmak için 250 m olabilmektedir. Sürütme şeritleri radyal ve paralel olmak üzere ikiye ayrılırlar. Radyal sürütme şeridi deseni eş yükselti eğrilerine göre radyal olarak planlanmakta, paralel sürütme deseni ise eş yükselti eğrilerine paralel olarak planlanmaktadır. Sürütme şeritlerinin düzgün olması işin hızlı ve kısa zamanda yapılmasını sağlamakta, sürütücü araçlarının başarısını artırmaktadır. Endüstriyel odun hammaddesinin meşceredeki kütüklere çarpılmaması için keskin kavisli sürütme şeridi yapılmamalıdır. %50'den fazla eğimlerde sürütme yapılması erozyonu artırmakta, bu alanlarda hava hattı kullanılması gerekmektedir. Islak ve kayalık zeminlerden kaçınılmalıdır.

1.4.2.3. Kablo Çekim Şeritleri

Sürütme araçlarının gidiş gelişine elverişli olmayan zor arazi şartlarında (yamaç eğimi yüksek, taşıma gücü zayıf zeminler) söz konusu olan tali nakliyat tesisleridir. Kablo çekim halatlarının kullanımı, arazi şartlarının yol yapım tekniği bakımından arz ettiği, maliyetli, makineli yol inşaatının tabiat ve peyzaj bakımından olumsuz olduğu hallerde söz

konusu olurlar. Bu şeritler bazı durumlarda, odunun ağırlığı nedeniyle sürütme yoluna ön sürütmenin elle mümkün olmadığı yerler ile sürütme yolu aralıklarının fazlalığından dolayı işçilerin zorlandığı durumlarda kablo çekimi işi için de açılırlar. Kablo çekim şeritleri 1-1,5 m genişliğinde ve kablo çekim uzunluğu maksimum 50 m olmalıdır. Şeritler arası mesafe ise 5-10 m arasında olmalıdır. Şerit üzerinde bulunan kütükler temizlenmelidir (Acar, 2004).

1.5. Ormancılıkta Kullanılan Traktörler

1.5.1. Tarım Traktörleri

Tarım traktörleri farklı marka ve modellerde, genel olarak arka tekerlekleri ön tekerleklerinden büyük olan araçlardır (Şekil 4). Bu traktörler tarım işlerinde kullanılmasının yanında, ormancılığın üretim ve taşıma işleri ile fidanlıklarda da kullanılmaktadır.



Şekil 4. Tarım traktörünün genel görünümü

Ülkemizde orman ürünlerinin üretimi çalışmasının içinde; devirme ve boylama, bölmeden çıkarma, rampada yükleme, depolara taşıma, depolarda yükleme ve boşaltma çalışmaları yer almaktadır. Devirme ve boylama dışındaki diğer tüm çalışmalarda insan

gücü ve hayvan gücü yanında, modifiye edilmiş tarım traktörleri ve orman traktörleri kullanılmaktadır. Ülkemizde üretim çalışmalarında kullanılan bazı tarım traktörleri Massey Ferguson, New Holland, Universal, Tümosan, Steyr, John Deere, Ford ve Fiat 1180 DTH vb. marka traktörlerdir (Öztürk ve Akay, 2007). Tarım traktörleri diğer hasat makineleriyle karşılaştırıldığında kuruluş ve çalıştırma maliyetleri oldukça düşüktür. Bununla beraber tarım traktörleri gelişmiş ülkelerde ormancılık faaliyetlerinde kullanılmasında, tarım traktörünün etkili operasyonlar sağlaması ve çevresel zararları azaltması etkili olmaktadır (Shaffer, 1998).

Traktörler maliyetli olmaları nedeniyle orman içinde yüksek kesim ve dolayısıyla verimli orman olması gereklidir. Traktörler ile çalışmada iyi uygulanan bir kesim planı gerekli olup, kesim düzenine uyulması şarttır. Traktörler ile çalışma, orman içinde sürütme şeridi ve traktör yolu düzenlemesini gerektirir. Traktörlerle bölmeden çıkarma, özellikle arazi yapısı itibarıyla yukarıdan aşağı kaydırma suretiyle bölmeden çıkarma işinin meydana gelen yüksek kayıplar ve ormana yaptığı zararlar nedeniyle istenmediği ve hayvan gücü ile bölmeden çıkarmanın ise yeterli olmadığı yerlerde uygulanan bir bölmeden çıkarma metodudur. Traktörlerle bölmeden çıkarmada ekonomik tasarruf sağlanabilmesi için traktörün sürekli ve ekonomik bir biçimde çalıştırılması gerektiğinden bu metotla bölmeden çıkarma için ormanın servetçe zengin, dolayısıyla üretim miktarının yüksek olması ve arazi koşullarının uygun olması şarttır (Erdaş, 2008).

Ülkemizde 2001 yılı verilerine göre toplam tarım traktörü sayısı 523169 adettir. Bu sayının yaklaşık %6'sı farklı marka ve model ithal traktörlerden oluşmaktadır. Ortalama motor gücü 43,3 kW olan ülke traktör parkında en fazla 40-49,9 kW güç grubunda yer alan traktörler (%43) bulunmaktadır. Son yıllarda motor gücü düşük olan traktör üretiminde düşüş yaşanmakta iken yüksek motor gücüne sahip traktör üretiminde artış yaşanmaktadır (Sümer vd., 2004; Melemez ve Tunay, 2010). Ülkemizde ve araştırma alanında yaygın olarak kullanılan tarım traktörlerinin teknik özellikleri Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Araştırma alanında yaygın olarak kullanılan tarım traktörlerinin teknik özellikleri (Sümer vd., 1997)

Özellikler	Fiat 1180 DTH	Massey Ferguson 276 G	New Holland 70-66	Universal 643DT
Ağırlık	2400 kg	3442 kg	2670 kg	2795 kg
Uzunluk	3540 mm	3685 mm	3470 mm	3709 mm
Yükseklik	2220 mm	2430 mm	2524 mm	2265 mm
İz genişliği	1350 mm	1422-2130 mm	1410-1910 mm	1400-199 mm
Akslar arası mesafe	2130 mm	2140 mm	2305 mm	2270 mm
Dönme çapı	3,5 m	--	--	--
Kuyruk mili	581 d/d-1047 d/d	540/1685 d/d	540/1715 d/d	540/160 d/d
Lastik boyutları	Ön	7,5 x 16 cm	7,5-16 cm	7,5-16 cm
	Arka	16,9-14-30	16,9-14-30	16,9-14-30
Motor tipi	Dizel WD 408,43	Dizel Fiat 8045	Dizel Fiat 8045	DizelUTB/D.115
Silindir sayısı	4	4	4	4
Devir sayısı	2400 d/d	2500 d/d	2500 d/d	2400 d/d
Gücü	50 BG	51 BG	51 BG	52 BG
Yakıt deposu	80 lt	60	61	70
Hız	--	32,4 km/sa	27,2 km/sa	25,13 km/sa

1.5.2. Orman Traktörleri

Orman traktörleri; ormancılık amaçları için imal edilmiş ve ormancılığa ait özel koşullar için donatılmış, bütün tekerlekleri aynı büyüklükte ve hem ön hem de arka aksı tahrik edilmiş ve genel olarak yönlendirmenin ön aks üzerinden gerçekleştirildiği traktörlerdir (Şekil 5).



Şekil 5. Orman traktörünün genel görünümü

Ormancılık çalışmalarında çok yönlü kullanılan orman traktörleri ön ve arka olmak üzere iki parçadan oluşmaktadır. Bu iki kısmın birleştiği yerde bir eksen etrafında dönebilen bir yapı bulunmaktadır. Orman traktörleri, çok küçük yarıçaplı kavislerde dönüş yapma imkânına ve büyük manevra kabiliyetine sahiptir. Orman traktörleri eğimin %40-50'lere ulaştığı arazide rahatlıkla çalışma yapabilirler (Acar, 2004).

1.5.3. Özel Orman Traktörleri

Orman traktörlerinin bir üst sınıfında bulunan bu tip traktörlerde ormancılık hizmetleri için gerekli ful aksesuar (donanım) mevcut olup güç itibari ile diğer sınıf traktörlerden daha yüksek güce sahiptirler. Özel orman traktörleri belden mafsallı yani kırılabilir olup, konforlu bir kabine de sahiptirler. Bu tip traktörler çalışma kolaylığı sağladıkları gibi her türlü araziye uyum sağlayan sistemi ve çalışma güvenliği ile artı özellikleri olan traktörlerdir (Şekil 6) (Acar, 2004).



Şekil 6. Özel orman traktörünün genel görünümü

1.6. Odun Hammaddesi Taşımalarının Optimize Edilmesi

Ormancılıkta taşıma zamanı, ürünlerin üretildikleri ayda hatta haftasında, ekonomik değer kaybına uğramadan ve işletmenin giderlerini karşılayacak şekilde pazarlanabilmesi için son derece önemlidir. Bu nedenle üretim işlerinde taşıma programları son derece sağlıklı ve gerçek zaman değerleri göz önüne alınarak hazırlanmalıdır.

Orman ürünlerinin bölmeden çıkarılmasında birçok yöntem söz konusu olmaktadır. Bu taşıma yöntemlerinden birinin seçilmesi, arazinin topoğrafik yapısı, ekonomiklik, orman ürün çeşitleri, üretim miktarları gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Seçilecek yöntem veya yöntem kombinasyonlarının, en az miktarda ekonomik kayıp ve çevresel zarar ile işin en kısa sürede ve en düşük maliyetle yapılması olanaklarını da sunması gereklidir.

Orman ürünlerinin ana taşıma safhasında, araçların orman içi rampalardan satış depoları yönüne takip edecekleri güzergâhların seçiminde de en kısa mesafe, en kısa süre, en düşük masraf, en yüksek satış geliri gibi hedefler söz konusudur. Belirlenecek bu güzergâhlarda genellikle birden çok seçenek bulunmaktadır. Bu nedenlerden dolayı taşıma planlamacıları belirli kararlar almak zorundadır. Optimizasyon yöntemleri bu aşamada karar vericilerin, en iyi kararı almalarında yardımcı olmaktadır. En uygun yöntemin seçilebilmesi için optimizasyon yöntemlerinin özelliklerinin ve kapasitelerinin çok iyi anlaşılması gerekmektedir.

Optimizasyon, problemin karar değişkenlerinin mümkün tüm kombinasyonları arasından en iyi performansı (en iyi amaç fonksiyonu değerini) veren kombinasyonun bulunmasıdır. Gerek bölmeden çıkarma çalışmalarının ve gerekse de ana taşıma çalışmalarının düzenlenmesi, planlama hiyerarşisi içinde, stratejik, taktik ve operasyonel bazda yapılacak planlama çalışmalarında optimizasyon yöntemlerinin kullanılmasını gerektirmektedir (Acar ve Eker, 2001; Eker, 2004; Eker ve Acar, 2006; Gümüş, 2008). Matematiksel olarak ifade etmek gerekirse, optimizasyon bilinen bir fonksiyonun (amacın) belirli bir kısıtlar altında ya da kısıtlar olmaksızın optimumunun bulunması demektir (Akgül, 1998).

Ormancılıktaki planlama problemlerinin çözümünde optimizasyon model ve yöntemleri yaklaşık olarak 30 yıldan bu yana kullanılmaktadır. Bu amaçla literatürde birçok optimizasyon algoritması önerilmiştir. Bu geçen dönemde, karar verme problemlerinin farklılıkları ve planlama ihtiyaçlarının boyutları sürekli olarak artmaktadır. Daha fazla verinin elde edilmesi, daha geniş modellerin kurulmasına ve daha fazla kısıtların oluşması da daha karmaşık modellerin geliştirilmesine yol açmıştır (Epstein vd., 1999; Rönnqvist, 2003)

Yöneylem araştırması yöntemleri, yeni bir sistem kurulmasında ya da mevcut bir sistemin yeniden biçimlendirilmesinde saptanan amaçlara en uygun düzenlemeyi sağlayan, yine bir sistemin işleyişinde karşılaşılan problemlerin en uygun çözümlerini ortaya

koymaya yarayan bilimsel yöntemler şeklinde tanımlanabilir. Bu yöntemlerin yardımı ile karmaşık problemler mevcut bilgi ve verilere dayanılarak matematiksel modellere çevrilmekte ve belirtilen amaçlara uygun olarak problemlerin en uygun çözümleri ortaya konulmaktadır (Soykan,1978).

Yöneylem araştırmasının temelini model ve modelleme oluşturur. Bir sistem bileşenlerinin, simgelerle tanımlanıp bileşenler arası ilişkilerin fonksiyonlarla gösterimine Matematiksel Model denir. Genel olarak modelleme süreci; problemin tanımlanması, bilgi toplanması, gözlemlerin yapılması, nitel ya da nicel modelin oluşturulması, modelin çözülmesi, çözüm analizi, çözümün uygulanması ve çıktıdan ibarettir. Modellerin yapılandırılmasında üç temel bileşen bulunur ve bunlar; kararlar, kısıtlar ve hedeflerdir. (Eker, 2004).

Günümüze kadar taşıma problemlerine yönelik birçok yöneylem araştırması uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Johanson'nun (1997) yaptığı araştırmada optimal yol ücretlendirmesinin belirlenmesinde zaman ve yakıt tüketiminin eşzamanlı değerlendirmesini dikkate alarak bir matematiksel model geliştirmiştir.

Bir başka araştırmada ise optimal depolama alanının belirlenmesi konu edilmiştir. Çalışmada orman ürünlerinin üretim planlaması için uygun depo yerlerinin belirlenmesinde matematiksel modellerin kullanımı geliştirilmiştir (Greulich, 1991).

Epstein vd. (2006) ormancılıkta yol planlama probleminin çözümünde makine kullanımı için sezgisel yaklaşım (heuristic) modelini kullanmıştır.

Olsson ve Lohmander (2005) yaptıkları çalışmada orman ürünleri taşımacılığını optimize etmeye çalışmışlardır. Çalışmada matematiksel model olarak ağ modelleme kullanmışlardır.

Orman yollarının analizi ve maliyetlerinin modellenmesi çalışmalarında yine yöneylem araştırmalarının çeşitli araştırmalarda konu edildiği belirlenmiştir (Pentek vd., 2005; Stückelberger vd., 2006).

Ülkemizde yapılan bir çalışmada kesim ve bölmeden çıkarma işlerinde iş gücünün ölçütlerinin araştırılması ve verim üzerine etkilerinin belirlenmesi amacıyla yapay sinir ağları kullanılmıştır (Karaman, 1997).

Çalışkan (2008) yapmış olduğu çalışmada, optimizasyon yöntemi kullanarak odun hammaddesi taşıma ağı modeli ve çözüm yöntemini geliştirmiştir. Modelin çözümü için meta-sezgisel teknikler arasında yer alan, kombinatoriyal optimizasyon problemlerinin çözümünde uygulanan ve olasılıklı bir arama yöntemi olan Tavlama Benzetimi algoritması

kullanmıştır. Çalışmada taşıma modelinin kullanılmasıyla, yıllık taşıma maliyetlerinde %14,45 oranında tasarruf sağlanabileceği sonucuna varılmıştır.

Türkiye ormancılığındaki transport problemlerinin çözümü için Soykan (1978), DP tabanlı “Transport Modeli”ni, ilk kez kullanmıştır. Geray (1978), tarife bedelinin belirlenmesi ile ilgili yaptığı çalışmada, aktivite alanları başına üretim ve transport maliyetlerinin hesaplanması ve uzun dönemli planlama için DP’i kullanmıştır. Gül vd. (2000), üretim çalışmalarında mekanizasyon ihtiyacının belirlenmesi için DP’i kullanmıştır. Acar vd. (2000), bölmeden çıkarma çalışmalarında toplam maliyetin minimizasyonu için DP’i kullanmışlardır.

Eker (2004) “Ormancılıkta Odun Hammaddesi Üretiminde Yıllık Operasyonel Planlama Modelinin Geliştirilmesi” adlı çalışmada, hiyerarşik planlama yaklaşımına göre, operasyonel düzeyde bir planlama modeli geliştirerek yıl içindeki toplam ortalama üretim giderlerinin minimizasyonunu amaçlamıştır. Çalışmada çevresel ve kurumsal değişkenler niteliklerine göre değerlendirilmiş ve bu değerlendirme için çok kriterli analizlerinden Analitik Hiyerarşi Süreci kullanılmış ve elde edilen sonuçlara nicel değerlendirme eklemiştir. Operasyonel kararların modellenmesi ve optimizasyonu için doğrusal ve tamsayı programlama teknikleri kullanılmıştır. Sonuç olarak, yıllık ortalama üretim maliyetlerinde doğrudan %4; kalite ve kayıp miktarının azaltılmasıyla da dolaylı olarak %30 civarında bir tasarruf sağlanabileceğini ortaya koymuştur.

Ormancılıkta ve genel olarak taşıma problemlerinin çözümünde yaygın olarak kullanılan yöneylem araştırma teknikleri, Geleneksel Yaklaşım (Doğrusal Programlama, Tamsayı Programlama, Dinamik Programlama, Amaç Programlama) Yapay Zekâ Yaklaşımı (Uzman Sistemler, Yapay Sinir Ağları, Bulanık Mantık), Sezgisel Yaklaşım (Kurucu Algoritmalar, Geliştirici Algoritmalar, Melez Algoritmalar, Graf Teorisi Algoritmalar) ve Meta-Sezgisel Yaklaşım (Genetik Algoritma, Tavlama Benzetimi, Tabu Arama, Karınca Kolonisi) olarak sıralanabilir. Aşağıda Geleneksel Yaklaşım yöneylem araştırma teknikleri açıklanmıştır.

1.6.1. Doğrusal Programlama Modeli ve Modelin Kurulması

Doğrusal Programlama (DP), doğrusal karar modelleriyle ilgili kavram ve teknikler topluluğudur. Bir sistemin bileşenlerinin simgelerle tanımlanıp, bunlar arasındaki ilişkilerin fonksiyonlarla gösterimine matematiksel model, sistem yöneticisinin kontrolü

altında olup karar değişkeni olarak isimlendirilen değişkenlere, hangi değerlerin verilmesi gerektiğini belirlemek amacıyla kullanılan matematiksel modellere de karar modeli denir.

Bir sistemin davranışını etkilediği halde, karar vericinin kontrolü dışında değer alan bileşenlere parametre, modelde karar değişkenleri ya da karar değişkenleri ile parametreler arasındaki zorunlu ilişkilerin her birine ise kısıt denir. Bir karar modeli yapısal olarak, seçeneklerin neler olduğunu belirleyen kısıt bağlantıları, en iyi seçeneğin hangisi olduğunu belirleyen kısıt bağlantıları ve en iyi seçeneğin hangisi olduğunu bulmak için işleme giren amaç fonksiyonundan oluşur. Kısıtların tamamı ve amaç fonksiyonu doğrusal fonksiyonlarla ifade edilmiş ise bir doğrusal karar modeli söz konusudur (Kara, 1991).

DP çok faktörlü ve karmaşık transport problemlerinin çözümünde başarı ile uygulanmakta olan ve en iyi çözüm ortaya konabilen “Orman Ürünleri Taşımacılığında Eniyileme Yöntemleri” yöneylem araştırma yöntemlerinden birisidir. DP değişkenlere ve kısıtlayıcı şartlara bağlı kalarak amaca en iyi ulaşma tekniğidir. DP’de veriler yeterli detay düzeyinde kullanılabilir olmalı, amaç ve kısıt denklemlerinde doğrusallık olmalı ve problem sonlu kaynaklarla ilgili olmalıdır. DP; kaynakların optimal ya da seçenekli dağılımının, optimal üretim bileşiminin, minimum maliyeti veren girdi bileşiminin, en uygun kârın ve en az maliyetin belirlenmesi gibi problemlerin çözümünde kullanılmaktadır (Soykan, 1978).

DP, belli bir amacı gerçekleştirmek için sınırlı kaynakların etkin kullanımını ve çeşitli seçenekler arasında en uygun dağılımı sağlayan matematiksel bir yöntemdir (Sarıaslan, 2000). Doğrusal eşitlikler veya eşitsizlikler kullanılarak ifade edilen problemlere, optimal çözümler bulmaya yarayan bir tekniktir. Değişkenlere ve kısıtlayıcılara bağlı kalarak amaç fonksiyonunu en uygun (maksimum veya minimum) kılmaya çalışır. Buna göre DP değişkenlere ve kısıtlayıcılara bağlı kalarak amaca en iyi ulaşma tekniğidir. Temel olarak, DP verilerin optimal ölçüte bağlı kalarak zıt kaynakların optimal şekilde dağıtımını içeren deterministik matematiksel bir tekniktir de denilebilir (Öztürk, 2001).

Birçok problemi doğrusal fonksiyonlar şeklinde tam olarak ifade etmek çoğu zaman mümkün olmayabilir. Fakat söz konusu problemler DP’nin yapısına uygun şekilde matematiksel denklemler ile ifade edildiği takdirde, bu teknik sayesinde probleme en uygun çözüm elde edilebilir (Keleş, 2003).

DP, doğal kaynakların işletilmesi ve ilgili disiplinlerin hemen hepsinde geniş ölçüde uygulama imkânı bulan ve günümüzde yoğun olarak kullanılan bir matematiksel tekniktir

(Dykstra, 1984). DP, ilk olarak ABD Hava Kuvvetleri'nin yönetimi ile ilgili sorunların çözümünde kullanılmıştır. Bu uygulamanın başarılı olması, diğer alanlardaki bilim dallarının ilgisini çekmiş ve yöntemin uygulama alanlarını genişletmiştir. DP işletmecilikte, yönetim, üretim-dağıtım, üretim planlama, tedarik, transport gibi alanlardaki sorunların çözümünde kullanılmıştır. Ormancılıkta da yöntemden geniş oranda yararlanılmıştır (Köse vd., 2000).

Odun üretiminin planlanması, üretilen ürünlerin tüketim merkezlerine veya depolara olan taşıma problemlerinin çözümü ve taşıma operasyonlarının planlanması, orman yollarının planlanması, üretilen ürünlerin optimizasyonu, tarife bedelinin belirlenmesi ve ürünlerin ekonomik fiyatlandırma politikalarının analizi, ağaçlandırma planlaması, yaban hayatı politikalarının geliştirilmesi (Dykstra, 1984), ormanların aktüel kuruluşlarının optimal kuruluşuna ulaştırılması, eta seyir politikalarının geliştirilmesi, ormanların çok amaçlı olarak kullanılması, idare sürelerinin belirlenmesi (Köse vd., 2000) gibi araştırmalar, DP'nin ormancılıktaki değişik kullanımlarına örnek olarak verilebilir.

Koger ve Webster tarafından 1986 yılında yapılan bir çalışmada, sürütmeye dayalı üretim sistemlerinde kârın maksimum yapılması için DP modelleri kullanılmıştır. Dört değişik üretim metoduna göre elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve en düşük maliyet ve en yüksek kâr oluşturan model seçilmiştir (Koger vd.,1986). Acar ve arkadaşları tarafından yapılan bir başka araştırmada ise DP yöntemi kullanılarak en düşük maliyeti oluşturan bölmeden çıkarma yöntemlerinin seçimi gerçekleştirilmiştir (Acar vd., 2000).

DP modeli bir dizi değişken, ulaşılması istenen amaca her bir değişkenin katkısını gösteren doğrusal amaç fonksiyonu ve değişkenlerin değerlerinin sınırlarını tanımlayan bir dizi doğrusal kısıtlardan oluşur. DP modellerinin çözümünden beklenen sonuç, amaç fonksiyonu değerini maksimum ya da minimum yapan değişkenlerin değerini bulmak ve tüm kısıtların tutarlı olmasını sağlamaktır.

DP modelinden tutarlı sonuçların elde edilmesi aşağıda ele alınacak varsayımlara bağlıdır.

a) Doğrusallık Varsayımı: Bu varsayım işletmenin girdileriyle çıktıları arasında doğrusal bir ilişkinin bulunduğunu gösterir. Üretim düzeyi artarken aynı oranda üretim girdileri de artar. Amaç fonksiyonunun doğrusal olabilmesi için karar değişkenleri katsayıları da sabit olmalıdır.

b) Toplanabilirlik Varsayımı: Bu varsayım değişik üretim faaliyetlerine kaynak olan üretim girdilerinin toplamının her bir işlem için ayrı ayrı kullanılan girdilerin toplamına

eşit olduğunu gösterir. Örneğin bir iş iki saatte, diğeri üç saatte yapılıyorsa, iki işi birden yapmak için beş saate gerek vardır.

c) Sınırlılık Varsayımı: Üretimde kullanılan kaynaklar sonludur. Bu nedenle üretime giren girdiler ile üretim miktarı kısıtlanır.

d) Negatif Olmama Varsayımı: DP’de yer alan temel, aylak ve artık değişkenlerin değeri sıfır ya da sıfırdan büyük olmalıdır (Dykstra, 1984; Kara, 1991; Köse vd., 2000; Sarıaslan, 2000; Taha, 2000; Öztürk, 2001).

Bir problem, DP modeli olarak formüle edildiği zaman, problemi çözmek için genellikle bir bilgisayar programı kullanılır. Bir problemin formüle edilmesi, problemin DP’ye dönüşüm süreci anlamına gelir. Genelde DP modellerini çözmek kolaydır. Fakat DP modellerinde en önemli ve zor kısmı genellikle problemin formüle edilmesi ve sonuçlarının yorumlanması oluşturmaktadır (Keleş, 2003).

DP modeli, en elverişli çözümü amaçlayan sadece doğrusal bağıntıları içeren bir programlama türüdür. Modelin tüm matematiksel değerleri doğrusal eşitlik veya eşitsizliklerden oluşmaktadır. Uygun matematiksel işlemlerle konuya etki eden etmenlerin sembollerle gösterilerek oluşturulan modelden, probleme uygun çözümler bulunabilir. Bir modelin oluşturulmasında izlenen sıra aşağıdaki şekildedir (URL-1, 2011).

- 1) Problemin formüle edilmesi
- 2) Bilgilerin toplanması, analizi ve düzenlenmesi
- 3) Amaç ve yan amaçların saptanması
- 4) Etkinlik ölçüsünün seçimi
- 5) Gerekli varsayımın yapılması
- 6) Notasyonun saptanması
- 7) Modelin kurulması

Her problemin optimal çözümü olmayabilir. Optimal çözümün olup olmaması kısıtların belirlediği çözüm bölgesine bağlıdır. Kısıtların belirlediği uygun bir çözüm alanı yoksa çözüm kümesi boş kümedir. Amaç fonksiyonu çözüm bölgesi içerisinde istenen yönde sınırsız ise uygun çözüm bulunamaz. Uygun çözümün olması için bir çözüm bölgesinin olması ve amaç fonksiyonunun bu bölge içerisinde istenen yönde sınırlı olması gerekmektedir. Problem eğer maksimizasyon amaçlıysa çözüm bölgesinin üstten sınırlı olması, minimizasyon amaçlı ise çözüm bölgesinin alttan sınırlı olması gerekmektedir (URL-1, 2011).

Uygun çözüm alanı içerisinde uç noktalardan amaç fonksiyonunu maksimum veya minimum yapan değişken değerleri optimal çözümü vermektedir. Eğer problem en iyi değerini birden çok uç noktada alıyorsa, bu noktaların her dışbükey bileşimi birer optimal çözümdür. DP problemlerinin başlıca çözüm yöntemleri analitik, grafik ve simpleks yöntemlerdir (URL-1, 2011).

DP problemlerini çözmeye genellikle simpleks yöntemi kullanılmaktadır. Yöntem cebirsel tekrarlama (iterasyon) işlemine dayanır. Yöntemde önce başlangıç simpleks tablosu düzenlenir sonra tekrarlayıcı işlemler ile belirli bir hesap yöntemi içinde gelişen çözümlere doğru ilerleyerek optimal çözüme ulaşıncaya kadar işlemler sürdürülür. Gelişen çözüm tablolarında amaç fonksiyonunun ve karar değişkenlerinin değişen değerleri gözlemlenebilir.

DP'nin üç önemli bileşeni vardır: Amaç fonksiyonu, karar değişkenleri ve kısıtlar (Beasley, 2003; Başkent, 2004). Bu üç ana bileşenin matematiksel ifadesi aşağıda verilmiştir.

Amaç Fonksiyonu,

$$Z = \sum_{j=1}^N C_j x_j$$

Kısıtlar,

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N a_{ij} x_j \quad \begin{bmatrix} \leq \\ = \\ \geq \end{bmatrix} B_i$$

Karar Değişkenleri; X_j ,

Pozitiflik Koşulu, $X_j \geq 0$

biçiminde ifade edilir.

Bu formülde kullanılan matematik notasyonların açıklamaları ise şöyledir:

- $i= 1, 2, \dots, M$ (kısıt sayısı)
- $j= 1, 2, \dots, N$ (karar değişken sayısı)
- $X_j=$ karar değişkenleri

- C_j = amaç fonksiyonu katsayıları, j karar değişkeninin katkı sayıları
- a_{ij} = i kısıtındaki j karar değişkeninin teknik katsayısı
- B_i = i kısıtının sağ taraf değeri (STD) veya kaynak değeri

Yukarıda genel matematiksel modeli verilen DP modeli daha açık biçimde aşağıdaki gibi yazılabilir.

Max/Min = $c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_n x_n$	STD
$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n} x_n$	[$\leq, =, \geq$] b_1
$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n} x_n$	[$\leq, =, \geq$] b_2
$a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + \dots + a_{3n} x_n$	[$\leq, =, \geq$] b_3
Kısıtlar	.
.	.
$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn} x_n$	[$\leq, =, \geq$] b_m
x_1, x_2, \dots, x_n	\geq 0

DP problemlerinin bilgisayar ortamında çözümü için LINDO, QSB, DEAP, TORA ve EXCEL gibi çeşitli programlar mevcuttur (Taha, 2000). Bu çalışmada LINDO 6.1 optimizasyon yazılımından yararlanılmıştır. LINDO (Linear, Ineractive, Discrete Optimizer), doğrusal, integer ve quadratik programlama problemlerini çözen bir paket programdır. Hem bilgisayar versiyonu hem de ticari versiyonları bulunmaktadır. Diğer optimizasyon yazılımlarına göre LINDO oldukça fazla değişken ve sınırlılık kapasitesine sahip olup ticari modüllerinde veri girişi sınırsızdır.

Bu doktora tezi çalışmasında, yöneylem araştırma tekniklerinden DP kullanılmıştır. DP diğer tekniklere göre birden fazla amacı gerektirmemesi, çok detaylı verileri gerektirmemesi, ekonomik amaç dahil diğer amaçların sayısal bir değerle ifade edilmesi, problemin doğrusal ilişkilere göre kurulması, modellenmesindeki çözüm tekniklerindeki kolaylığı ile maliyet bileşenlerini temsil edebilme yeteneği, kolay, çözümleyici, sık kullanılabilen, fonksiyonel ve optimal sonuç vermesi nedeniyle tercih edilmiştir.

1.6.2. Tamsayı Programlama

Tamsayı Programlama normal olarak sürekli biçimde tanımlanan karar değişkenlerinin, kesikli değerler alan, karar değişkenleri biçimde tanımlandığı, gerçek problemlerin doğası gereği en sık karşılaşılan durumlara çözüm arar. Bu durum hem

problemlerin modellenmesinde hem de modellerin problem çözümünde kullanılmasında, etkin ve hızlı çalışan algoritmalar gereksinimini beraberinde getirmiştir (Bakır ve Altunkaynak, 2003).

DP tekniği çözümlerinde karar değişkenlerinin çözüm değerleri tamsayı değerler olabildikleri gibi, kesirli sayı değerleri de olabilmektedir. Ancak bazı durumlarda kesirli çözümlerin pratikte anlamlı olmadığı da açıktır. Örneğin, 2,5 adet işçi çalıştırılması, 2,5 adet makineli araç kullanılması veya 5,3 adet projenin desteklenmesi gibi. Bunun anlamı, çözüm değerlerinin mutlaka tamsayı olmasıdır. Bu darboğazın çözüm noktası, her ne kadar ilk bakışta kesirli değerlerin atılması olabilse de, bu yaklaşım tarzı, mevcut çözümlü optimal çözümden aşırı derecede uzaklaştırabileceği ve aynı zamanda bazı kısıtlayıcı koşulları da ihlal edebileceğinden dolayı geçersizdir (Başkent, 2004).

Tamsayı Programlama tekniğinin esası, DP'ye benzemekle beraber, yapısal karar değişkenlerinin tamamının veya belli bir kısmının çözüm değerlerinin tamsayı değerler almasına dayanır. Tamsayı Programlama genel anlamda üçe ayrılır (Başkent, 2004);

- Sade Tamsayı Programlama
- Karışık Tamsayı Programlama
- İkili (0-1) Tamsayı Programlama

Sade Tamsayı Programlama, yapısal karar değişkenlerinin tamamı tamsayı çözüm değerleri alırken, Karışık Tamsayı Programlamada bazı yapısal karar değişkenlerinin reel veya kesirli çözüm değerleri alabilmektedir. İkili Tamsayı Programlama, Sade Tamsayı Programlamanın özel bir durumu olup karar değişkenlerinin çözüm değerlerinin sadece 0 ya da 1 olmasıdır (Başkent, 2004).

1.6.3. Dinamik Programlama

Biri diğerini izleyen ve karşılıklı etkileri olan bir dizi kararın bütünüyle ele alındığı problemler için geliştirilen karar modelleri ve bunların çözümleri Dinamik Programlama (Dynamic Programming) başlığı altında incelenmektedir. Öte yandan incelenen problemin biri diğeriyle ilişkili alt problemlere ayrılabilme özelliğini taşıması ya da bir problem için geliştirilen karar modelinin, birbirine bağlı karar modelleri haline dönüştürülmesi, dinamik programlama uygulaması için yeterli olmaktadır (Akın, 2007).

Bazı ekonomik değişme ve gelişmeler, gelecek dönem için önceden yapılan planları geçersiz kılabilir. Bu durumda yeni bir planlamaya gereksinim vardır ya da önceki plan

güncelleştirilmelidir. Koşullar belirli bir zaman sürecinde değişiyorsa ve bunların alınan kararlara etkisi önemli ise dinamik programlama modellerine gereksinim vardır (Akın, 2007).

Dinamik programlama terminolojisinde aşama, durum, geçiş fonksiyonları, karar ve optimal politika adı verilen beş önemli kavram vardır. Aşama, çok aşamalı bir karar probleminde, karar verilmesi gereken noktalardır. Durum, her bir aşamada sistemin veya değişkenlerin alabileceği değerdir. Başka bir ifade ile durum, bir aşama ve onu izleyen aşamalara dağıtılan kaynaklardır. Geçiş fonksiyonları, her aşamanın bulunabilecek durumlarında verilebilecek karara göre, bu aşamayı izleyen veya daha önceki aşamanın hangi durumuna gelineceğini belirleyen ilişkilere denir. Karar, herhangi bir süreçte aşamaları tamamlama ile ilgili seçenekler arasından bir seçim yapılması işlemidir. Belirli bir durum ve aşamada verilen bir karar, sürecin hem durumunu hem de aşamasını değiştirir. Optimal politika, çok aşamalı bir karar sürecinin her karara bağlı, maliyet ve kâr cinsinden bir getirisi vardır. Bu getiri, sürecin aşama ve durumu ile birlikte değişir. Optimal politika, sürecin her bir aşaması için, verilen kararların bir sırasıdır. Çözüm bir aşamadan diğerine sıra önceliğine göre gidilerek elde edilir ve son aşamaya erişildikten sonra her parametre için değerler belirlenerek işlem tamamlanır. Böylece en uygun politika oluşturulmuş olunur (Akın, 2007).

1.6.4. Amaç Programlama

DP modelleri tek amaçlıdır. Bu amaç genellikle kârın maksimize edilmesi veya maliyetin minimize edilmesine dayalıdır. Amaç Programlama Yöntemi (Goal Programing) ise bilinen DP yönteminin değiştirilmiş bir şekli ve determinist bir karar alma tekniğidir. Amaç programlama çok amaçlı planlama problemini belirlenen amaçlardan olan sapmaların minimizasyonu halinde tek bir amaç fonksiyonuna dönüştürür (Köse, 1984).

Amaç programlama modeli, erişim ve amaç fonksiyonları olmak üzere iki kısımdan oluşur. Erişim fonksiyonu, öncelikli amaçlara ya da kısıtlayıcılara ilişkin sapmanın minimize edilmesini içerir. Amaç fonksiyonu ise amaç ya da kısıtlayıcının, doğrusal ya da doğrusal olmayan denklemleridir.

Problemler ne kadar iyi tanımlanır, formüle edilir ve ne kadar iyi kurulursa çözümdeki sonuçlar da o denli doğruya yakın olmaktadır. Amaç programlamada birinci sınıf amaçlar, kârı maksimize etmek, gideri, riski ve ek zamanı minimize etmek ve

personel ile işlemlerde yararlanmayı maksimize etmektir. İkinci sınıf amaçlar ise, sınırlı insan gücü, hammadde, bütçe ve zamanı en iyi şekilde kullanmaktır.

Amaç programlamada problem formüle edilirken, öncelikle karar değişkenleri belirlenmelidir. Bu değişkenler karar vericinin kontrol edebileceği faktörlerdir. Amaçlar ise karar değişkenlerinin fonksiyonu olarak yazılırlar. Amaçlar formüle edilirken, her amaç için belli bir öncelik verilmelidir. DP’de amaç fonksiyonu ne olursa olsun kısıtların, mutlaka önceden yerine getirilmesi gerekir. Kısıtları yerine getirmeyen çözüm olumlu değildir. Ancak Amaç Programlamada mutlak olmayan kısıtların en yakın değerine kadar erişebilmek olanaklıdır.

Modellemede son aşama erişim fonksiyonunun belirlenmesidir. Erişim fonksiyonu kurulduktan sonra çözüm tekniğinin uygulanmasına geçilmektedir. Burada geliştirilmiş simpleks yöntemi kullanılmaktadır. Her öncelikli amaç için birbiri ardı sıra uygulanır. Ardından gelen öncelikli amaçlara geçildikçe önceki amaçlar için bulunan sapma değerleri bu kez uygulaması zorunlu kısıtlayıcılar olarak modele sokulur ve yenilenerek son çözüm aranmaktadır.

1.7. Endüstriyel Odun Hammaddesinin Bölmeden Çıkarılmasında Çalışma Verimi

Verim, birbiriyle doğrudan neden-sonuç ilişkisinin kurulabildiği iki unsurun yine birbirine göre değerlendirilmesini içeren bir kavramdır. Çıktı açısından ölçü olarak kullanılan verim, elde etme ya da yararlanma oranıdır. Bu durumda, kullanılan veya çalıştırılan üretim etmenlerinin çalışma süresi sonundaki veriminden söz edilir (MPM, 1992). Verimlilik, üretimden elde edilen çıktının fiziksel miktarının, üretimde kullanılan girdilerin fiziksel miktarına oranıdır. ILO’ ya göre verimlilik: “Üretim ile iş gücü arasındaki ilişkidir” şeklinde tanımlanmıştır. Dolayısıyla verimlilik, çeşitli mal ve hizmetlerin üretimindeki kaynakların (emek, sermaye, arazi, malzeme) etken kullanımınıdır (Altuğ, 1989).

Verimlilik artışı, belirli bir zaman içinde üretim faktörlerini daha etkili kullanarak daha fazla ürün elde etmek, böylece girdi başına düşen çıktı payını arttırmak şeklinde tanımlanır (Seçkin, 1985). Bu çalışmada endüstriyel odun hammaddesinin tarım traktörleriyle sürütme şartları üzerinde sürütülerek bölmeden çıkarılması işlerindeki çalışma veriminden bahsedilmiştir.

1.8. Odun Hammaddesinin Taşınmasında CBS' nin Kullanımı

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).

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

Ormanların işletilmesini, orman yollarının planlanmasını ve odun hammaddesinin taşınmasını konu alan ormancılık CBS'nin en önemli uygulama alanlarından birini oluşturmaktadır (Koç,1995). Ülkemizde CBS'nin ormancılıkta kullanımıyla ilgili bazı uygulamalar gerçekleşmiştir. Akay vd. (2009) "CBS Tabanlı Karar Destekleme Sistemi ile Yangın Sahasına En Kısa Sürede Ulaşımı Sağlayan Optimum Güzergâhın Belirlenmesi" adlı çalışmalarında, yangın sahasına en hızlı ulaşımı sağlayacak optimum güzergâhın belirlenmesi amacı ile CBS tabanlı bir karar destekleme sistemi geliştirmişlerdir. Bu sistemde ağ analiz yöntemi kullanılarak bir noktadan başka bir noktaya optimum şekilde ulaşılmıştır.

Gümüş (2003) yapmış olduğu çalışmada, üretim ormanları için geliştirdiği orman yol ağı planlama yaklaşımı ile çevresel etkilerin minimize edildiği, ekonomik açıdan en uygun orman yol ağı modelini geliştirmiştir. Sadece planlama birimi alanına düzenli bir şekilde dağılmış orman yol ağı planı yerine en üst düzeyde alan ve servet işletmeye açılması amaçlarına göre düzenlenmiş, olumsuz çevre etkileri minimize edilmiş ve ekonomik

değerlendirilmesi yapılmış bir orman yol ağı planı gerçekleştirilmiştir. Çalışmada CBS'den yararlanılmıştır.

Erdaş ve Gümüş (2000), orman yollarının planlanması sırasında CBS yardımıyla orman yol geçkilerinin belirlenmesini araştırmışlardır. Geçki etüdünün yapılmasında ve yol yoğunluğu, yol aralığı, ortalama sürütme mesafesi ile işletmeye açma oranları gibi karar verme değişkenlerinin belirlenmesinde sayısal haritalar kullanılmıştır.

Akay vd. (2007) yapmış oldukları çalışmada, Türkiye'deki yol dizayn spesifikasyonlarını, ekonomik dataları ve orman özelliklerini dikkate alarak, modern optimizasyon yöntemleri ve CBS teknolojisi destekli bir orman yolu modeli sunulmuştur. Bu modelin birçok alternatif orman yolu geçkisini sistematik olarak değerlendirdiği ve yol planlama teknik standartlarını, çevresel şartları, sürücü güvenliğini ve sediment üretimini göz önünde bulundurduğu vurgulanmıştır. Böylece, sadece toplam yapım, bakım ve taşıma maliyetleri en düşük olan değil, aynı zamanda trafik güvenliğini ve orman ekosisteminin biyolojik çeşitliliğini korunması açısından önem taşıyan derelere ve dere kenarında bulunan alanlara taşınan sediment miktarını dikkate alan optimum orman yolu güzergahı geliştirilebileceği belirtilmiştir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

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

2.1. Araştırmanın Sınırlandırılması ve Planlanması

Bu çalışmada; endüstriyel odun hammaddesinin tarım traktörleriyle sürütme şeritleri üzerinde sürütülerek bölmeden çıkarma çalışmaları konu edilerek, sürütme şeritleri kavramı irdelenmiş, optimum sürütme modeli geliştirilmiş ve sürütme şeritleri ağının optimizasyonu yaklaşımı sağlanmaya çalışılmıştır.

Optimum sürütme modeli teknik, ekonomik ve çevresel açılardan optimum şekilde endüstriyel odun hammaddesinin tarım traktörleriyle sürütülerek bölmeden çıkarılmasını içermektedir. Sürütme şeritleri ağının optimizasyonu yaklaşımı ise optimum sürütme modelinden yararlanılarak üretim alanına sürütme şeritleri ağının planlamasını yapmaktır.

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

Endüstriyel odun hammaddesinin bölmeden çıkarılmasında, sürütme şeridi tesisleri ve bu tesisler üzerinde çalışan traktörler önemli bir yere sahiptir. Çalışma alanı, Batı Karadeniz Bölgesi'nde (Düzce/Gölyaka) olup, tarım traktörlerinin sürütme şeritleri üzerinde ve sürütme işlemini yapabildiği eğimin %0-33 arasında olduğu alanlarla sınırlandırılmıştır. Ayrıca bu eğim sınıfı içerisinde kalan üretime girecek meşcerelerde, sınırlamada önemli etkenlerden biridir. Sürütme şeritleri ağının optimizasyonuna konu edilen alanlar, Balıklı Orman İşletme Şefliği sınırları içerisinde eğimi %0-33 arasında olan ve planlama yılında üretime giren bölmelerdir. Araştırma, tarım traktörlerinin endüstriyel odun hammaddesini sürütme şeritleri üzerinde sürütme işleri ve mevcut sürütme şeritlerinin değerlendirilmesi şeklinde gerçekleştirilmiştir.

Sürütme şeridi kavramı, ormancılık sektöründe odun hammaddesi üretiminden önce planlanan, geçki üzerindeki ağaçların temizlenmesiyle oluşan, üretim araçlarından 1 m daha geniş (2,5-3,5 m) olan ve eğimi %0-50 arasındaki arazide planlanan bir transport

tesisi olarak kabul edilmiştir. Bayoğlu (1996); Acar, (2004); Erdaş vd. (2007) tarım traktörlerinin en uygun %0-33 olan eğimlerde çalışabildiğini, orman traktörlerinin ise en uygun %50 eğime kadar olan arazide çalışabildiğini belirtmişlerdir. Bu doktora tez çalışmasında tarım traktörleri kullanıldığından araştırma, eğimi %0-33 olan arazideki sürütme şeritleriyle sınırlandırılmıştır. Bölmeden çıkarmada endüstriyel odun hammaddesi dikkate alınmış (tomruk ve maden direği), diğer orman ürünleri çalışmada değerlendirilmemiştir. Tarım traktörleriyle sürüterek bölmeden çıkarmada optimum sürütme modelinin belirlenmesinde yöneylem araştırma tekniklerinden DP kullanılmıştır.

Çevresel zararlara ilişkin değerlendirmede meşcere toprağında meydana gelen sıkışma (0-5 cm ve 5-10 cm toprak derinliği), toprak kaybı ve sürütme şeritleri üzerindeki fidan zararları araştırılmıştır.

Parasal değerlendirmelerde 2010 yılı \$ kuru kullanılmıştır (1\$=1,53 TL). Amaçlanan hedeflere ulaşmak için araştırma alanı ve araştırma alanı içerisinde ölçümlerin yapılacağı örnek alanlar ve kontrol noktaları 2008 yılında belirlenmiştir. 2009 yılı üretim sezonunda mevcut durumla ilgili arazi çalışmaları tamamlanmış ve 2010 yılı üretim sezonunda ise sürütme şeritleri ağının optimizasyonunun testi için arazi çalışmaları yapılmıştır. Araştırmaya odun hammaddesi yaz üretim mevsiminde başlanılmıştır. Verilerin toplanması ve optimum sürütme modelinin arazideki testi de yaz üretim mevsiminde gerçekleşmiştir.

2.1.2. Araştırmanın Planlanması

Araştırma, mevcut uygulamadaki problemleri tanımlama, literatür temini, envanter, analiz, sentez ve çözüm yollarının belirlenmesi çalışmalarından sonra sürütme şeritleri ağının optimizasyonu şeklinde sürdürülmüştür.

Ülkemizdeki ve yurt dışındaki tanımları farklı yapılan sürütme şeritleri kavramı irdelenmiş tek bir tanımla birleştirilmiştir. Belirlenen örnek alanlarda tarım traktörlerinin endüstriyel odun hammaddesini sürütme şeritleri üzerinde sürüterek bölmeden çıkarma çalışmaları teknik, ekonomik ve çevresel açılardan incelenmiştir. Tarım traktörlerinin ortalama sefer süreleri ve verimliliği tespit edilmiştir. Sürütme şeritleri üzerinde belirlenen örnek alanlarda ve doğal alanlarda 0-5 cm ve 5-10 cm derinlikteki toprak sıkışıklığı ve fidan zararları ölçülmüştür. Ayrıca örnek alanlarda sürütmeden dolayı oluşan toprak kaybı da ölçülmüştür.

Tarım traktörlerinin minimum zaman, maliyet ve çevresel zararı ile bölmeden çıkarma çalışmalarını gerçekleştirebilmesi için optimum sürütme modeli oluşturulmuştur. Optimum sürütme modelinin geliştirilmesinde istatistik yöntemlerden ve DP'den yararlanılmıştır.

Optimum sürütme modelinden yararlanılarak araştırma alanı için optimum sürütme şeritleri deseni geliştirilmiş ve sürütme şeritleri ağının optimizasyonu yaklaşımı sağlanmıştır. Bu yaklaşım bilgisayar ortamında ve arazide test edilmiştir. Mevcut durumla yeni durum teknik, ekonomik ve çevresel açılardan karşılaştırılmıştır.

2.2. Materyal

2.2.1. Araştırma Alanının Tanıtımı

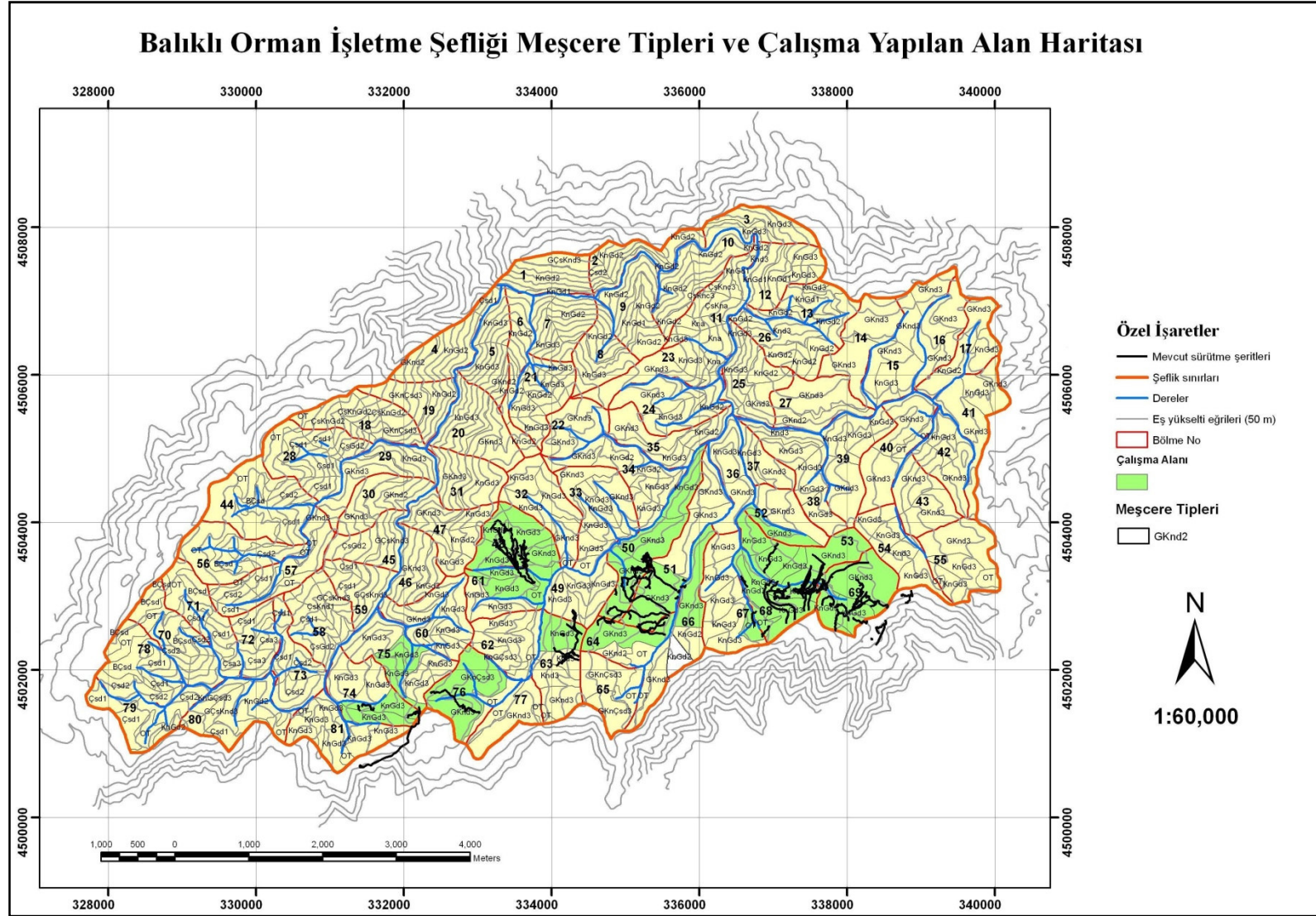
2.2.1.1. Araştırma Alanının Coğrafik, Jeolojik ve İklim Özellikleri

Araştırma alanı için seçilen Balıklı Orman İşletme Şefliği, Batı Karadeniz Bölgesi'nde, Düzce İli, Gölyaka ilçe sınırları içerisinde kalmaktadır. Orman idaresi bakımından ise Bolu Orman Bölge Müdürlüğü, Gölyaka Orman İşletme Müdürlüğü sınırları içerisinde bulunmaktadır (Şekil 7).

Balıklı Orman İşletme Şefliği 40° 38' 40" - 40° 42' 40" Kuzey enlemleri ile 30° 57' 35" - 31° 06' 45" Doğu boylamları arasında olup 1/25000 ölçekli topoğrafik haritalara göre, Adapazarı; G26-d1 ve G25-c2 paftalarında yer almaktadır.

Araştırma alanının bulunduğu Gölyaka Yöresi'nde arazi genellikle I. Zaman, II. Zaman ve kısmen de III. Zaman kaya oluşumlarını kapsamaktadır. Anakayayı rubi kalker ile kil, kum şistleri ve metamorfik olan şistik sahalar oluşturmaktadır. Yörede yer yer plutonik, granit ve diorit kayalarda bulunmaktadır (Anonim, 2001).

Balıklı Bölgesi ormanları Kuzey Anadolu sahil dağlarının üzerinde bulunmakta, denizle arasında şerit halinde dağlar olması nedeniyle tamamen Kuzey Anadolu sahil iklimi değil, aynı zamanda kara ikliminin de etkisi altında kalmaktadır. Bu nedenle iklim genellikle yazları serin, kışları yağışlı ve soğuk geçmektedir. Bölgenin ortalama yıllık sıcaklığı 13,3 °C, maksimum sıcaklığı 42,0 °C ve minimum sıcaklığı -20,5 °C'dir. Ortalama yıllık yağış 884,9 mm olup nisbi nem oranı ise %76'dır (Anonim, 2001).



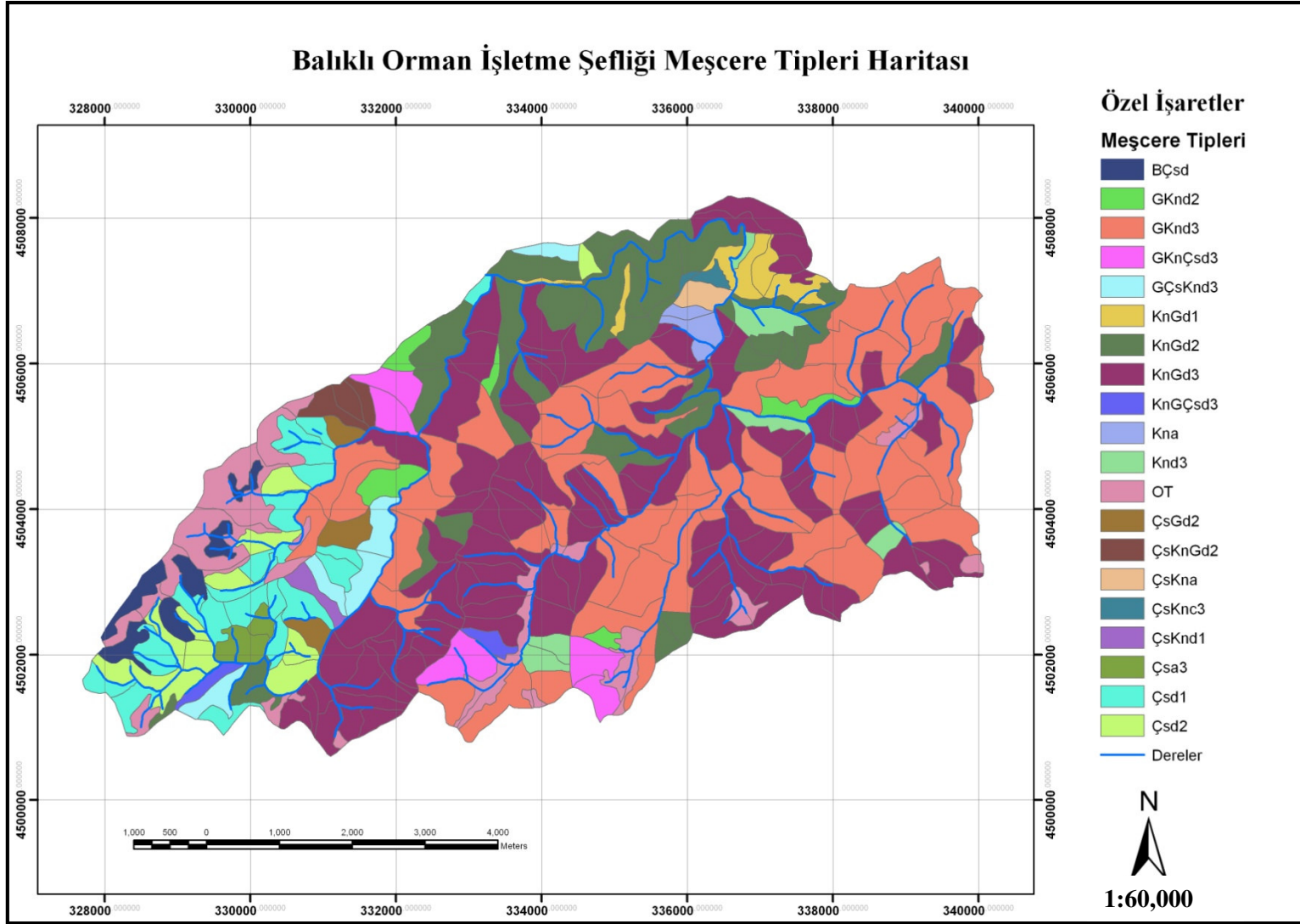
Şekil 7. Balıklı Orman İşletme Şefliği çalışma yapılan alanlar

2.2.1.2. Araştırma Alanının Orman Varlığı ve Orman Yol Ağı Planı

Balıkli Orman İşletme Şefliği'nin toplam büyüklüğü 5822 ha olup genel alanın tamamı ormanlık alanla kaplı, açıklık alan ise bulunmamaktadır. Ormanlık alanın 5469 ha'sı ağaçlık alandan, 353 ha'sı ise ağaçsız alandan (OT) oluşmaktadır. Şefliğe ait Orman Amenajman Planı 2001-2010 yılları için hazırlanmıştır. Plan süresi boyunca yıllık etası 21185 m³/yıl'dır. 2009 ve 2010 yıllarında endüstriyel odun hammaddesi üretimi genel olarak tomruk olup az miktarda maden direği ve yakacak odun standartlarındadır. Bu plan döneminde sekiz işlem ünitesi tipi oluşturulmuş, meşcere tipi adedi 20, bölme adedi 81 ve bölmecik adedi ise 308 adet olarak belirlenmiştir (Şekil 8). Alana ait orman varlığı özellikleri Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. Balıklı Orman İşletme Şefliği orman varlığı (Anonim, 2001)

Orman Tipi	Alan	Toplam Servet	Yıllık Eta
	(ha)	(m ³)	(m ³)
Üretim Dışı Ormanlar	1099,0	191803,0	-
Devamlı Ormanlar	2533,0	1413537,0	12413,0
Maktalı Ormanlar	2119,5	985423,0	8758,0
Koruya Tahvil	-	-	-
Rehabilitasyon	-	-	-
Ağaçlandırma Alanları	70,5	479,0	14,0
Toplam	5822,0	2591242,0	21185,0



Şekil 8. Balıklı Orman İşletme Şefliği meşcere tipleri haritası

Balıklı Orman İşletme Şefliği'nin asli ağaç türlerini Kayın (*Fagus orientalis*), Göknar (*Abies bornmuelleriana*) ve Sarıçam (*Pinus sylvestris L.*) oluşturmaktadır. Alanda mevcut diğer ağaç türleri; Meşe, Kavak, Dişbudak, Kızılağaç ve Karaçam'dır (Anonim, 2001).

Şeflikte toplam 106+600 km orman yolu bulunmakta olup karayolu ve köy yolu bulunmamaktadır. Mevcut orman yollarının büyük bir kısmının teknik açıdan yol eğimleri ve yol yüzeyi standartlarının odun hammaddesi taşınması için elverişli olduğu gözlenmiştir (Şekil 9).



Şekil 9. Teknik standartlara uygun orman yolu

2.2.1.3. Araştırma Alanının Arazi Yapısı

Araştırma alanında Güney-Batı kısımları hariç arazi şekli genellikle fazla eğimli olmayıp, yer yer düz ve düze yakın arazi söz konusudur.

2.2.1.4. Araştırma Alanının İşgücü Potansiyeli

Balıklı Orman İşletme Şefliği sınırlarına en yakın köy halkının başlıca geçim kaynağını ormancılık, hayvancılık ve ziraat oluşturmaktadır. Yöre halkı uzun yıllardır orman işletmesi tarafından yol yapımı, kesim, sürütme, taşıma gibi işlerde

çalıştırılmaktadır. Halk tüm ormancılık faaliyetlerinde çalışabilmekte ve zati ihtiyaç alma, yakacak odun alma gibi imkânlardan da yararlanmaktadır. Orman Amenajman Planı'na göre, yörede ormancılık faaliyetlerini karşılayacak potansiyelde işgücü miktarının her zaman var olduğu belirtilmektedir.

2.2.2. Araştırmada Kullanılan Makine ve Ekipmanlar

Araştırma alanında bölmeden çıkarma sırasında en çok kullanılan makine New Holland ve Massey Ferguson marka tarım traktörleridir. Traktörlerin büyük bir bölümünde monte edilmiş kablolu vinç bulunmaktadır. Vinçler yerli ve yabancı üretim olup, bazıları deniz yolu taşıtlarında kullanılmış çıkma vinçlerdir. Vinçlerdeki kablo uzunlukları genellikle 150-200 m arasındadır (Şekil 10).



Şekil 10. Tarım traktörüne monte edilmiş kablolu vinç

Arazi çalışmalarında, sürütme şeritlerinde ve sürütme etkisinin olmadığı kontrol noktalarında (KN) meydana gelen toprak sıkışıklığını ölçmek için el penetrometresi (DICKY-John marka toprak sıkışıklığı ölçer cihazı) kullanılmıştır. Ayrıca konumsal verilerin toplanmasında Garmin marka GPS alıcı, zaman ölçümlerinde CASIO marka dijital kronometre, arazi çalışmaları sırasında gerekli görülen noktalarda fotoğraf çekimi için CANON POWER SHOT A5 dijital fotoğraf makinesi, mesafe ölçümlerinde 25

metrelik ip, 5 ve 30 metrelik şerit metreler, arazi eğim ölçümlerinde klizimetre ile endüstriyel odun hammaddesinin orta çapını ölçmede çap ölçer yardımcı materyal olarak kullanılmıştır (Şekil 11).



Şekil 11. Çalışma alanında kullanılan bazı cihazlar

2.2.3. Arazide Kullanılan Etüt Formları

Obje özellikleri, arazi çalışma faaliyetleri ve bunlara ilişkin zaman değerlerinin kayda geçirilmesi için etüt formları düzenlenmiştir. Arazi çalışmaları sırasında yapılan ölçüm ve gözlemlerin kaydedilmesi için formlar (Ek Tablo 1 ve Ek Tablo 2) oluşturulmuştur.

2.2.4. Araştırmada Kullanılan Yazılımlar ve Donanımlar

Bu çalışmada, veri tabanının kurulması için; Pentium IV Duo 1.73 GHz işlemci, 2,5 GB RAM, 80 GB HardDisk ve 512 MB Ekran kartına sahip HP marka dizüstü kişisel bilgisayar ve el bilgisayarı kullanılmıştır.

Araştırmada alana ait standart topoğrafik haritaların, mevcut yol ağı haritasının ve amenajman planı meşcere haritasının sayısallaştırılmasında ArcGIS 9.2 Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) yazılımı kullanılmıştır. Coğrafi veri tabanının oluşturulmasında, veri tabanında gerekli sorgulamaların yapılmasında ve sayısal yükseklik modelinden yararlanılarak arazinin eğim ile bakı haritalarının hazırlanmasında yine ArcGIS 9.2

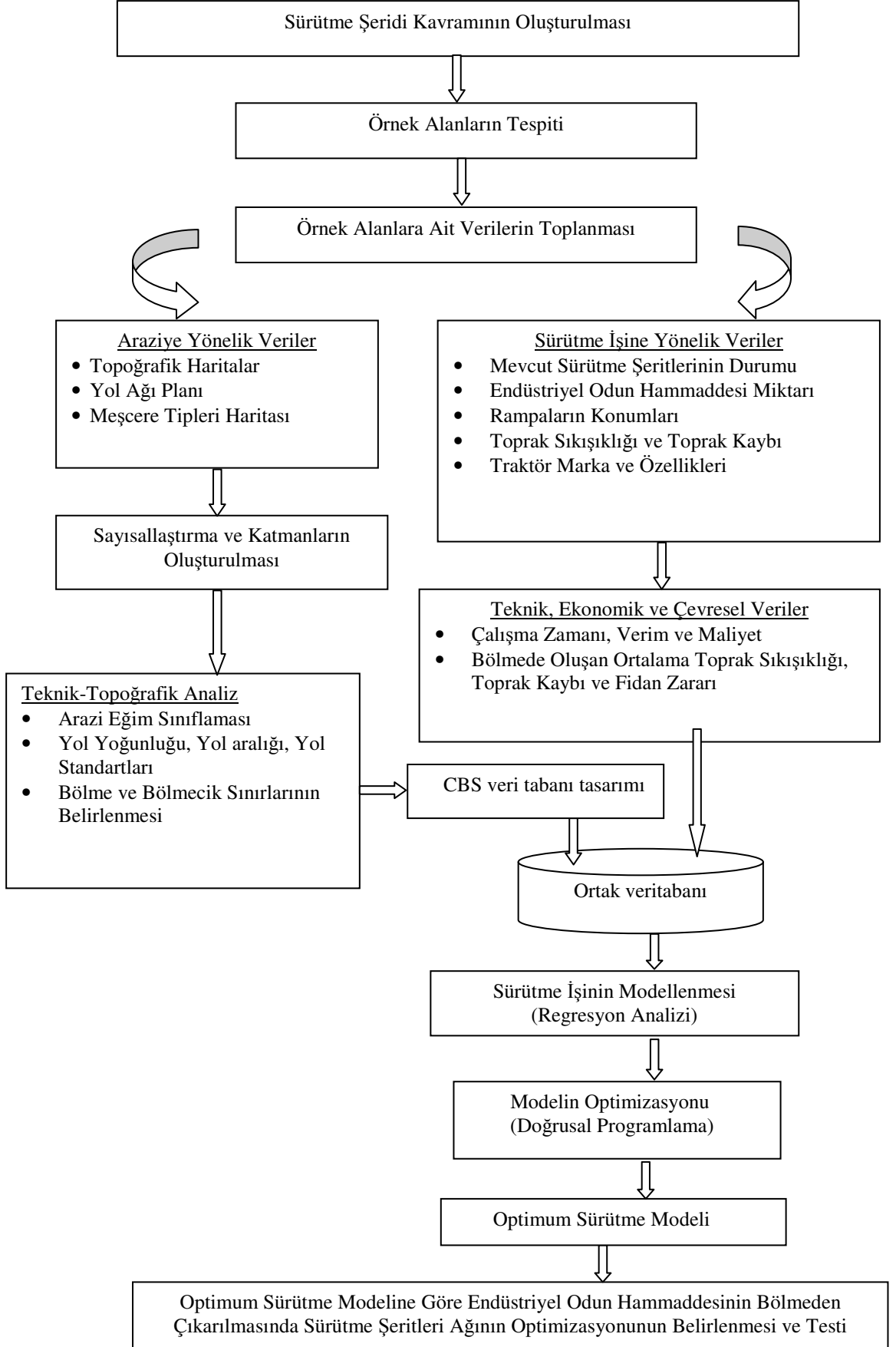
yazılımı kullanılmıştır. Ayrıca konusal haritaların değerlendirilmesinde NetCAD 5.0 GIS ve MapSource yazılımlarından da yararlanılmıştır.

2.3. Yöntem

Tarım traktörleri ile yapılan bölmeden çıkarma çalışmaları, sürütme şeritleri üzerinde gerçekleştirilmektedir. Ulusal ve uluslararası literatürde sürütme şeridi kavramıyla ilgili tanımlar yapılmasına rağmen, birçok tanım birbiriyle örtüşmemektedir. Sürütme şeridi kavramının oluşturulmasında, arazi çalışmalarından elde edilen veriler ve literatür analizleri değerlendirilmiştir. Buna göre sürütme şeritleri; ormancılık sektöründe odun hammaddesi üretiminden önce planlanan, geçki üzerindeki ağaçların temizlenmesiyle oluşan, üretim araçlarından 1 m daha geniş (2,5-3,5 m) olan ve eğimi %0-50 arasındaki arazide planlanan bir transport tesisi şeklinde tanımlanmıştır. Sürütme şeritlerinin optimum düzeyde planlanması ile endüstriyel odun hammaddesinin minimum zaman, maliyet ve çevre zararıyla bölmeden çıkarılması sağlanmıştır. Bu bağlamda tarım traktörleri ile sürütmede, optimum sürütme modeli ile sürütme şeritleri ağının optimizasyonu yaklaşımı sağlanmıştır (Şekil 12).

2.3.1. Veri Tabanı Tasarımı ve Veri Temini

Bu aşamaya veri tabanının tasarımı ve kurulumuyla başlanmıştır. Çalışmada kullanılan veriler; bölmeden çıkarma çalışmalarını özellikle sürütme şeritlerinin planlanmasını etkileyen, üretim alanının topoğrafik yapısı, orman yol ağı planı ve orman amenajman planında yer alan envanter bilgileri ile çalışmanın yapılacağı yıldaki plan dönemi için düzenlenen ormancılık çalışmalarıdır. Araştırma alanına ilişkin grafik ve öznitelik veriler elde edilmiş ve CBS veri tabanında yapılandırılmıştır. Grafik veri olarak tanımlanan konumsal ve coğrafik veriler, topoğrafik haritalardan, meşcere tipleri ve orman yol ağı haritasından temin edilmiştir. Öznitelik veriler ise; orman idaresinin kayıtlarından, yönetmeliklerden, tebliğlerden, yılsonu gerçekleştirme raporlarından, arazide yapılan gözlemlerden ve görüşme kayıtlarından elde edilmiştir.



Şekil 12. Sürütme şeritleri ağının optimizasyonu yaklaşımı

Araştırma alanına ait topoğrafik haritalar, orman yol ağı planı ve amenajman planında yer alan meşcere tipleri haritası sayısallaştırılmıştır. Orman yolları, mevcut sürütme şeritleri ve planlanan sürütme desenleri çizgi formatında, bölmeler ve bölmecikler poligon formatında ve rampalar nokta formatında sayısallaştırılmıştır. GPS alıcı yazılımdan elde edilen dxf uzantılı dosyaları ArcGIS yazılımına aktarılarak shp uzantılı dosyalara dönüştürülmüştür. Arazinin topoğrafik yapısının ne şekilde olduğunu tespit etmek için üç boyutlu arazi modeli oluşturulmuştur. Bunun için her bir eğrinin yükseklik değeri, katmanın öznitelik tablosuna girilerek sayısallaştırılmış olan eş yükselti eğrileri katmanı kullanılmıştır. Eşyükselti eğrisi katmanından sayısal arazi modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan sayısal arazi modeliyle araştırma alanının eğim sınıfları ve yükseklik kademeleri belirlenmiştir.

Bölmeden çıkarma yöntemlerinin belirlenmesinde arazi eğim değerleri en önemli faktörlerden biridir. Traktörler ile yapılan bölmeden çıkarma çalışmaları sürütme şeritleri üzerinde gerçekleştirilmektedir. Sürütme şeritleri yamaç eğimine göre uygulandığı için eğimin değerlendirilmesi gereklidir. Ölçümlerin ve gözlemlerin yapılacağı örnek alanların tespiti için Gölyaka Orman İşletme Müdürlüğü'ne bağlı Balıklı Orman İşletme Şefliği'nde yamaç eğimi %0-33 arasında olan üretim alanlarının tespiti yapılmıştır. Seçilen örnek alanların eğiminin %0-33 arasında olması, endüstriyel odun hammaddesinin tarım traktörleriyle sürütülerek bölmeden çıkarılmasında traktörlerin en uygun bu eğimler arasında çalışabilmesinden dolayıdır.

Sürütme şeritleri için teknik tanımlamalar yapılmasına rağmen, üretim sahasının tamamını kapsayacak şekilde bir planlamanın hangi esaslara göre yapılacağı yönünde, mevzuatta doğrudan sürütme şeritleri için hazırlanmış bir düzenleme mevcut değildir. Bu nedenle sürütme çalışmaları orman işçilerinin deneyimlerine bağlı olarak düzensiz bir şekilde yürütülmektedir. Belirtilen eğim sınıfına giren örnek alanlarda tarım traktörleriyle sürütme sonucu gelişmiş güzel oluşan mevcut sürütme şeritlerinin durumuyla ilgili olarak sürütme şeritlerinin uzunlukları ve genişlikleri şerit metreyle, konumları GPS alıcısı ile eğimi ise klizimetreyle ölçülmüştür. Örnek alanlardaki geçici istif yerlerinin (rampaların) koordinatları GPS alıcısı ile kaydedilmiştir.

2.3.2. Ölçüm Yöntemleri

2.3.2.1. Sürütme Etkileyen Faktörler ve Zaman Analizleri

Endüstriyel odun hammaddesinin tarım traktörüyle sürütme şeritleri üzerinden aşağıya doğru sürütülerek geçici istif yerlerine getirilme zamanını ve sürütme güçlüğünü etkileyen en önemli faktörlerden; sürütme mesafesi, traktör gücü, yükteki parça sayısı, tomruk hacmi, sürütme şeridi zemin sınıfı (taşlı=1 (20< mm), iri taneli=2 (0,2-2 mm), ince taneli=3 (0,02-0,2 mm) ve humuslu toprak=4), zemin durumu (kaygan olmayan=1(kuru zemin), yarı kaygan =2 (nemli zemin) ve kaygan= 3 (ıslak zemin)), 0-5 cm derinliğindeki toprak sıkışıklığı ve arazi eğimi belirlenmiştir (Hafner, 1964; Abegg, 1970; Özçamur,1981; Seçkin 1986; Karaman, 1997 ve Shaffer, 1998). Bu faktörlerin yanında sürütme zamanını ve sürütme güçlüğünü etkileyeceği düşünülen 5-10 cm derinliğindeki toprak sıkışıklığı ve sürütme şeridi üzerinde kaybolan toprak hacmi değerleri de ölçülmüş ve etüt tablosuna kaydedilmiştir. Sürütme yönü ve işçi sayısı (2 kişi) faktörleri de belirlenmiş ancak çalışmada bu faktörlerin aynı durum ve değerde olmasından dolayı optimum sürütme modelini belirlemede dikkate alınmamıştır.

Bölmeden çıkarma çalışmalarında ağacın kesildiği yerden geçici istif yerlerine taşınmasına kadar gerçekleşen işlemlerin (yükü gidiş, boş dönüş, bekleme, bağlama, çözme, kablonun yüke çekilmesi ve yükün traktöre çekilmesi) süreleri ölçülmüştür. Zaman ölçme yöntemi olarak sürekli zaman ölçme tekniği kullanılmıştır (Aykut, 1972; Acar, 1994; Karaman, 1997). Tarım traktörleriyle sürütme tekniğinde zaman etütleri yapılırken, yüklü gidiş orman içinden orman yoluna aşağı doğru ve boş dönüş orman yolundan orman içine yukarı doğru gerçekleşmiştir. Zaman ölçümleri ilk olarak kablonun yüke çekilmesindeki, yükün bağlanılmasındaki, yükün traktöre çekilmesindeki, yükün traktörün zincirine bağlanmasındaki, yüklü gidişindeki, yükün çözülmesindeki ve son olarak traktörün boş dönüşündeki süreler ayrı ayrı ölçülmüştür. Ayrıca bölme ve bölmecik numarası, taşıma yönü, sürütme mesafesi, işçi sayısı, zemin durumu, zemin sınıfı gibi bilgiler de tespit edilerek etüt tablosuna (Ek Tablo 1) kaydedilmiştir. Ölçümler, traktör hızına göre traktöre binerek veya arkasından yürüyerek, boyuna asılı bulunan sıfırlanmış bir kronometre yardımıyla gerçekleştirilmiştir. (Şekil 13-14). Geçici istif yerlerine getirilen endüstriyel odun hammaddesinin hacmini bulmak için çap ölçerle orta çapları ve şerit metreyle boyları ölçülmüştür.



Şekil 13. Traktörün yüklü gidişi



Şekil 14. Zaman ölçümlerinde verilerin elde edilmesi

2.3.2.2. Çevresel Zararlara İlişkin Ölçümler

Araştırmada çevresel zararlara ilişkin olarak meşcere toprağında meydana gelen sıkışma (0-5 cm ve 5-10 cm toprak derinliği), toprak kaybı ve sürütme şeritleri üzerindeki fidan zararları araştırılmıştır.

- Toprak Sıkışıklığının Ölçülmesi

Endüstriyel odun hammaddesinin zemin üzerinde sürütülmesi sonucu oluşan olumsuz çevresel etkiler; toprağın fiziksel özelliklerinde bozulma (sıkışma, gözenek hacminde azalma, sıkışmaya bağlı olarak su ve hava kapasitesinin azalması ve hacim ağırlığındaki artış, yüzeysel akış ve erozyonla toprak kaybı, toprak taşınması ve karışma), bitki gelişiminde gerileme ve tür çeşitliliğinde değişimler (bitki kök gelişiminin bozulan toprak özelliklerinden dolayı gerilemesi, besin maddesi alımının engellenmesi), toprak organik maddesi ve humuslaşma ile mineralizasyonda toprak canlılarının yaşam şartları ve aktivitelerindeki etkilere bağlı olarak gerileme, toprakta denitrifikasyon yoluyla azot kayıpları öncelikli sırayı almaktadır (Erdaş 1993; Wang, 1997; Messina vd., 1997; Bengtsson vd., 1998; Arocena, 2000; Marshall, 2000; Gilliam, 2002; Buckley vd., 2003; Williamson ve Neilsen, 2003; Godefroid and Koedam, 2004; Johnston ve Johnston, 2004; Makineci vd., 2007a).

Bahsedilen bu olumsuz çevresel etkilerin başlıca nedeni orman toprağında meydana gelen sıkışmadan dolayıdır. Araştırma alanındaki sürütme şeritlerinde ve doğal alanda toprak sıkışıklığı ve kaybı durumunu ortaya koymak için ölçümler alınmıştır. Öncelikle her bir sürütme şeridi, başlangıcından sonuna kadar 10 m aralıklarla örneklenerek ölçümler yapılmıştır. Ayrıca araştırma alanında sürütme etkisinin olmadığı alandan (kontrol noktası), sürütme şeridine olan uzaklığı en az 25-30 m olmak üzere (kenar etkisini önlemek amacıyla en az bir ağaç boyu) yine 10 m aralıklarla ölçümler yapılmıştır (Şekil 15).

Sürütme şeridi üzerinden alınan ölçümlerde; toprak sıkışıklığını belirlemek için iki farklı toprak derinlik kademesinde (0-5 cm ve 5-10 cm) el penetrometresi (toprak sıkışıklığı ölçer) kullanılarak sıkışıklık ölçülmüştür (Karaöz, 1989a; Karaöz, 1989b; Karaöz 1992; Quigley, 2003; Motavalli, 2003; Demir vd., 2007a; Demir vd., 2007b; Makineci vd., 2007a; Makineci vd., 2007b). Toprak sıkışıklığı ölçer cihazı üç renk koduna sahiptir. Yeşil renkli (0-200 psi) olan aralık bitki kök gelişimi için iyi olan toprak sıkışıklığını göstermekte, sarı renkli (201-300 psi) olan aralık bitki kök gelişimi için orta olan toprak sıkışıklığını göstermekte ve kırmızı renkli (301< psi) olan aralık bitki kök gelişimi için kötü olan toprak sıkışıklığını göstermektedir (URL-2, 2011).



Şekil 15. Sürütme şeridinde el penetrometresiyle toprak sıkışıklığı ölçümü

Kontrol noktasından (KN) alınan ölçümlerde; toprak sıkışıklığını belirlemek için örnek alandaki (ÖA) ölçümlere benzer şekilde iki farklı toprak derinliğinde el penetrometresi kullanılarak sıkışıklık ölçülmüştür (Şekil 16).



Şekil 16. Doğal alandan alınan ölçümler

- Toprak Kaybının Ölçülmesi

Örnek alanda sürütme şeritlerinde oluşan toprak kaybını belirlemek için toprak aşınımı sonucu oluşan geometrik şekiller metreyle ölçülerek kesit alanları bulunmuş ve daha sonra sürütme şeridi uzunluğuyla çarpılarak toprak kaybı hacmi hesaplanmıştır (Türk, 2006; Menemencioğlu, 2006) (Şekil 17). Toprak kaybı değeri m^3 ve ton birimlerinde verilmiş, ton birimini bulmada orman toprağının ortalama özgül ağırlığı $2510 \text{ ton}/m^3$ olarak alınmıştır (Kara ve Bolat, 2008).



Şekil 17. Sürütme şeridinde oluşan toprak kaybının ölçülmesi

- Fidan Zararının Ölçülmesi

Endüstriyel odun hammaddesinin zemin üzerinde sürütülmesi sonucu, sürütme şeritlerinin büyük çoğunluğunda az sayıda fidanların bulunduğu, bu fidanların ise yatık, kırık ve sökülmüş durumda olduğu görülmüştür (Şekil 18) . Bu nedenle sürütme şeridi üzerindeki örnek alanlar ile kontrol noktaları arasındaki fidan durumunu ortaya koymak için doğal alanda belirlenen kontrol noktalarının 1 m^2 'si çevrilmiş ve m^2 'ye düşen fidan sayısı tespit edilmiştir. Böylece mevcut durumla, planlama sonrasındaki durum karşılaştırılabilmiştir. Araştırma alanında elde edilen bütün ölçüm ve gözlemler oluşturulan etüt formuna not edilmiştir.



Şekil 18. Bölmeden çıkarma sonucu oluşan fidan zararları

2.3.3. Kullanılan İstatistik Yöntemler

Farklı özelliklere sahip örnek alanlarda traktörün yüklü gidiş ve boş dönüş zamanını etkileyen birçok değişken söz konusudur. Benzer şekilde çevresel zararları da etkileyen birçok değişken bulunmaktadır. Toplam sürütme zamanına ve çevre zararına en etkili olan değişkenleri belirlemek için istatistik yöntemlerden yararlanılmıştır. Bütün istatistiki analizler SPSS 13.0 paket programı ile gerçekleştirilmiştir.

Çalışma kapsamında yapılan istatistiki değerlendirmeler;

- Ortalama ve sapmaların hesaplanması
- ÖA ile KN verileri ortalamalarının karşılaştırılması (Independent-Samples T-Testi)
- Değişkenler arası ilişkilerin araştırılması (Pearson Korelasyon Testi)
- ygz, bdz, kth, ts05 ve ts510 değişkenlere ilişkin matematiksel modellerin belirlenmesi (Regresyon Analizi)

şeklinde yürütülmüştür.

Verilerin normal dağılıp dağılmadıkları Kolmogorov Simirnow normal dağılım testi ile araştırılmıştır. Normal dağılmadığı tespit edilen verilere, SPSS paket programı

içerisindeki en uygun dönüşümler uygulanarak verilerin normal dağılıma uygun hale getirilmesi sağlanmıştır.

Ek Tablo 3 ve Ek Tablo 4’de gözlem ve ölçüm değerlerine ilişkin bilgiler bağımlı ve bağımsız değişkenler olarak verilmiştir. Ayrıca ölçüm değerlerinin aritmetik ortalaması ve standart sapması hesaplanmış, maksimum ile minimum değerleri belirlenmiştir.

Bağımsız değişkenler (xii) ile bağımlı değişkenler (yii) arasındaki ilişkinin modellenmesi, ilişki derecesinin, fonksiyonel tipinin ve değişken katsayılarının belirlenmesi için regresyon analizi yapılmıştır. Oluşturulan regresyon eşitlikleri için; ilişki katsayısı (Düzeltilmiş R^2), standart hata (S_{xy}) ve F değerleri hesaplanmıştır. Regresyon analizi uygulandığında %95 güven düzeyiyle eşitlikte yer alabilen bağımsız değişkenler seçilmiştir. Bu durumda aynı yii değerini hesaplamaya yarayan birden çok eşitlik oluşmaktadır. İstatistiki olarak en uygun eşitliğin seçilmesinde;

- ✓ R^2 değeri 1’ e yakın olması
- ✓ Eşitliğin standart hatasının küçük olması
- ✓ F değerinin büyük olması

koşulları aranmıştır. Ayrıca eşitliğin seçilmesinde bilimsel olarak bağımlı değişkene katkısı büyük olan bağımsız değişkenlerinin eşitlikte olması koşulu da aranmıştır.

2.3.4. Değerlendirme Yöntemi

Ölçülerek ve gözlemlenerek elde edilen bütün bilgiler değerlendirilerek tablo şekline dönüştürülmüştür. Tarım traktörleriyle bölmeden çıkarma işlerinde zaman ve çevre üzerinde etkili olduğu varsayılan bağımsız değişkenler xii şeklinde, bağımlı değişkenler ise yii şeklinde belirlenmiştir. xii şeklinde belirlenen, etken faktörler değişik birimlerle ifade edilmiştir. Bunların bir kısmı gruplandırılmış, bir kısmı da gerçek ölçü değerleri ile verilmiştir.

Tarım traktörleri ile bölmeden çıkarma sürecinde zamansal ve çevresel gözlem ve ölçüm değerleri Ek Tablo 1’de ve Ek Tablo 2’de verilen etüt formlarına kaydedilmiştir. Etüt formlarında yer alan değişkenlerin xii ve yii şeklindeki ifadeleri aşağıda ve Ek Tablo 3’te belirtilmiştir. Kaybolan toprak hacmi ve toprak sıkışıklığı (0-5 cm ve 5-10 cm) değerleri hem bağımlı hem de bağımsız değişken olarak alınmıştır. Optimum sürütme modelinde yüksek verim elde edilmesinin yanı sıra en az çevresel zararın oluşmasını sağlamak için bahsi geçen değişkenler optimum modelde bağımsız değişken olarak alınmıştır. Çevresel

zararları doğrudan etkileyen faktörlerin belirlenmesinde ise bu değişkenler bağımlı değişken olarak alınmıştır.

Bağımsız değişkenler:

x1= tgg=traktör gücü grupları (1= 50-60 BG, 2= 61-71 BG ve 3= 72-82 BG),

x2= ps=parça sayısı (adet),

x3= th=tomruk hacmi (m^3),

x4= zd=zemin durumu (1= kaygan olmayan, 2=yarı kaygan ve 3= kaygan),

x5= zs=zemin sınıfı (1=taşlı, 2=iri taneli, 3=ince taneli ve 4=humuslu toprak),

x6= eg=eğim grupları (1=%0-11, 2=%12-22 ve 3=%23-33),

x7= ts05=ÖA'da ölçülen 0-5 cm derinlikteki toprak sıkışıklığı (psi),

x8= sm=sürütme mesafesi (m),

x9= ts510=ÖA'da ölçülen 5-10 cm derinlikteki toprak sıkışıklığı (psi),

x10= kth=kaybolan toprak hacmi (m^3),

x11= e=eğim (%),

x12= şg=şerit genişliği (m),

Bağımlı değişkenler:

y1= ygz=yüklü gidiş zamanı (sn),

y2= bdz=boş dönüş zamanı (sn),

y3= kth=kaybolan toprak hacmi (m^3),

y4= ts05=ÖA'da 0-5 cm derinlikteki toprak sıkışıklık (psi),

y5= ts510=ÖA'da ölçülen 5-10 cm derinlikteki toprak sıkışıklığı (psi).

2.3.5. Optimum Sürütme Modelinin Belirlenmesi

Optimum sürütme modelinde, odun hammaddesinin tarım traktörleriyle sürütme şeritleri üzerinde sürütülmesini etkileyen faktörlerin tespit edilmesiyle, belirtilen çevresel zararların en aza indirilmesi, en yüksek verimin elde edilmesi ve bu modelden yararlanarak sürütme şeritleri ağının optimizasyonunun sağlanması gibi problemler tanımlanmıştır. Bu karar verme problemlerinin yöneylem araştırması teknikleri ile çözümlenebilmesi için matematiksel programlama yöntemlerinden DP çözüm stratejisi kullanılmıştır.

Optimum sürütme modeli probleminin modellenmesinde, benzer problemler için Yöneylem Araştırma metodolojisindeki genel modelleme yöntemi (Dykstra, 1984; Burger ve Jamnick, 1991; Oborn, 1996; Rardin, 1998, Taha, 2000; Eker, 2004) çerçevesinde Davis

vd. (2001) tarafından belirtilen adımlar izlenmiştir. Bunlar; karar vericinin tanımlanması, probleme konu olan orman ya da planlama etkinliği için amaçların belirlenmesi, ölçülebilen amaçlara erişmek için kriterlerin, etkinliklerin ve karar değişkenlerinin tanımlanması, amaç fonksiyonu, hangisinin kısıtlayıcı olacağını belirlenmesi, kaynak, amaç ve politikaların belirginleştirilmesi, en iyi amaca erişmek için aktivitelerin miktarını temsil eden karar değişkenlerinin düzeyini bulabilmek için kullanılacak çözüm tekniklerinin belirlenmesidir.

Bu çalışmada DP problemlerinin bilgisayar ortamında çözümünde LINDO 6.1 optimizasyon yazılımından yararlanılmıştır. LINDO'da veri girişinde kelime işlemci yöntemi kullanılmıştır. LINDO çalışma sayfasının ilk satırına amaç fonksiyonu yazılmıştır. Amaç fonksiyonu yazılırken maksimizasyon için MAX, minimizasyon için MIN kısaltması kullanılmıştır. İkinci satıra ST (subject to), üçüncü ve takip eden satırlara ise fonksiyonel katsayılar yazılmıştır. Eşitsizliklerin sağ tarafında sadece sabit değerler, sol tarafında ise değişkenler ve katsayılar yer almıştır. Eşitsizlikleri yazarken $<$, \leq , $>$, \geq , $-$, $+$ kısaltmaları kullanılmıştır. Bütün değişkenler nonnegatif varsayımına ($X_j \geq 0$ $j=1,2$) göre yapılmıştır (Paksoy, 2001).

İstatistiksel yöntemlerle elde edilen matematiksel modeller optimum sürütme modelinin oluşturulmasında ilk basamağı oluşturmuştur. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda optimum sürütme modeli matematiksel formülasyonu belirlenmiştir.

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

Modelde yer alan karar değişkenleri;

- Her bir sürütme şeridinde sürütme işlemi yapan tarım traktörü gücü (BG),
- Her seferdeki parça sayısı (adet),
- Her seferdeki toplam tomruk hacmi (m^3),
- Sürütme şeridindeki zemin durumu,
- Sürütme şeridindeki zemin sınıfı,
- Sürütme işleminin yapıldığı arazi eğimi (%),
- Sürütme şeridinde 0-5 cm derinlikteki toprak sıkışıklığı (psi),
- Sürütme şeridinde 5-10 cm derinlikteki toprak sıkışıklığı (psi),
- Sürütme şeridindeki kaybolan toprak hacmi (m^3),

- Sürütme şeridinin genişliği (m),
- Sürütme mesafesi (m), olarak kararlaştırılmıştır.

Problem, içeriği ve sınırları ile tanımlandıktan sonra amaç fonksiyonu denklemleri oluşturulmuştur. Optimum sürütme modeli amaçları önceki bölümlerde değinilmesine rağmen matematiksel modeller için amaç fonksiyonlarının belirlenmesinde aşağıdaki yöntemler izlenmiştir:

- Ulusal bazda ormancılık ana planı, kalkınma planı, ormancılık amaçları (teknik, ekonomik ve çevresel) dikkate alınmıştır.

- Optimum sürütme modeli düzeyinde ilgilenilen etkinlik tanımlanmıştır. Bu etkinlikten beklenenler belirlenmiştir (Odun hammaddesinin en kısa sürede bölmeden çıkarılması, bölmeden çıkarmanın Devlet Orman İşletmesine (DOİ'ye) toplamda en az maliyetle mal olması, birim odun hammaddesi başına ortalama toplam giderin en az olması, sürütme işleminin her aşamasında çevresel zarar en az olması, sürütme işinde çalışanların en az iş yüküne maruz kalması gibi).

- Optimum sürütme modelinin ve sürütme şeritleri ağının optimizasyonunu sınırlandıran faktörler tanımlanmıştır (Topoğrafya, meşcere durumu, tarım traktörünün özellikleri, teknik faktörler ile ekonomik ve çevresel faktörler, vb.) (Eker, 2004).

Bu bilgiler sonucunda, DOİ amaçları ve endüstriyel odun hammaddesinin tarım traktörleriyle sürütme şeritlerinden sürütülerek bölmeden çıkarılmasına ilişkin beklenenler doğrultusunda optimum sürütme modeli amaç fonksiyonu; birim miktardaki odun hammaddesi sürütme maliyetinin en aza indirilmesi (minimizasyonu) olarak kabul edilmiştir. Ayrıca sürütme işlemi sonucu meydana gelen toprak kayıplarını ve toprak sıkışıklığını en aza indiren değişkenler optimum sürütme modelinde dikkate alınmış modelde yerine konulmuştur. Optimum sürütme modelinde kablo çekimi, sürütme şeritleri ağının planlanmasında etkili olmadığından yer almamıştır. Ancak gerçek zaman değerlerini bulmada ortalama kablo çekim süreleri kullanılmıştır.

2.3.5.1. Doğrusal Programlama Modelleri

Çalışma planına göre 4 model oluşturulmuştur. Bunlar; Model-1-1 (traktörün yüklü gidiş zamanının minimizasyonu), Model-2-1 (traktörün boş dönüş zamanının minimizasyonu), Model-3-1 (sürütme sonucunda sürütme şeritlerinde meydana gelen

toprak kayıplarının minimizasyonu) ve Model-4-1 (sürütme sonucunda sürütme şeritlerinde meydana gelen 0-5 cm derinlikteki toprak sıkışıklığının minimizasyonu)'dir.

Traktörün yüklü gidiş ve boş dönüş zamanlarının minimizasyonunu ifade eden modeller, traktörün boş dönüşünde yük olmamasından dolayı ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Yüklü gidişteki optimum traktör gücü grubu boş dönüşte de aynı alınmıştır.

2.3.5.1.1. Model-1-1 İçin Doğrusal Programlama Modeli

Model-1-1, traktörün yüklü gidiş zamanının minimizasyonunu başka bir ifadeyle optimum sürütme modelini ifade etmektedir. Aşağıda belirtilen karar değişkenleri istatistiki ve anlamsal olarak traktörün yüklü gidiş zamanı üzerinde etkili olmalarından dolayı tercih edilmiştir. Diğer değişkenlerin (ÖA'da ölçülen 5-10 cm derinlikteki toprak sıkışıklığı (psi), kaybolan toprak hacmi (m^3) ve sürütme şeridi genişliği (m)) etkisinin ise istatistiki olarak önemli sayılmayacak düzeyde olduğundan karar değişkeni olarak alınmamıştır.

Karar değişkenleri:

tgg=traktör gücü grupları (1= 50-60 BG, 2= 61-71 BG ve 3= 72-82 BG),

ps=parça sayısı (adet),

th=tomruk hacmi (m^3),

zd=zemin durumu (1= kaygan olmayan, 2=yarı kaygan ve 3= kaygan),

zs=zemin sınıfı (1=taşlı, 2= iri taneli, 3=ince taneli ve 4=humuslu toprak),

eg=eğim grupları (1=%0-11, 2=%12-22 ve 3=%23-33),

ts05=ÖA'da ölçülen 0-5 cm derinlikteki toprak sıkışıklığı (psi),

sm=sürütme mesafesi (m),

x_{100} = sabit sayı, olarak ifade edilmektedir.

Kısıtlayıcı koşullar:

$$1 \leq tgg \leq 3$$

$$ps = 4$$

$$th = 1,732 (\text{sqrt } 3)$$

$$1 \leq zd \leq 2$$

$$2 \leq zs \leq 4$$

$$2 \leq eg \leq 3$$

$$2,25 \leq ts05 \leq 2,89 (\lg 10 152, \lg 10 780)$$

$sm = 10$ (sqrt 100)

$x_{100} = 28$, bu şekildedir.

Burada tgg karar değişkeni üç gruba ayrıldığından, kısıtlayıcı koşulların bu üç grup arasında olması gerektiği kabul edilmiştir. ps karar değişkeninin 4'e eşit olma koşulu, optimum sürütme modelinde LINDO yazılımı ile yapılan denemeler sonucunda verim ve sefer sayısı bakımından en iyi durumu vermesinden dolayı kabul edilmiştir. th karar değişkeni normal dağılım göstermediğinden karekök dönüşümü uygulanmıştır. Bu nedenle 3 olması gereken değer dönüşümle 1,732 olmuştur. Değişkenin 1,732'ye eşit olma koşulu, optimum sürütme modelinde LINDO yazılımı ile yapılan denemeler sonucunda verim ve sefer sayısı bakımından en iyi durumu vermesinden dolayı kabul edilmiştir. zd karar değişkeninin 1 veya 2 değerini alma koşulu, mevcut durumda her iki durumun söz konusu olmasından dolayı kabul edilmiştir. zs karar değişkeninin 2, 3 veya 4 değerini alma koşulu, mevcut durumda bu üç durumun söz konusu olmasından dolayı kabul edilmiştir. eg karar değişkeninin 2 veya 3 değerini alma koşulu, mevcut durumda her iki grubun olmasından dolayı kabul edilmiştir. ts05 karar değişkeni normal dağılım göstermediğinden log10 dönüşümü uygulanmıştır. Bu nedenle 152 ile 780 arasında olması gereken değer dönüşümle 2,25 ile 2,89 arasında olmuştur. Değişkenin bu değerler arasında olma koşulu mevcut durumda çalışma alanında bu değerler arasında değerlerin bulunmasından dolayı kabul edilmiştir. sm karar değişkeni normal dağılım göstermediğinden karekök dönüşümü uygulanmıştır. Bu nedenle 100 olması gereken değer dönüşümle 10 olmuştur. Karar değişkeninin 10'a eşit olma koşulu, sürütme şeritleri uzunluklarının yüklü gidiş ve boş dönüş zamanına doğrudan etkili olduğundan ve zamansal analizlerin değerlendirilmesinde doğru sonuca ulaşmak için bu koşul kabul edilmiştir. x_{100} karar değişkeni sabit sayıyı ifade ettiğinden 28 değerine eşit olarak alınmıştır.

2.3.5.1.2. Model-2-1 İçin Doğrusal Programlama Modeli

Model-2-1, traktörün boş dönüş zamanının minimizasyonunu ifade etmektedir. Aşağıda belirtilen karar değişkenleri istatistikî ve anlamsal olarak traktörün boş dönüş zamanı üzerinde etkili olmalarından dolayı tercih edilmiştir. Diğer değişkenlerin (parça sayısı (adet), tomruk hacmi (m^3), zemin durumu (1= kaygan olmayan, 2=yarı kaygan ve 3= kaygan), ÖA'da ölçülen 5-10 cm derinlikteki toprak sıkışıklığı (psi), kaybolan toprak

hacmi (m^3) ve sürütme şeridi genişliği (m)) etkisinin ise istatistikî olarak önemli sayılmayacak düzeyde olduğundan karar değişkeni olarak tercih edilmemiştir.

Sürütme çalışmalarında yüklü gidiş ve boş dönüş aynı traktörle gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle, Model-2-1'de yer alan tgg = traktör gücü grubu karar değişkeninin değeri, traktörün yüklü gidiş zamanının minimizasyonunu ifade eden Model-1-1'de bulunan optimum traktör gücü grubu değeridir.

Karar değişkenleri:

tgg =traktör gücü grupları (yüklü gidişte elde edilen optimum traktör gücü grubu değeri),

zs =zemin sınıfı (1=taşlı, 2=iri taneli, 3=ince taneli ve 4=humuslu toprak),

eg =eğim grupları (1=%0-11, 2=%12-22 ve 3=%23-33),

$ts05$ =ÖA'da ölçülen 0-5 cm derinlikteki toprak sıkışıklığı (psi),

sm =sürütme mesafesi (m),

x_{100} = sabit sayı, olarak ifade edilmektedir.

Kısıtlayıcı koşullar:

$tgg =$ yüklü gidişte elde edilen optimum değer ($1 \leq tgg \leq 3$)

$2 \leq zs \leq 4$

$2 \leq eg \leq 3$

$2,25 \leq ts05 \leq 2,89$ ($\lg 10 179, \lg 10 780$)

$sm = 10$ ($\sqrt{100}$)

$x_{100} = 1,082$ bu şekildedir.

Model 2-1' e ait kısıtlayıcı koşullar, Model 1-1'in kısıtlayıcı koşullarıyla ilgili bahsedilen nedenlerden dolayı kabul edilmiştir.

2.3.5.1.3. Model-3-1 İçin Doğrusal Programlama Modeli

Model-3-1, odun hammaddesinin tarım traktörleriyle sürütme şeritleri üzerinde sürütülerek bölmeden çıkarılması sonucu sürütme şeritlerinde meydana gelen toprak kayıplarının minimizasyonunu ifade etmektedir. Aşağıda belirtilen karar değişkenleri istatistikî ve anlamsal olarak sürütme şeritlerinde meydana gelen toprak kayıpları üzerinde etkili olmalarından dolayı tercih edilmiştir. Diğer değişkenlerin (traktör gücü grupları (1= 50-60 BG, 2= 61-71 BG ve 3= 72-82 BG), parça sayısı (adet), tomruk hacmi (m^3), zemin durumu (1= kaygan olmayan, 2=yarı kaygan ve 3= kaygan), zemin sınıfı (1=taşlı, 2=iri taneli, 3=ince taneli ve 4=humuslu toprak) ve ÖA'da ölçülen 5-10 cm derinlikteki toprak

sıkışıklığı (psi)) etkisinin ise istatistiki olarak önemli sayılmayacak düzeyde olduğundan karar değişkeni olarak tercih edilmemiştir.

Karar değişkenleri:

ts_{05} =ÖA'da ölçülen 0-5 cm derinlikteki toprak sıkışıklığı (psi),

s_m =sürütme mesafesi (m),

e =eğim (%)

şg =şerit genişliği (m),

x_{100} = sabit sayı, olarak ifade edilmektedir.

Kısıtlayıcı koşullar:

$$179 \leq ts_{05} \leq 780$$

$$s_m = 2 (\log_{10} 100)$$

$$1,08 \leq e \leq 1,52 (\log_{10} 12, \log_{10} 33)$$

$$\text{şg} = 2,5$$

$$x_{100} = 2,738 \text{ bu şekilde dir.}$$

Burada ts_{05} karar değişkeni normal dağılım göstermediğinden \log_{10} dönüşümü uygulanmıştır. Bu nedenle 152 ile 780 arasında olması gereken değer dönüşümle 2,25 ile 2,89 arasında olmuştur. Değişkenin bu değerler arasında olma koşulu mevcut durumda çalışma alanında bu değerler arasında değerlerin bulunmasından dolayı kabul edilmiştir. s_m karar değişkeni normal dağılım göstermediğinden \log_{10} dönüşümü uygulanmıştır. Bu nedenle 100 olması gereken değer dönüşümle 2 olmuştur. Karar değişkenin 2'ye eşit olma koşulu, sürütme şeritleri uzunluklarının toprak kaybına doğrudan etkili olduğundan ve örnek alanların değerlendirilmesinde doğru sonuca ulaşmak için bu koşul kabul edilmiştir. e karar değişkeni normal dağılım göstermediğinden \log_{10} dönüşümü uygulanmıştır. Bu nedenle 12 ile 33 arasında olması gereken değer dönüşümle 1,08 ile 1,52 arasında olmuştur. Değişkenin bu değerler arasında olma koşulu çalışma alanının bu değerler arasında olmasından dolayı kabul edilmiştir. şg karar değişkenin 2,5'e eşit olma koşulu, çalışma alanında ortalama sürütme şeritleri genişliğinin ortalama bu değerde olmasından dolayı kabul edilmiştir. x_{100} karar değişkeni sabit sayıyı ifade ettiğinden 2,738 değerine eşit olarak alınmıştır.

2.3.5.1.4. Model-4-1 İçin Doğrusal Programlama Modeli

Model-4-1, endüstriyel odun hammaddesinin tarım traktörleriyle sürütme şeritleri üzerinde sürütölerek bölmeden çıkarılması sonucu sürütme şeritlerinde meydana gelen 0-5 cm derinlikteki toprak sıkışıklığının minimizasyonunu ifade etmektedir. Aşağıda belirtilen karar değişkenleri istatistiki ve anlamsal olarak sürütme şeritlerinde meydana gelen 0-5 cm derinlikteki toprak sıkışıklığı üzerinde etkili olmalarından dolayı tercih edilmiştir. Diğer değişkenlerin (traktör gücü grupları (1= 50-60 BG, 2= 61-71 BG ve 3= 72-82 BG), parça sayısı (adet), tomruk hacmi (m³), zemin durumu (1= kaygan olmayan, 2=yarı kaygan ve 3= kaygan), zemin sınıfı (1=taşlı, 2=iri taneli, 3=ince taneli ve 4=humuslu toprak), sürütme mesafesinin (m), kaybolan toprak hacmi (m³) ve sürütme şeridi genişliği (m)) etkisinin ise istatistikî olarak önemli sayılmayacak düzeyde olduğundan karar değişkeni olarak tercih edilmemiştir.

Karar değişkenleri:

ts510=ÖA'da ölçölen 5-10 cm derinlikteki toprak sıkışıklığı (psi),

e=eğim (%)

x₁₀₀= sabit sayı, olarak ifade edilmektedir.

Kısıtlayıcı koşullar:

$$213 \leq ts510 \leq 800$$

$$1,08 \leq e \leq 1,52 \text{ (log10 12, log10 33)}$$

x₁₀₀= 2,229 bu şekildedir.

Burada ts510 karar değişkeni 213 ile 800 arasında değer alma koşulu, mevcut durumda çalışma alanında bu değerler arasında değerlerin bulunmasından dolayı kabul edilmiştir. e karar değişkeni normal dağılım göstermediğinden log10 dönüşümü uygulanmıştır. Bu nedenle 12 ile 33 arasında olması gereken değer dönüşümle 1,08 ile 1,52 arasında olmuştur. Değişkenin bu değerler arasında olma koşulu çalışma alanının bu değerler arasında olmasından dolayı kabul edilmiştir. x₁₀₀ karar değişkeni sabit sayıyı ifade ettiğinden 2,229 değerine eşit olarak alınmıştır. Ayrıca sürütme şeritlerinde meydana gelen 5-10 cm derinlikteki toprak sıkışıklığının optimum sürütme modelinde etkili olmadığından amaç fonksiyonunda belirtilmemiştir.

2.3.6. Sürütme Şeritleri Ağının Optimizasyonunun Sağlanması

Optimum sürütme modelinin oluşturulmasından sonra sürütme şeritleri ağının optimizasyonunu sağlamak için teknik, ekonomik ve çevresel yönden en uygun sürütme şeridi deseni belirlenmiştir. Sürütme şeridi desenini belirlemede optimum sürütme modelinden yararlanılmış, modelde yer alan arazi eğim grubu ve zemin sınıfı konumsal karar değişkenleri ile zemin durumu karar değişkeni değerlerinin olasılıkları, optimum sürütme modelinde yerlerine konulmasıyla dokuz sınıf oluşturulmuştur. Söz konusu karar değişkenleri dışındaki karar değişkenleri model oluşturulurken optimum değerleri alınmış aynı şartlar sağlanmıştır. Elde edilen toplam dokuz olasılık Tablo 5'te verilmiştir. Bu dokuz optimum konumsal durum 9 numaralı sınıftan 1 numaralı sınıfa ilerledikçe en iyi konumsal durumu ifade etmektedir.

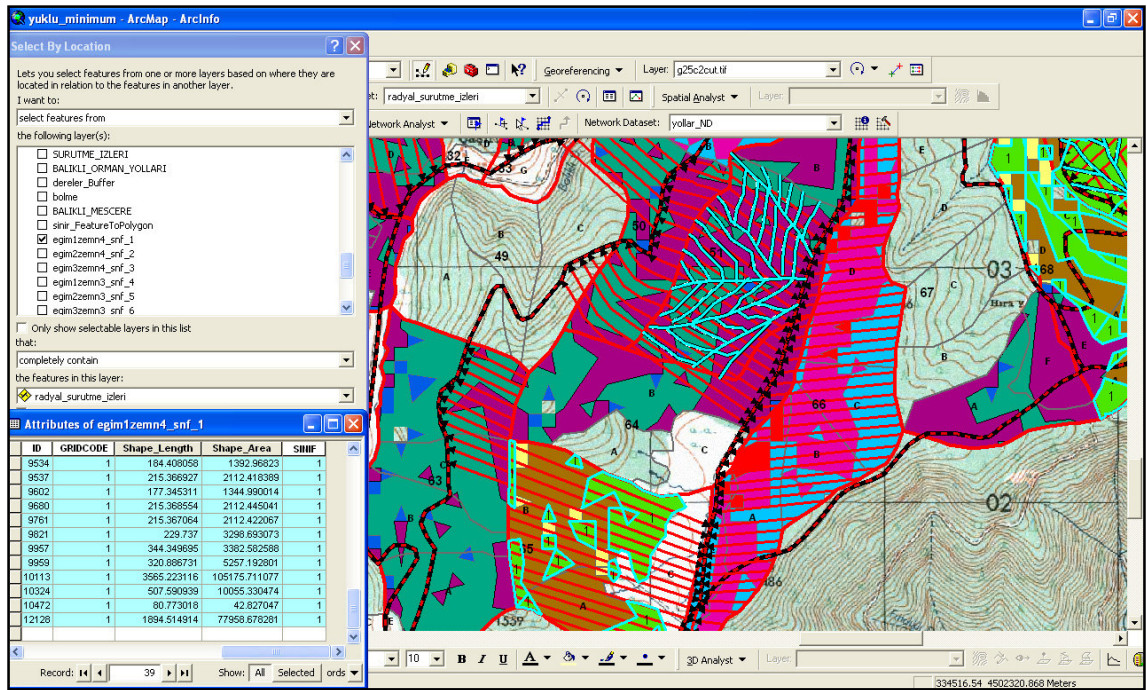
Tablo 5. Optimum konumsal sınıf

Karar Değişkenleri			Optimum Konumsal Sınıf
Zemin Durumu (zd)	Zemin Sınıfı (zs)	Eğim Grubu (eg)	
1	4	1	1. sınıf
1	4	2	2. sınıf
1	4	3	3. sınıf
1	3	1	4. sınıf
1	3	2	5. sınıf
1	3	3	6. sınıf
1	2	1	7. sınıf
1	2	2	8. sınıf
1	2	3	9. sınıf

Optimum konumsal sınıf için ayrı ayrı hazırlanan arazi eğim grubu, zemin durumu ve zemin sınıfı katmanları CBS yazılımındaki overlay işlemi ile birleştirilerek çalışma alanı için optimum konumsal sınıf katmanı hazırlanmıştır. Elde edilen toplam dokuz sınıfa veri tabanında 1'den 9'a kadar değerler verilmiştir. Optimum konumsal sınıf katmanında sürütme şeridi desenleri ArcGIS 9.2 yazılımı ile planlanmıştır. Radyal sürütme şeridi deseni eşyükselti eğrilerine radyal olarak, paralel sürütme şeridi deseni eşyükselti eğrilerine paralel olarak ve geliştirilen desen ise orman yoluna 35°-45° açıyla en kısa

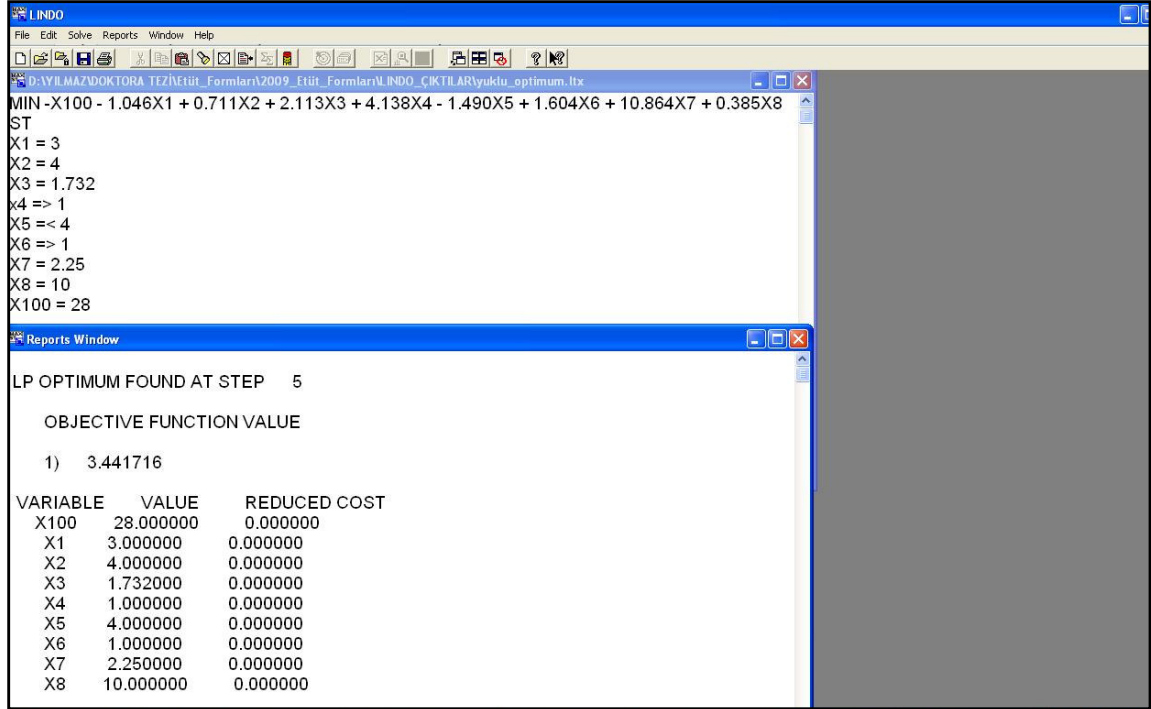
mesafede bağlanacak şekilde planlanmıştır. Her sürütme şeridi deseni planlanırken sürütme şeritleri arasındaki mesafe yaklaşık 50 m (iki ağaç boyu) olarak alınmıştır.

Optimum konumsal sınıf katmanında planlanan desenler aynı şartlar altında ayrı ayrı sınıflardaki konumları belirlenmiştir (Şekil 19). Bu işlemler ArcGIS 9.2 yazılımı Selection ana menüsü altında Select By Location alt menüsünden yararlanılarak yapılmıştır. Her desenin her sınıftaki konumsal durumu belirlenmiş optimum sürütme modeli LINDO 6.1 optimizasyon yazılımı ile test edilmiş, böylece en kısa sürede sürütme yapılan desen belirlenmiştir (Şekil 20).



Şekil 19. Optimum sürütme şeridi deseninin belirlenmesinde grafik ve öznitelik veri tabanı

En uygun deseninin belirlenmesinde sürütme desenlerinin teknik, ekonomik ve çevresel yönlerden durumları da dikkate alınmıştır. Aynı zamanda aynı çalışma alanında mevcut sürütme şeritleri de diğer desenlerle karşılaştırılıp durumları değerlendirilmiştir. Değerlendirmeler 2009 yılı arazi çalışmalarından elde edilen verilere göre yapılmıştır.



Şekil 20. Sürütme desenlerinin optimum sürütme modelinde LINDO 6.1 optimizasyon yazılımı ile test edilmesi

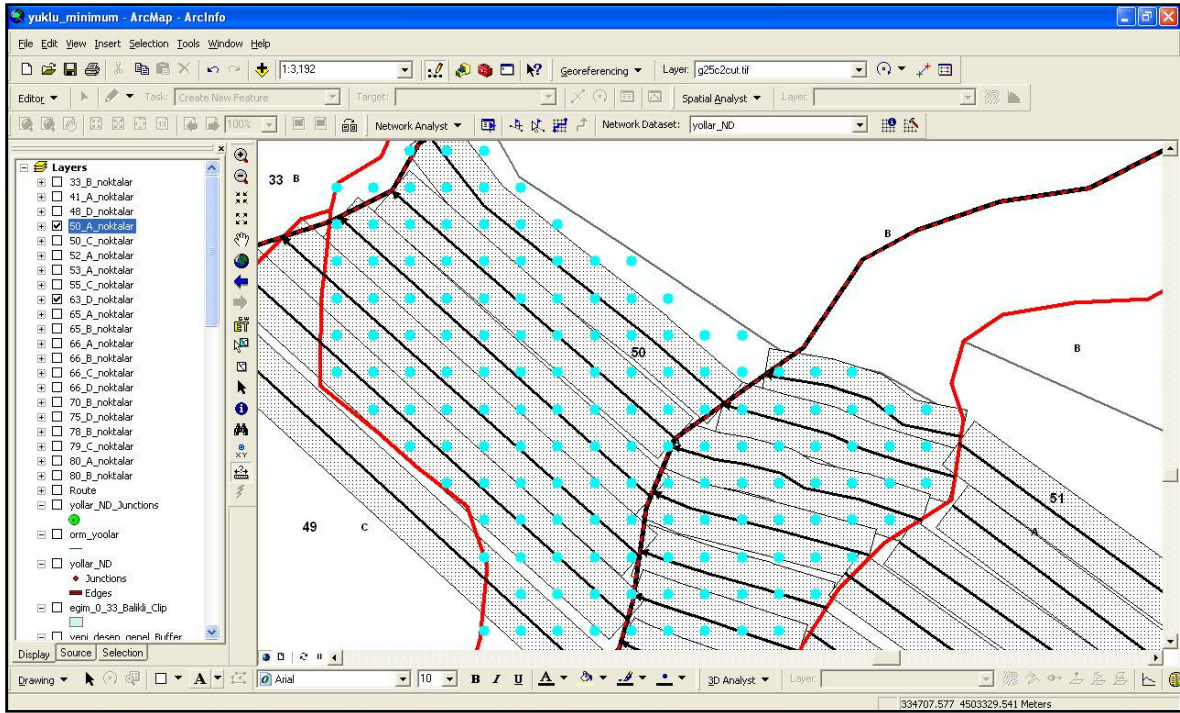
2.3.7. Optimum Sürütme Şeridi Desenin Planlanması ve Bilgisayar Ortamında Test Edilmesi

Aynı arazi koşullarında mevcut sürütme şeritleri ile planlanan optimum sürütme şeritleri deseni teknik, ekonomik ve çevresel yönlerden karşılaştırılmıştır. Balıklı Orman İşletme Şefliği arazi çalışmaları için uygun bölmelerine ait 2010 yılı dikili ağaç damga tutanaklarından her bölmecikteki ağaç cinsi, toplam damgalanan ağaç adedi ve hacmi belirlenmiştir. Yöreye göre ağaç cinsleri için çalışma yüzdeleri belirlenmiş ve böylece her bir bölmecikten elde edilen odun hammaddesi miktarı tespit edilmiştir.

Her bölmecikte damgalanan ağaçların konumsal bilgileri elde edilemediğinden, ArcGIS yazılımında her bölmeğin sınırları içine, damgalanan toplam ağaç, adet ve hacmine göre homojen şekilde noktalar atılmıştır. Her bir nokta, ağaç bireylerini temsil etmekte ve ağaçların cinsleri ile kaç m³ odun hammaddesi vereceği bilgisini de içermektedir.

2010 yılında üretime giren bütün bölmeciklere ArcGIS yazılımı ile optimum sürütme şeridi deseni planlanmıştır (Şekil 21). Optimum sürütme şeritlerinin işletmeye açtığı alan ($SM_{m_{max}} = 25$ m, $SM_{m_0} = 12,5$ m) içerisine giren bütün ağaçlar hangi şeridin sınırları içerisinde ise o şeritten sürütüleceği kabul edilmiştir. Her sürütme yapılan şeridin

konumsal bilgileri toplam ağaç miktarı ve hacimleri tespit edilmiştir. Bu bilgilere göre bölmecikteki sürütme yapılan şeritler için optimum sürütme modeli LINDO 6.1 optimizasyon yazılımı ile koşturularak sefer süreleri ve sürütülen odun miktarları belirlenmiştir. Böylece bölmecikteki odun hammaddesinin taşınması sonucunda saatlik ve günlük verimler tespit edilmiştir.



Şekil 21. Üretime girecek her bölmecikteki ağaçları temsil eden noktalar ve optimum sürütme deseninin transport sınırı

2.3.8. Sürütme Şeritleri Ağının Optimizasyonunun Arazide Test Edilmesi

Üretime girecek alanlara ait optimum sürütme şeridi planının yer aldığı haritalar oluşturulmuştur. Belirlenen optimum sürütme şeritleri arazide tespit edilmiştir. Optimum sürütme modeline göre odun hammaddesi tarım traktörleriyle optimum sürütme şeridinde sürütülerek bölmeden çıkarılmıştır. 2009 yılı üretim sezonunda yapılan zamansal ölçümler 2010 yılı üretim sezonunda da tekrar edilmiştir. Optimum sürütme şeridi planının bilgisayar ortamındaki testiyle arazideki testi karşılaştırılmıştır. Her iki yılda seçilen bölmeciklerin arazi yapısı ve meşcere özellikleri bakımında benzerlik göstermesine dikkat edilmiştir.

Optimum sürütme modeliyle planlanan sürütme şeritleri ile mevcut durumun ekonomik olarak değerlendirilmesi aşamasında, Acar'ın (1994) tarım traktörleri için bulmuş olduğu genel maliyet değeri olan 11,535 \$/saat kullanılmıştır. Bu değer dikkate alındığında iki durumun arasında ne kadar (\$) fark olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca optimum sürütme modeli ile mevcut durum karşılaştırıldığında 100 m de 1 m³ tomruğun sürütülmesiyle seferde kaç \$ tasarruf sağlandığı belirlenmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Araştırma Alanına Ait Bulgular ve Tartışma

Çalışma alanının topoğrafik yapısının ne şekilde olduğunu tespit etmek için gerçeğe çok yakın gösterimi olan sayısal arazi modeli (SAM) oluşturulmuştur. Oluşturulan SAM ile çalışma alanının optimum sürütme şeritleri planlanmasında her an başvurulacak bir referans olarak veri tabanına dâhil edilmiştir.

Bilgisayar ortamına aktarılmış olan ve araştırma alanına ait 1/25000 ölçekli standart topoğrafik haritalarından elde edilen Balıklı Orman İşletme Şefliği'ni gösteren SAM Şekil 22'de verilmiştir. Araştırma alanının Güney-Batı kısımları hariç arazi genellikle fazla eğimli değildir. Araştırma alanında yer yer düz ve düze yakın arazi bulunmaktadır.

Eğim, endüstriyel odun hammaddesinin bölmeden çıkarılması yönteminin belirlenmesinde en önemli faktörlerden bir tanesidir (Bayoğlu, 1996; Garland, 1997; Acar, 2004). Bu nedenle Balıklı Orman İşletme Şefliği alanı için eğim haritası düzenlenmiştir (Şekil 23).

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 Tablo 6'da yer almaktadır.

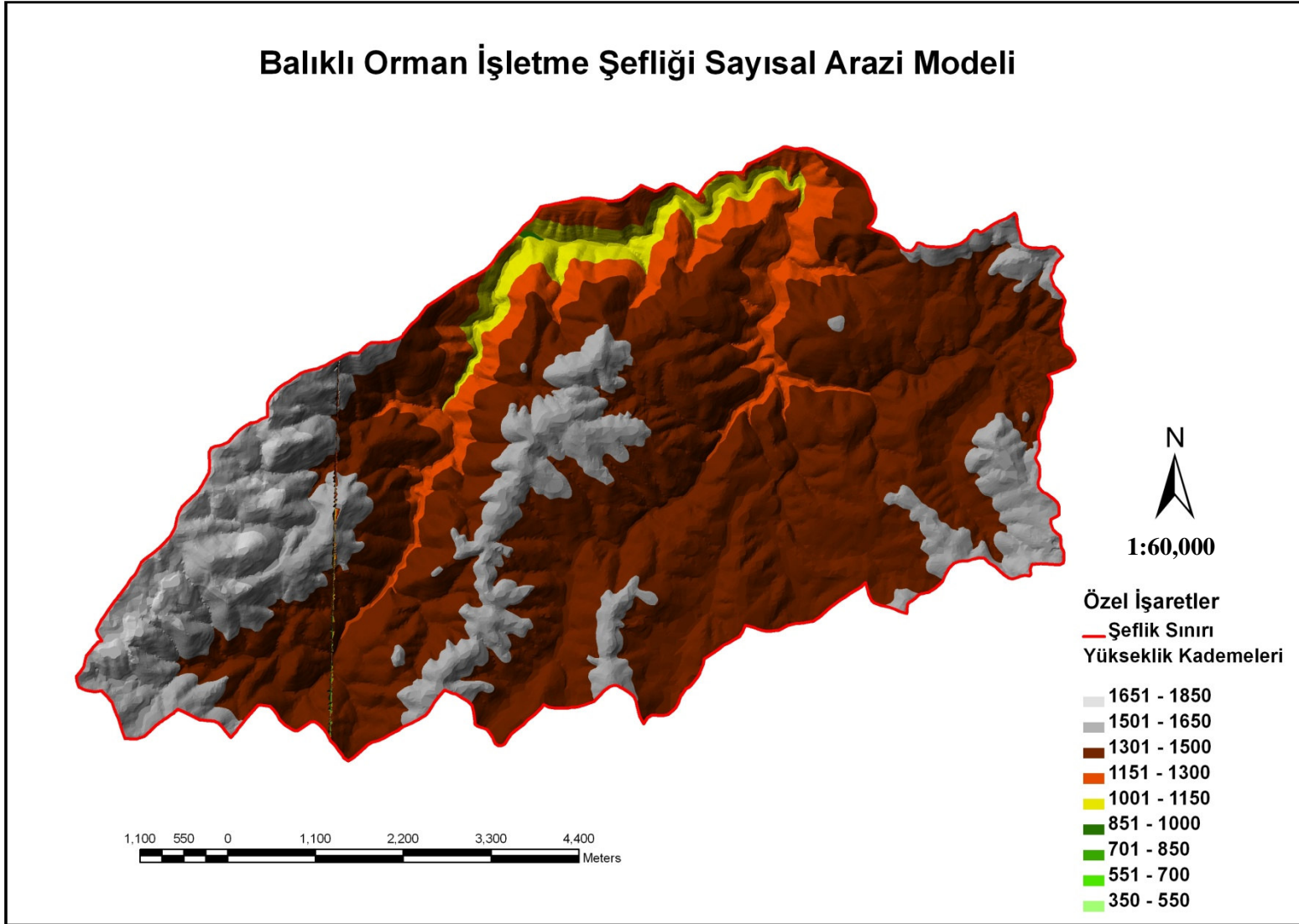
Tablo 6. Balıklı Orman İşletme Şefliği'nin eğim sınıflarına dağılımı

Katman Adı	Eğim Sınıfı	Eğim Değeri (%)	Eğim Kodu	Alan (ha)	Toplam Alana Oran (%)
Eğim	1.Eğim Sınıfı	0 – 33	1	2443	41,96
	2.Eğim Sınıfı	34 – 50	2	1482	25,46
	3.Eğim Sınıfı	50 <	3	1897	32,58
	Toplam			5822	100,00

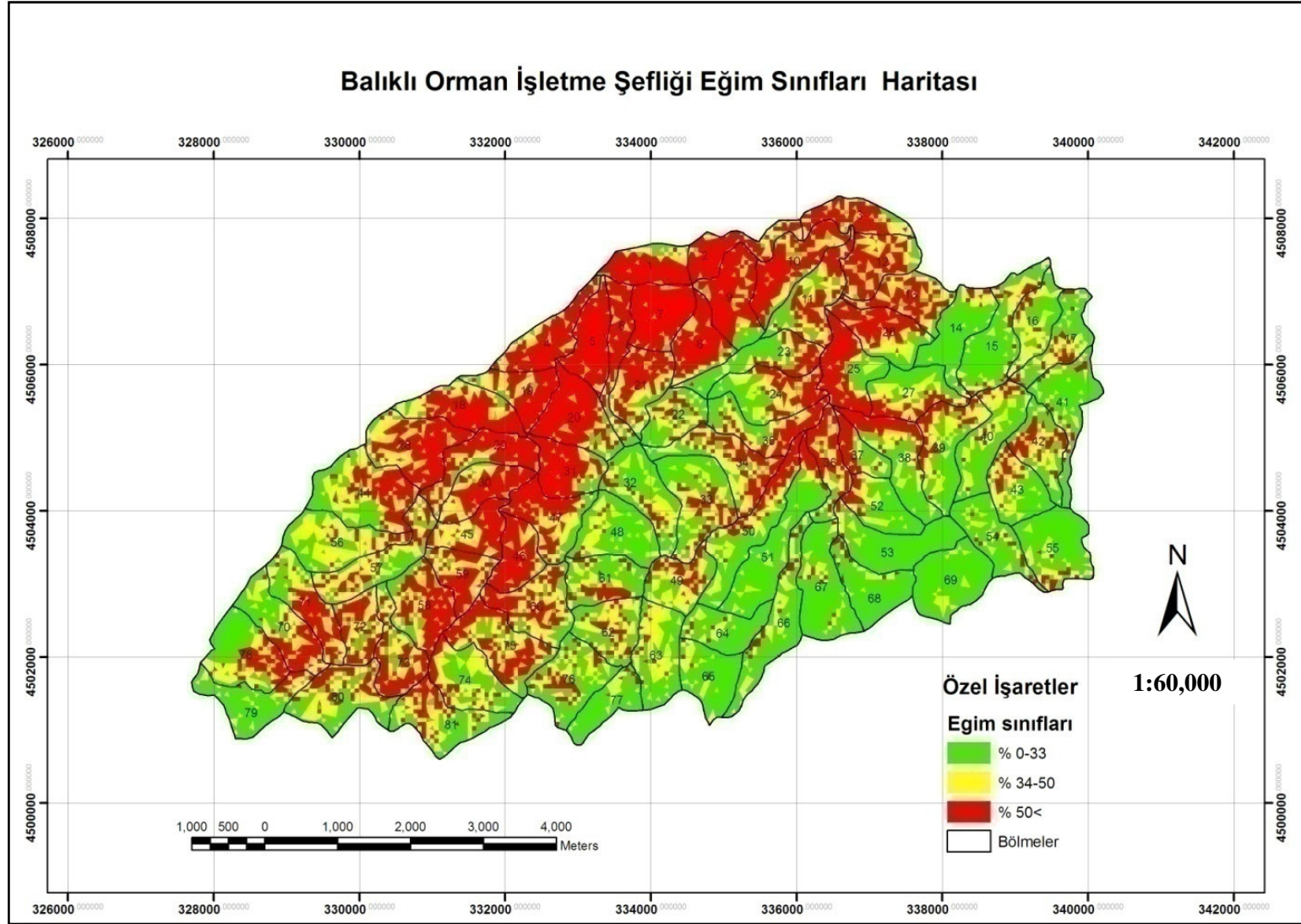
Buna göre toplam büyüklüğü 5822 ha olan Balıklı Orman İşletme Şefliği alanının %41,96'lık kısmı tarım traktörleriyle bölmeden çıkarma çalışmaları için uygun alanları oluşturmaktadır. Çalışma alanının %25,46'lık kısmı ise orman traktörleriyle bölmeden çıkarma yapılabilecek alan olarak bulunmuştur. Yapılan çalışmalarda üretim tipinin

belirlenmesinde baz alınan eğim gurupları, tarım traktörü ile sürütme ve hayvan gücü ile taşıma %0-33 eğimli alanlar, orman traktörü ile sürütme ve kablo çekimi suretiyle bölmeden çıkarma %34-50 eğimli alanlar ve hava hattıyla bölmeden çıkarma % 50< eğimli alanlar olarak alınmıştır (Bayoğlu, 1996; Acar, 2004; Erdaş vd., 2007). İşletme Şefliği'nin güncel durumunun incelenmesi açısından uydudan görünümü Şekil 24'de gösterilmiştir. Ayrıca şefliğin Şekil 25'te üç boyutlu görünümü de yer almaktadır.

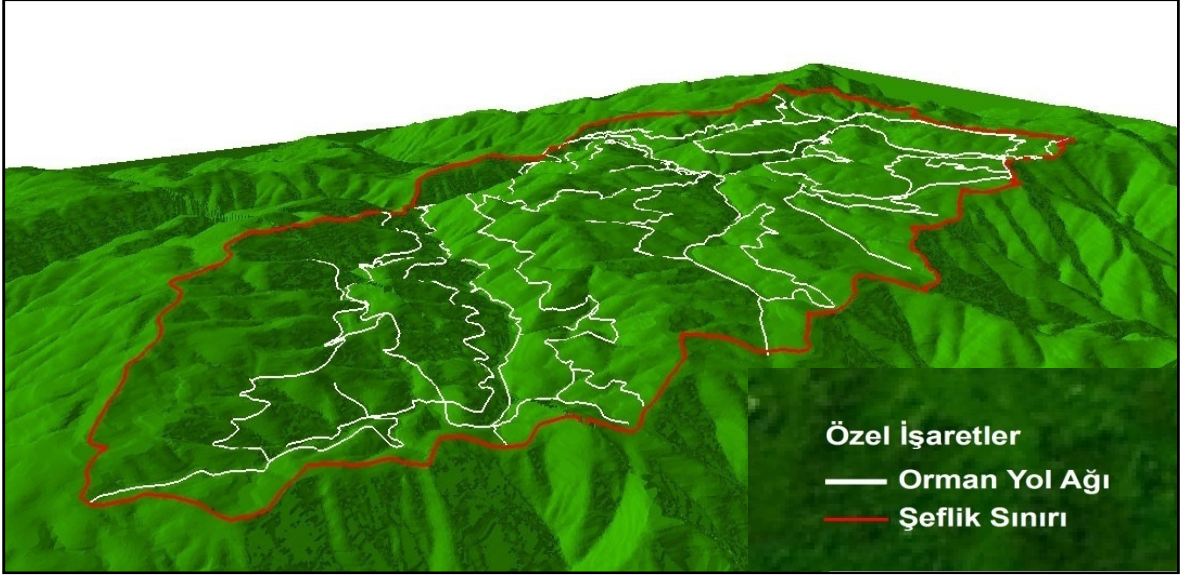
Balıklı Orman İşletme Şefliği Sayısal Arazi Modeli



Şekil 22. Balıklı Orman İşletme Şefliği sayısal arazi modeli



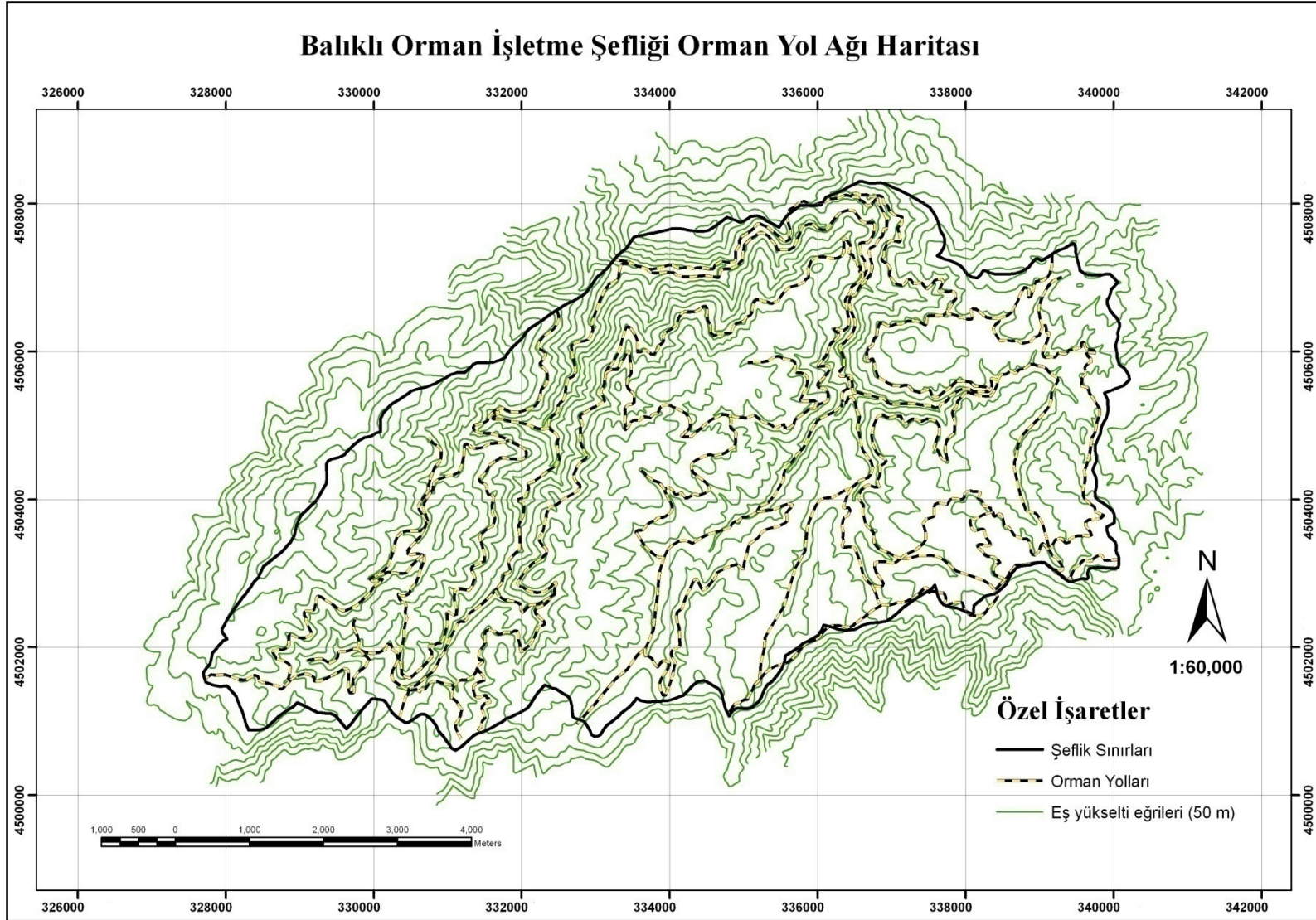
Şekil 23. Balıklı Orman İşletme Şefliği eğim sınıfları ve bölmeleri haritası



Şekil 25. Balıklı Orman İşletme Şefliği'nin üç boyutlu görünümü

3.2. Araştırma Alanı Mevcut Orman Yol Ağına Ait Bulgular ve Tartışma

Balıklı Orman İşletme Şefliği'nde toplam 106+600 km yol ağı mevcuttur. Bu yol ağının tamamı orman yolu olup Şeflikte karayolu ve köy yolu bulunmamaktadır (Şekil 26). Çalışma alanının gerçek yol yoğunluğu değeri 18,31 m/ha (%0,92) olup bu değere göre hesaplanan ortalama yol aralığı değeri ise 546,15 m'dir. Çalışma yapılan orman alanlarının dağılımı düz, hafif eğimli ve orta eğimli (%0-33) yamaçlarda gerçekleştiği için çift yönlü sürütme uygulanabilmektedir. Bu nedenle ortalama sürütme mesafesinin hesabında bu durum dikkate alınmıştır. Formül değerlerine göre ortalama sürütme mesafesi 136,54 m olarak bulunmuştur.



Şekil 26. Balıklı Orman İşletme Şefliği orman yol ağı haritası

3.3. Tarım Traktörleri ile Bölmeden Çıkarma İşlerine İlişkin Bulgular ve Tartışma

3.3.1. Zaman Analizleri ve Etken Faktörlere İlişkin Bulgular ve Tartışma

Çalışma sırasında ölçülen değerlerin aritmetik ortalamaları, standart sapmaları, maksimumları ve minimumları Tablo 7’de verilmiştir. Bazı değişkenlerin standart sapma değerlerinin büyük çıkması, ölçüm ve gözlem değerlerinin birbirinden farklı alanlarda olması, farklı güç ve modeldeki traktörlerin kullanılması nedeniyledir.

Tablo 7. Traktörle bölmeden çıkarma sürecinde ölçülen ve gözlenen değişkenlere ilişkin aritmetik ortalama, standart sapma, minimum ve maksimum değerler

Değişken Adı	Birim	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
Arazi eğimi	%	13	31	22	5,7
Traktör gücü	BG	50	82	59	8.8
Yükteki parça sayısı	adet/sefer	1	7	2	1,2
Tomruk hacmi	m ³ /sefer	0,196	6,455	1,614	1.02
Traktörün boş dönüş süresi	sn/sefer	18	530	147	130,7
Traktörün yüklü gidiş süresi	sn/sefer	20	687	198	170,6
Zemin durumu	-	1	2	1,08	0.3
Zemin sınıfı	-	2	4	3,26	0,475
Bağlanma süresi	sn	9	140	26	19,1
Çözülme süresi	sn	6	80	19	12,21
Toplam bekleme süresi	sn	0	1067	90	148,35
Kablonun yüke çekilmesi ve bağlanması süreleri	sn	35	157	72	32,05
Yükün traktöre çekilmesi ve çözülmesi süreleri	sn	35	175	115	41,26
Boş dönüş 100 metre	sn/sefer	11	172	46	29,5
Yüklü gidiş 100 metre	sn/sefer	13	185	61	36,8

Mevcut durumdaki sürütme şeritlerinde yapılan zaman ölçümleri sonucunda; tarım traktörlerinin 100 m sürütme mesafesinde sefer süresi ortalama 3,28 dakika olarak tespit edilmiştir. Çalışma alanındaki tarım traktörlerinin ortalama verimliği ise 29,49 m³/saat bulunmuştur. Yukarıda bahsedilen ortalama sefer süresine 100 m mesafede yüklü gidiş, boş dönüş, bekleme, çözme ile bağlama süreleri dâhil olup, kablonun yüke çekilmesi ve bağlanması ile yükün traktöre çekilmesi ve çözülmesi süreleri ise dâhil değildir. Yani optimum sürütme modelini bulmada ortalama sefer süresi, traktörün yükünü almış olarak

esas sürütmeye geçtiği iş dilimlerini kapsamaktadır. Ancak tarım traktörleriyle sürütmede gerçek zaman değerini bulmada kablonun yüke çekilmesi ve bağlanması ile yükün traktöre çekilmesi ve çözülmesi süreleri toplam sefer süresine eklenmiştir. Bu durumda 100 m sürütme mesafesinde ortalama verim $13,54 \text{ m}^3/\text{saat}$ olarak belirlenmiştir.

Özcamur'un (1981) Karadeniz Bölgesi'nde yapmış olduğu çalışmada, tarım traktörü (Ford-5000) ile traktör yolları üzerinde yukarıdan aşağıya doğru yapılan 175 m mesafedeki sürütmede ortalama verimi $8,571 \text{ m}^3/\text{saat}$, sefer süresini ortalama 9,1 dakika ve her seferde sürütülen odun hammaddesi miktarını ise $1,3 \text{ m}^3$ olarak bulmuştur. Aynı çalışmada Unimog U 406 ile yapılan sürütme denemelerinde ise 200 m mesafedeki sürütmede ortalama verimi $10,555 \text{ m}^3/\text{saat}$, sefer süresini ortalama 7,74 dakika ve her seferde sürütülen odun hammaddesi miktarını ise $1,31 \text{ m}^3$, 220 m mesafedeki sürütmede ortalama verimi $9,893 \text{ m}^3/\text{saat}$, sefer süresini ortalama 6,55 dakika ve her seferde sürütülen odun hammaddesi miktarını ise $1,08 \text{ m}^3$ ve 500 m mesafedeki sürütmede ortalama verimi $8,322 \text{ m}^3/\text{saat}$, sefer süresini ortalama 11,68 dakika ve her seferde sürütülen odun hammaddesi miktarını ise $1,62 \text{ m}^3$ olarak tespit etmiştir. Çalışmada da ortalama sefer süresi makinenin yükünü almış olarak esas sürütmeye geçtiği iş dilimlerini kapsamaktadır. Ancak arazideki çalışmalar sonucu elde edilen ortalama verim değeri bahsi geçen çalışmada bulunan verim değerlerinden yüksek çıkmıştır. Bunun nedeni diğer çalışmaya göre, arazi çalışmalarında kullanılan makinelerin son yıllarda üretilen performansı yüksek makineler olması ve çalışmaların eğimi düşük arazide gerçekleşmesi olabilmektedir. Sümer vd. (2004); Melemez ve Tunay (2010) son yıllarda motor gücü düşük olan traktör üretiminde düşüş yaşanmakta iken yüksek motor gücüne sahip traktör üretiminde artış yaşandığını belirtmişlerdir. Ayrıca 1 m sürütme mesafesinin ne kadar zamanda alındığına ilişkin zaman değeri, farklı sürütme mesafeleri için farklı olmaktadır, çünkü mesafe arttıkça bu değer küçülmekte, ancak belli bir oranda olmamaktadır. Bunun nedeni hız, mesafe arttıkça artmaktadır ancak bu artışlar doğru orantılı olmamaktadır (Özcamur, 1981). Öztürk'ün (2009) yaptığı çalışmada, kısa mesafelerde sürütücülerin çok daha verimli olarak çalıştığını, sürütme mesafesi arttıkça verim değeri düşmekte olduğunu belirtmiştir.

Acar'ın (1994) Ordu Yöresi'nde yapmış olduğu çalışmada, değişik tipte tarım traktörleri (Massey Ferguson 165 ve 185) ile orman ve traktör yolları üzerinde yukarı doğru yapılan 100 m mesafedeki sürütmede ortalama verimi $3,708 \text{ m}^3/\text{saat}$, sefer süresini ortalama 7,11 dakika ve her seferde sürütülen odun hammaddesi miktarını ise $0,918 \text{ m}^3$ bulmuştur. Rodriguez and Fellow (1986)'un ortalama eğimi %5,85 olan arazide yapmış

oldukları çalışmada, tarım traktörü (Universal U-650 M) ile aşağıya doğru yapılan sürütmede 20 m mesafedeki ortalama verimi 9,27 m³/saat, 1 m³ odun hammaddesinin sefer süresini ortalama 6,47 dakika, 70 m mesafedeki ortalama verimi 8,23 m³/saat, 1 m³ odun hammaddesinin sefer süresini ortalama 7,28 dakika olarak bulmuşlardır. Bayoğlu vd. (1993) yaptıkları çalışmada, tarım traktörleriyle orman veya traktör yolunda 100 m mesafedeki verimi 3,919 m³/saat bulmuşlardır. Acar 'ın (1995) Artvin bölgesinde MB Trac 900 sürütücü ile yaptığı bir çalışmada 69 metreden yapılan sürütmelerde ladin tomruğu için sürütücünün verimini 5,269 m³/saat bulmuştur. Diğer bir çalışmada Acar (1997), Doğu Karadeniz Bölgesi'nde çeşitli alanlarda kayın tomruğunun 50 m mesafedeki sürütme çalışmalarında MB Trac 900 sürütücü için verim 6,328 m³/saat olarak bulmuştur. Artvin Taşlıca bölgesinde yapılan diğer bir çalışmada, 300 m sürütme mesafesinde MB Trac 900 sürütücülerin verimi 6,360 m³/saat olarak belirlenmiştir (Öztürk, 2001). Ordu Gököy'de yapılan başka bir çalışmada, 55 m sürütme mesafesinde MB Trac 900 sürütücülerin verimi 14,430 m³/saat, 105 m sürütme mesafesinde ise 8,700 m³/saat olarak belirlenmiştir (Öztürk, 2009). Yapılan çalışmaların hepsinde kablonun yüke çekilme ve yükün traktöre çekilme süreleri dâhil olup orman traktörleriyle yapılan sürütme çalışmaları yukarıya doğru gerçekleşmiştir. Bu nedenle arazi çalışmalarından elde edilen ortalama verim değeri diğer çalışmalardan elde edilen verim değerinden daha yüksek çıkmıştır. Ayrıca arazi çalışmalarından elde edilen ortalama sefer süresine, kablonun yüke çekilmesi ve bağlaması ile yükün traktöre çekilmesi ve çözülmesi süreleri eklendiğinde bile yukarıda bahsedilen nedenden dolayı arazi çalışmalarından elde edilen ortalama verim değeri diğer çalışmalara göre daha yüksek çıkmış olabilmektedir.

3.3.2. Mevcut Sürütme Şeritlerine İlişkin Bulgular ve Tartışma

Araştırma alanı sürütme şeritlerinde ölçüm yapılan örnek alanlara ve kontrol noktalarına ilişkin bütün değerlerin aritmetik ortalamaları, standart sapmaları, maksimumları ve minimumları Tablo 8'de verilmiştir. Sürütme şeritlerinden elde edilen bulgulara göre; sürütme şeridi ortalama genişliği 2,43 m ve ortalama uzunluğu 389 m bulunmuştur. Yapılan çalışmalarda sürütme şeridi genişliğinin bölmeden çıkarma araçlarına göre 2,5-3,5 m arasında olduğu belirtilmektedir (OGM, 1996; Bayoğlu, 1996; Acar, 2004; Erdaş, 2008). Tablo 8'de verilen ortalama toprak sıkışıklığı değerlerine göre; araştırma alanı 0-5 cm ve 5-10 cm derinlikte incelenen toprak sıkışıklığı değerlerinin

kontrol noktaları ile sürütme şeridinde ölçüm yapılan örnek alanlar arasında önemli derecede fark gösterdiği belirlenmiştir.

Tablo 8. Sürütme şeritlerinde ve KN'de ölçülen ve gözlenen değişkenlere ilişkin aritmetik ortalama, standart sapma, minimum ve maksimum değerleri

Değişken Adı	Birim	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
Sürütme şeridi genişliği	m	1,62	3,03	2,43	0,25
Sürütme şeridi uzunluğu	m	81	1418	389	281,8
ÖA'da 0-5 cm derinliğindeki toprak sıkışıklığı	psi	179	780	386,04	129,2
ÖA'da 5-10 cm derinliğindeki toprak sıkışıklığı	psi	213	800	537,19	156,6
KN'da 0-5 cm derinliğindeki toprak sıkışıklığı	psi	50	250	128,46	43,55
KN'da 5-10 cm derinliğindeki toprak sıkışıklığı	psi	74	338	173,99	53,55
KN'de ölçülen m ² 'deki fidan sayısı	Adet	1	17	9,15	3,62
Kaybolan toprak hacmi	m ³ /ton	2	530	76/190760	80,0
Kaybolan toprak hacmi (100 m için)	m ³ /ton	2	61	19/47690	11,4

ÖA ile KN'den alınan 0-5 cm derinliğindeki toprak sıkışıklığı arasında istatistiki olarak 0,05 önem düzeyinde farklılık vardır ($t_h = -25,532$; $p < 0,05$). Benzer durum 5-10 cm derinliğindeki toprak sıkışıklığında da söz konusudur ($t_h = -28,480$; $p < 0,05$). Yani her iki derinlik kademesindeki ortalama toprak sıkışıklığı değeri, sürütme şeridinde ölçülen örnek alanlarda, kontrol noktalarına göre yaklaşık 3 kat daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Sürütme şeridinden alınan 0-5 cm ve 5-10 cm toprak derinliğindeki toprak sıkışıklığı arasında istatistiki olarak 0,05 önem düzeyinde farklılık vardır ($t_h = 62,324$; $p < 0,05$). Benzer durum KN'daki 0-5 cm ve 5-10 cm derinliğindeki toprak sıkışıklığında da söz konusudur ($t_h = 5,825$; $p < 0,05$). Yani sürütme şeridinden alınan 0-5 cm ve 5-10 cm toprak derinliğindeki örneklerin ortalama toprak sıkışıklığı değerleri karşılaştırıldığında 5-10 cm derinliğindeki sıkışıklık değeri 0-5 cm toprak derinliğine göre yaklaşık 1,5 kat daha fazla bulunmuştur. Kontrol noktalarında ise 5-10 cm derinliğindeki sıkışıklık değeri,

0-5 cm derinliğindeki sıkışıklık değerine göre yine benzer şekilde yaklaşık 1,5 kat daha fazla bulunmuştur.

Demir vd. (2007a, b); Makineci vd. (2007a, b) de doğal alan ve traktör yolu (sürütme yolu) arasında toprak sıkışıklığının önemli derecede fark gösterdiğini (0-5 cm toprak derinliğinde yaklaşık 2 kat, 5-10 cm toprak derinliğinde ise yaklaşık 1,5 kat fark), ölü örtü ve diri örtü miktarının doğal alana göre önemli derecede azaldığını belirtmiştir. Çalışmada da sürütme sonrası 5-10 cm toprak derinliğinin önemli ölçüde sıkıştığını, 0-5 cm toprak derinliğinin de ise bu sıkışmanın biraz daha az olduğu belirtilmiştir. Ayrıca söz konusu çalışmada sıkışmaya bağlı olarak traktör yolunda doğal alana göre önemli derecede daha yüksek hacim ağırlığı ve ince toprak ağırlığı değerleri bulunmuş, benzer şekilde toplam gözenek hacmi ve nem ekivalanı değerlerinin önemli ölçüde azaldığı tespit edilmiştir. Bu sonuçlar sürütme sonrası 5-10 cm toprak derinliğinin önemli ölçüde sıkıştığını, 0-5 cm toprak derinliğinin de ise bu sıkışmanın biraz daha az olduğunu göstermektedir.

Ormancılık uygulamalarında benzer sürütme ve üretim çalışmaları, genellikle toprakta sıkışma oranını arttırmaktadır. Toprağın sıkışması nedeniyle daha yüksek toprak hacim ağırlığı, daha düşük gözenek hacmi ve toprağın su tutma kapasitesini etkileyen fiziksel faktörler üzerinde önemli değişimler meydana gelebileceği ifade edilmektedir (Grammel ve Fenner,1997; Bengtsson vd., 1998; Jacobson vd., 2000; Arocena, 2000; Ballard, 2000; Laffan vd., 2001; Croke vd., 2001; Buckley vd., 2003; Williamson ve Neilsen, 2003; Godefroid ve Koedam, 2004; Ilstedt vd., 2004; Horn vd., 2004; Nugent vd., 2003; Rab, 2004; Rohand vd., 2004). Zemin üzerinde yapılan sürütme sonucu oluşan toprak sıkışıklığı ile ilgili çalışmaların hepsinde de meşcere toprağına ve dolaylı olarak bitki gelişimine zarar verildiği belirtilmiştir.

Doktora tez çalışmasının amaçları içerisinde yer alan toprak sıkışıklığının minimuma indirilmesi konusunu gerçekleştirmek için meşcere içerisindeki sürütme şeritleri ağının optimizasyonu yaklaşımıyla üretim alanındaki sürütme şeritleri yoğunlukları azaltılmıştır. Böylece daha az alanda sürütme yapılarak, alan bazında daha az toprak sıkışıklığı söz konusu olmuştur. Adams (1998) orman ürünleri üretiminin neden olduğu toprak sıkışıklığını en aza indirmek için sürütme şeritlerinin planlanmasında, sıkışan toprak alanı sınırlandırılabilceğini, bu yaklaşımla hasat işlemleri başlamadan önce sürütme şeritleri açık bir şekilde işaretlenebileceğini belirtmiştir.

Endüstriyel odun hammaddesinin zemin üzerinde sürütülmesi sonucu sürütme şeritlerinin büyük bir bölümünde az sayıda fidan bulunduğu, bu fidanlarında yatık veya

kırık olduğu belirlenmiştir (şekil 27). KN'lerden alınan ölçümlerde m² 'de ortalama 9 adet fidan tespit edilmiştir.



şekil 27. Sürütme şeritleri üzerindeki yatık ve kırık genç bireyler

Araştırma alanında endüstriyel odun hammaddesinin devamlı sürütme şeritlerinden sürütülerek orman dışına çıkarılması sonucu sürütme şeritlerinin farklı derinliklerde (2-50 cm arasında) aşındığı tespit edilmiştir. Tablo 8 incelendiğinde arazide ölçüm yapılan

her sürütme şeridi ortalama 100 m mesafede 19 m^3 (47690 ton) toprak kaybına maruz kaldığı tespit edilmiştir. Bu alanlarda öncelikle erozyon hızlanmakta ve daha sonra oyuntu kanalları meydana gelerek toprak kayıpları oluşmaktadır. Şekil 28’de sürütme şeritleri üzerinde sürütmeden dolayı yer yer anakayanın açığa çıktığı görülmektedir.



Şekil 28. a, b. Sürütme şeritleri üzerinde oluşan toprak aşınımı ve anakayanın açığa çıkmış hali

Sidle vd. (2004)'nin yapmış oldukları çalışmada, bölmeden çıkarma işlemleri sonucunda sürütme şeritleri üzerinde oluşan yüzeysel erozyon miktarını 272 ± 20 ton $ha^{-1}yıl^{-1}$ olarak tahmin etmişlerdir. Ayrıca daha dik eğimli ($\%20 <$) arazideki sürütme şeritlerinde meydana gelen erozyon oranı (320 ± 24 ton $ha^{-1} yıl^{-1}$) düşük eğimli arazidekine ($245-264$ ton $ha^{-1} yıl^{-1}$) göre daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmada elde edilen toprak kaybı verileri yıllık değerlendirme sonuçlarıdır. Ancak doktora tez çalışmasında elde edilen toprak kaybı değeri uzun süre sürütmenin yapıldığı sürütme şeritlerinden elde edilen değerlerdir. Bu nedenle arazide bulunan toprak kaybı değeri diğer çalışmaya göre daha yüksek bulunmuştur. Gürtan (1975); Yıldırım (1989); Tomasic (1996) odun hammaddesinin bölmeden çıkarılması sırasında, özellikle eğimli bölgelerde orman toprağı zarar görebildiğini belirtmişlerdir. Bu zararların genellikle erozyona elverişli oyuntular şeklinde olduğu, orman arazisinde aşınma; bitki örtüsünün azlığı, eğim, taşıma ve yağış miktarı ile doğru orantılı olarak geliştiğini vurgulamışlardır. Görçelioğlu (2004) sürütme şeritlerinin planlanmasında belirleyici faktörlerden birinin bu şeritlerin erozyona etkileri olduğunu ve toprakta tekerlek izleri oluşturan makinelerin meşcere toprağında sıkışmaya ve erozyona yol açtığını, bu nedenle bu makinelerin tavsiye edilmediğini savunmuştur.

Toprak sıkışıklığı gibi tez çalışması amaçları içerisinde yer alan toprak kaybı konusu da meşcere içerisindeki sürütme şeritlerinin optimum düzeyde planlanmasıyla alandaki yoğunlukları azaltılarak toprak kaybı minimuma indirilmiştir. Böylece daha az alanda sürütme yapılarak, alan bazında daha az toprak kaybı söz konusu olmuştur.

3.3.3. Değişkenler Arasındaki İlişkinin Belirlenmesi

Endüstriyel odun hammaddesinin tarım traktörleriyle sürütme şeritleri üzerinden sürütülerek bölmeden çıkarılması sırasında, sürütme şeritleri ve kontrol noktalarında ölçülen ve gözlenen değişkenler ile Ek Tablo 3'te ve Ek Tablo 4'te verilen değişkenlerin birbirleriyle ilişkilerinin ve ilişki derecesinin belirlenmesi için korelasyon analizi uygulanmıştır. Oluşturulan korelasyon matrisi Tablo 9'da ve Tablo 10'da verilmiştir. Tablolarda değişkenler arasındaki ilişkinin $\%95$ güven düzeyinde önemli olan değişkenlerin katsayıları (*) işaretiyle gösterilmiştir. Değişkenler arasında ters orantı var ise katsayı negatif ve doğru orantı var ise katsayı pozitif olmaktadır.

Tablo 9. Traktörlerle bölmeden çıkarmada zamansal değişkenlerin ilişkilerini gösteren korelasyon analizi sonuçları

Değişkenler	tgg	ps	sqth	zd	zs	eg	lg10ts05	ts510	sqsm	lg10kth	sqygz	lg10bdz
tgg	1	-0,176*	0,088	-0,150	-0,030*	0,310*	-0,192*	-0,328*	-0,130	-0,106	-0,226*	-0,185*
ps	-0,176*	1	0,429*	0,537*	-0,435*	0,138	0,333*	0,381*	0,272*	0,427*	0,606*	0,582*
sqth	0,088	0,429*	1	0,287*	-0,348*	0,041	0,229*	0,253*	0,243*	0,321*	0,456*	0,470*
zd	-0,150	0,537*	0,287*	1	-0,168	0,334*	0,092	0,110	0,100	0,261*	0,464*	0,413*
zs	-0,030	-0,435*	-0,348*	-0,168	1	0,117	-0,287*	-0,291*	-0,402*	-0,373*	-0,499*	-0,562*
eg	0,310*	0,138	0,041	0,334*	0,117	1	-0,419*	-0,349*	0,152	0,260*	0,135	0,050
lg10ts05	-0,192*	0,333*	0,229*	0,092	-0,287*	-0,419*	1	0,922*	0,183*	0,354*	0,441*	0,499*
ts510	-0,328*	0,381*	0,253*	0,110	-0,291*	-0,349*	0,922*	1	0,218*	0,375*	0,504*	0,552*
sqsm	-0,130	0,272*	0,243*	0,100	-0,402*	0,152	0,183*	0,218*	1	0,845*	0,675*	0,709*
lg10kth	-0,106	0,427*	0,321*	0,261*	-0,373*	0,260*	0,354*	0,375*	0,845*	1	0,768*	0,800*
sqygz	-0,226*	0,606*	0,456*	0,464*	-0,499*	0,135	0,441*	0,504*	0,675*	0,768*	1	0,951*
lg10bdz	-0,185*	0,582*	0,470*	0,413*	-0,562*	0,050	0,499*	0,552*	0,709*	0,800*	0,951*	1

Tablo 10. Sürütme şeritleri üzerinde meydana gelen çevresel zararlara ilişkin değişkenlerin ilişkilerini gösteren korelasyon analizi sonuçları

Değişkenler	ts05	ts510	şg	lg10sm	lg10e	zs	lnts05	fs	knts05	knts510	lg10kth	lg10ts05	sqts510
ts05	1	0,889*	-0,047	0,035	0,014	-0,395*	0,977*	0,311*	0,311*	0,311*	0,311*	0,977*	0,879*
ts510	0,889*	1	-0,019	0,060	0,120	-0,377*	0,919*	0,268*	0,268*	0,268*	0,320*	0,919*	0,996*
şg	-0,047	-0,019	1	-0,061	-0,115	0,215	-0,022	0,336*	0,336*	0,336*	0,066	-0,022	-0,006
lg10sm	0,035	0,060	-0,061	1	0,219	-0,119	0,060	-0,085	-0,085	-0,085	0,782*	0,060	0,068
lg10e	0,014	0,120	-0,115	0,219	1	-0,109	0,002	-0,038	-0,038	-0,038	0,301*	0,002	0,109
zs	-0,395*	-0,377*	0,215	-0,119	-0,109	1	-0,385*	0,007	0,007	0,007	-0,193	-0,385*	-0,363*
lnts05	0,977*	0,919*	-0,022	0,060	0,002	-0,385*	1	0,335*	0,335*	0,335*	0,334*	1,000*	0,924*
fs	0,311*	0,268*	0,336*	-0,085	-0,038	0,007	0,335*	1	1,000*	1,000*	-0,021	0,335*	0,277*
knts05	0,311*	0,268*	0,336*	-0,085	-0,038	0,007	0,335*	1,000*	1	1,000*	-0,021	0,335*	0,277*
knts510	0,311*	0,268*	0,336*	-0,085	-0,038	0,007	0,335*	1,000*	1,000*	1	-0,021	0,335*	0,277*
lg10kth	0,311*	0,320*	0,066	0,782*	0,301*	-0,193	0,334*	-0,021	-0,021	-0,021	1	0,334*	0,329*
lg10ts05	0,977*	0,919*	-0,022	0,060	0,002	-0,385*	1,000*	0,335*	0,335*	0,335*	0,334*	1	0,924*
sqts510	0,879*	0,996*	-0,006	0,068	0,109	-0,363*	0,924*	0,277*	0,277*	0,277*	0,329*	0,924*	1

Tarım traktörleriyle bölmeden çıkarmada çalışma zamanını ve sürütme güçlüğünü etkileyen faktörler arasındaki ilişkileri ortaya koymak için Pearson korelasyon analizi yapılmıştır. Korelasyon sonucunda elde edilen ilişkiler tablosu Tablo 9'da verilmiştir.

Yapılan Pearson korelasyon testi sonucunda yüklü gidiş ve boş dönüş zamanı; traktör gücü ve zemin sınıfı ile negatif yönde, parça sayısı, tomruk hacmi, zemin durumu, eğim grubu, sürütme mesafesi, 0-5 cm ve 5-10 cm derinlikteki toprak sıkışıklığı ile pozitif yönde %95 güven düzeyinde anlamlı bir ilişki olduğu belirlenmiştir ($P>0.05$).

Yüklü gidiş zamanının, zemin durumunun kayganlaşmasıyla doğru orantılı olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeni kaygan zeminlerde traktörün kaymaması için hızın azaltılması olabilir. Yüklü gidiş zamanı ile zemin sınıfı arasındaki ters orantı, eğim grubu ile yüklü gidiş zamanı arasında ise doğru orantı bulunmuştur. Eğim arttıkça yüklü gidiş zamanı da artmaktadır. Yine zemin durumuna benzer şekilde bunun nedeni eğimin artmasıyla yüklü traktörün kaymaması için hızın azaltılması olabilir.

Sürütme şeritleri üzerinde meydana gelen çevresel zararlar arasındaki ilişkileri ortaya koymak için Pearson korelasyon analizi yapılmıştır. Korelasyon sonucunda elde edilen ilişkiler tablosu Tablo 10'da verilmiştir.

Yapılan Pearson korelasyon testi sonucunda toprak kaybı miktarı; 0-5 cm derinlikteki toprak sıkışıklığı, sürütme mesafesi, eğim ve sürütme şeridi genişliği ile pozitif yönde %95 güven düzeyinde anlamlı bir ilişki olduğu belirlenmiştir ($P>0.05$). Tablo incelendiğinde 0-5 cm derinliğindeki toprak sıkışıklığı; 5-10 cm toprak derinliğindeki sıkışıklığı ile pozitif yönde, arazi eğimi ile negatif yönde %95 güven düzeyinde anlamlı bir ilişki olduğu belirlenmiştir ($P>0.05$). Ayrıca 5-10 cm derinliğindeki toprak sıkışıklığı; 0-5 cm toprak derinliğindeki sıkışıklık ve arazi eğimi ile pozitif yönde %95 güven düzeyinde anlamlı bir ilişki olduğu belirlenmiştir ($P>0.05$).

3.3.4. Sürütme Modeline Ait Bulgular ve Tartışılması

Ek Tablo 3'te verilen değerlerden yararlanılarak traktörlerle bölmeden çıkarma işlerinde yüklü gidiş ve boş dönüş zaman değerlerini ve belirlenen çevresel zarar değerini etkileyen değişkenlerle istatistiksel modeller oluşturulmuştur. Modellerin farklı metotlardaki durumları da değerlendirilmiştir. Belirlenen eşitlikler Tablo 11'de verilmiştir.

Tablo 11. Traktörle bölmeden çıkarmada yüklü gidiş ve boş dönüş zamanlarının hesaplanmasında regresyon eşitlikleri (sürütme modeli)

No	1	2	3	4	5	6
	sqrt ygz	sqrt ygz	sqrt ygz	sqrt ygz	lg10 bdz	ln bdz
Sabit Sayı	-28,000	-10,008	-30,663	-10,104	-1,082	-2,491
tgg	-1,046		-1,265		-0,077	-0,178
ps	0,711	0,903		0,795		
sqrt th	2,113	1,816	2,554	1,722		
zd	4,138	5,345	5,060	4,768		
zs	-1,490		-1,983		-0,256	-0,589
eg	1,604		1,960		0,182	0,419
lg10 ts05	10,894		12,267		1,184	2,727
sqrt sm	0,385	0,439	0,383	0,280	0,029	0,067
ts510		0,010		0,009		
lg10 kth				2,828		
R²	0,749	0,752	0,741	0,763	0,716	0,716
Sxy	2,939	2,921	2,986	2,854	0,225	0,51835
F	49,052	79,136	53,635	70,262	66,013	66,013
Sig.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Metot	Backward	Backward	Backward	Stepwise	Stepwise	Stepwise

İstatistikî olarak en uygun eşitliğin seçilmesinde bağımlı değişkenle bağımsız değişkenler arasında %95 güven düzeyinde anlamlı ilişki olanı, R² değeri 1' e yakın olanı, standart hatasının küçük olanı ve F değerinin büyük olanı koşulları aranmıştır. Ayrıca eşitliğin seçilmesinde bilimsel olarak bağımlı değişkene katkısı büyük olan bağımsız değişkenlerinin eşitlikte olması koşulu da aranmıştır.

Traktörün yüklü gidiş zamanını ifade eden ygz bağımlı değişkeni normal dağılım göstermediği için karekök dönüşümü uygulanarak normal dağılımı sağlanmıştır. sqrt ygz bağımlı değişkenini etkileyen değişkenler işleme sokularak 1, 2, 3 ve 4 numaralı eşitlikler elde edilmiştir. Bu eşitliklerden 1 numaralı eşitlik en uygun eşitliği sağlamaktadır. Eşitlik %95 güven düzeyinde olup, değeri 0,749 ve standart hatası 2,939'dur. Tablo 11 incelendiğinde 4 numaralı eşitliğin 1 numaralı eşitliğe göre R² değeri büyük ve standart hatası ise küçüktür. Ancak 4 numaralı eşitlikte yüklü gidişi etkileyen tgg, zs ve eg bağımsız değişkenler olmadığı için 1 numaralı eşitlik tercih edilmiştir. Eşitlikte yer alan

değişkenlerin yüklü gidiş zamanı üzerinde etkili olması nedeniyle eşitlik 8 değişkenden oluşmuştur. Bu eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$ygz = -28 + (-1,046tgg) + (0,711ps) + (2,113 \text{ sqrt } th) + (4,138zd) + (-1,490zs) + (1,604eg) + (10,894 \text{ lg}10 \text{ ts}05) + (0,385 \text{ sqrt } sm) \quad (1)$$

Eşitlikte görüldüğü gibi yüklü gidiş zamanı üzerinde; traktör gücü grubunun (tgg), yükteki parça sayısının (ps), karekök dönüşümü uygulanmış tomruk hacminin (sqrt th), zemin durumunun (zd), zemin sınıfının (zs), eğim grubunun (eg), logaritmik dönüşüm uygulanmış ÖA'da ölçülen 0-5 cm derinlikteki toprak sıkışıklığının (lgts05) ve karekök dönüşümü uygulanmış sürütme mesafesinin (sqrt sm) etkili olduğu, diğer değişkenlerin etkisinin ise istatistikî olarak önemli sayılmayacak düzeyde olduğu belirlenmiştir.

Tarım traktörünün yüklü gidiş zamanıyla, traktör gücünün ve zemin sınıfının ters orantılı, parça sayısı, tomruk hacmi, zemin durumu, eğim grubu, 0-5 cm derinlikteki toprak sıkışıklığı ve sürütme mesafesiyle ise doğru orantılı olduğu görülmektedir.

Yüklü gidiş zamanının, zemin durumunun kayganlaşmasıyla doğru orantılı olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeni kaygan zeminlerde traktörün kaymaması için hızın azaltılması olabilir. Yüklü gidiş zamanı ile zemin sınıfı arasındaki ters orantı, eğim grubu ile yüklü gidiş zamanı arasında ise doğru orantı bulunmuştur. Eğim arttıkça yüklü gidiş zamanı da artmaktadır. Yine zemin durumuna benzer şekilde bunun nedeni eğimin artmasıyla yüklü traktörün kaymaması için hızın azaltılması olabilir.

Zecic ve Marance'nin (2005) odun hammaddesinin traktörle sürütme şeritleri üzerinden sürüterek bölmeden çıkarılma zamanı ile ilgili yapmış oldukları istatistiksel analizde; zamana tomruk hacminin, sürütme mesafesinin, eğimin ve yükteki parça sayısının etkili olduğu belirlemişler, modelde $R^2=0,601$ olarak tespit etmişlerdir. Yapılan bu doktora çalışmasında, zamana diğer çalışmadaki faktörlere ek olarak traktör gücünün, zemin durumunun, zemin sınıfının ve 0-5 cm derinlikteki toprak sıkışıklığının etkili olduğu bulunmuş, diğer çalışmaya göre R^2 değeri (0,749) ise daha yüksek çıkmıştır.

Traktörün boş dönüş zamanını ifade eden bdz bağımlı değişkeni normal dağılım göstermediği için logaritmik dönüşüm uygulanarak normal dağılımı sağlanmıştır. bdz bağımsız değişkenini etkileyen değişkenler işleme sokulduğunda Tablo 12'deki 5 ve 6 numaralı eşitlikler elde edilmiştir. Bu eşitliklerden 5 numaralı eşitlik en uygun eşitliği

sağlamaktadır. Eşitlik %95 güven düzeyinde olup, R^2 değeri 0,716 ve standart hatası 0,225'tir. Bu eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$bdz = -1,082 + (-0,077tgg) + (-0,256zs) + (0,182eg) + (1,184 lg10 ts05) + (0,029 sqrt sm) \quad (2)$$

Traktörün boş dönüş zamanını etkileyen bütün değişkenler işleme sokulduğunda bdz eşitliği elde edilmiştir. Bu eşitlikte görüldüğü gibi boş dönüş zamanı üzerinde, traktör gücü grubunun (tgg) ve zemin sınıfının (zs) ters orantılı olduğu, eğim grubu (eg), logaritmik dönüşüm uygulanmış ÖA'da ölçülen 0-5 cm derinlikteki toprak sıkışıklığı (lgts05) ile sürütme mesafesinin (sqrt sm) doğru orantılı olduğu görülmektedir. Diğer değişkenlerin etkisinin ise istatistikî olarak önemli sayılmayacak düzeyde olduğu belirlenmiştir.

Endüstriyel odun hammaddesinin traktörlerle sürütülerek bölmeden çıkarılması konusunda yapılan araştırmalarda sürütme zamanına ve sürütme güçlüğüne; arazi eğimi, sürütme mesafesi, zemin şartları (mevsim koşulları), tomruk ebatları, seferdeki tomruk hacmi, seferdeki tomruk sayısı, traktörün beygir gücü, arazi şartları, toprak özellikleri gibi faktörlerin etkili olduğu belirtilmiştir (Hafner, 1964; Abegg, 1970; Özçamur,1981; Seçkin 1986; Karaman, 1997 ve Shaffer, 1998; Akay, vd., 2004). Yapılan çalışmalarda, değişen faktörlerin çeşitli iş kısımları için geçen süre üzerine olan etkileri tam olarak açıklığa kavuşturulamamıştır. Örneğin, meşcere içinde sürütme yaparken geçen süre kontrol edilmesi mümkün olmayan birçok faktörün etkisi altındadır (Abegg, 1970). Sürütmede en iyi ispatlanabilir durum, sürütme zamanı ile sürütme mesafesi arasındaki ilişki olabilmektedir (Özçamur,1981). Bu doktora çalışmasında sürütme zamanına ve sürütme güçlüğüne etkili olabilecek faktörler istatistik analizler sonucunda yukarıda bahsedildiği şekilde bulunmuştur. Bu değerlerden doktora tezi amaçlarına ulaşmada yararlanılmıştır.

3.3.5. Sürütmede Çevre Zararlarının Modellenmesine Ait Bulgular ve Tartışılması

Ek Tablo 4'te verilen değerlerden yararlanılarak endüstriyel odun hammaddesinin tarım traktörleriyle sürütme şartları üzerinde sürütülerek bölmeden çıkarılması işlerinde, meydana gelen çevresel zararların ortaya konulması için oluşturulan eşitlikler Tablo 12'de verilmiştir.

Tablo 12. Sürütme şeritleri üzerinde meydana gelen toprak kayıplarının ve toprak sıkışıklığının hesaplanmasında regresyon eşitlikleri

No	1	2	3	4	5	6	7
	lg10kth	lnkth	lg10ts05	lnts05	sqrt ts510	lnts510	lg10ts510
Sabit Sayı	-2,738	-6,305	2,299	5,294	-38,764	0,683	0,297
tgg							
ps							
th							
zd							
zs							
eg							
ts05	0,001	0,002					
lnts05					9,673	0,880	0,382
lg10sm	1,133	2,608					
ts510			0,001	0,002			
lg10kth							
lg10e	0,557	1,283	-0,150	-0,346	3,527	0,278	0,121
şg	0,223	0,514					
R²	0,714	0,714	0,852	0,852	0,862	0,856	0,856
Sxy	0,210	0,484	0,055	0,127	1,288	0,120	0,052
F	49,106	49,106	222,822	222,822	241,773	230,157	230,157
Sig.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Metot	Backward	Backward	Backward	Stepwise	Stepwise	Stepwise	Backward

Tablo 12’de görüldüğü gibi; istatistiki olarak en uygun eşitliğin seçilmesinde bağımlı değişkenle bağımsız değişkenler arasında anlamlı ilişki olanı, R² değeri 1’ e yakın olanı, standart hatasının küçük olanı ve F değerinin büyük olanı koşulları aranmıştır.

Endüstriyel odun hammaddesinin tarım traktörleriyle sürütme şeritleri üzerinde sürütülerek bölmeden çıkarılması işleri sonucunda meydana gelen çevresel zararların ortaya konulması için oluşturulan bağımsız değişkenler kth (kaybolan toprak kaybı), ts05 (ÖA’da ölçülen 0-5 cm derinlikteki toprak sıkışıklığı) ve ts510 (ÖA’da ölçülen 5-10 cm derinlikteki toprak sıkışıklığı) olarak belirlenmiştir.

Logaritmik dönüşüm uygulanarak normal dağılım göstermesi sağlanan kth eşitliği sürütme şeritleri üzerinde oluşan toprak kaybı değişkenini ifade etmektedir. Toprak kaybını etkileyen bütün değişkenler işleme sokulduğunda 1 ve 2 numaralı eşitliklere ulaşılmıştır. Bu eşitliklerden 1 numaralı eşitlik ($\lg 10kth$) en uygun eşitliği sağlamaktadır. Eşitlik %95 güven düzeyinde olup, R^2 değeri 0,714 ve standart hatası 0,210'dur. Eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$kth = -2,738 + (0,001ts05) + (1,133 \lg 10 sm) + (0,557 \lg 10 e) + (0,223\text{şg}) \quad (3)$$

Eşitlikte görüldüğü gibi toprak kaybı miktarı üzerinde 0-5 cm derinlikteki toprak sıklığı (ts05), sürütme mesafesinin ($\lg 10sm$), eğimin ($\lg 10e$) ve şerit genişliğinin (şg) etkili olduğu, diğer değişkenlerin etkisinin istatistiki olarak önemli sayılmayacak düzeyde kaldığı belirlenmiştir. Eşitlik incelendiğinde, eşitlikte bulunan değişkenlerle toprak kaybı değişkeni arasında doğru orantı olduğu tespit edilmiştir.

Logaritmik dönüşümle oluşturulan ts05 eşitliği sürütme şeritleri üzerinde 0-5 cm toprak derinliğinden ölçülen toprak sıklığı değişkenini ifade etmektedir. Toprak sıklığını etkileyen değişkenler işleme sokulduğunda 3 ve 4 numaralı eşitliklere ulaşılmıştır. Bu eşitliklerden 3 numaralı eşitlik ($\lg 10ts05$) en uygun eşitliği sağlamaktadır. Eşitlik %95 güven düzeyinde olup, R^2 değeri 0,852 ve standart hatası 0,055'tir. Eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$ts05 = 2,229 + (0,001ts510) + (-0,150e) \quad (4)$$

Toprak sıklığı üzerinde, eşitlikteki 5-10 cm derinlikten ölçülen toprak sıklığı (ts510) ve eğimin ($\lg 10e$) etkili olduğu görülmüştür. Eşitlik incelendiğinde 0-5 cm toprak derinliğindeki sıklıkla, 5-10 cm toprak derinliğindeki sıklık arasında doğru orantı ve arazi eğimi arasında ise ters orantı olduğu belirlenmiştir.

Logaritmik dönüşümle oluşturulan ts510 eşitliği sürütme şeritleri üzerinde 5-10 cm derinlikten ölçülen toprak sıklığı değişkenini vermektedir. Toprak sıklığını etkileyen bütün değişkenler işleme sokulduğunda 5, 6 ve 7 numaralı eşitliklere ulaşılmıştır. Bu eşitliklerden 5 numaralı eşitlik ($\sqrt{ts510}$) en uygun eşitliği sağlamaktadır. Eşitlik %95 güven düzeyinde olup, R^2 değeri 0,862 ve standart hatası 1,288'dir. Eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$ts_{510} = -38,764 + (9,673 \ln ts_{05}) + (3,527e) \quad (5)$$

Toprak sıkışıklığı üzerinde, eşitlikteki 0-5 cm derinlikten ölçülen toprak sıkışıklığının (Ints05) ve arazi eğiminin ($\lg 10e$) etkili olduğu görülmüştür. Eşitlik incelendiğinde 5-10 cm toprak derinliğindeki sıkışıklıkla, 0-5 cm toprak derinliğindeki sıkışıklık ve eğim arasında doğru orantı olduğu belirlenmiştir.

3.4. Optimum Sürütme Modelinin Belirlenmesine Ait Bulgular ve Tartışılması

3.4.1. Model-1-1'in Çözümüne Ait Bulgular

Model-1-1 traktörün yüklü gidiş zamanının minimizasyonunu başka bir ifadeyle optimum sürütme modelini ifade etmektedir. Bu modele ait amaç fonksiyonu aşağıda verilmiştir.

$$Z_{\min} = -x_{100} - 1.046t_{tg} + 0.711p_s + 2.113t_h + 4.138z_d - 1.490z_s + 1.604e_g + 10.894ts_{05} + 0.385s_m \quad (6)$$

Kısıtlayıcı koşullar:

$$1 \leq t_{gg} \leq 3$$

$$p_s = 4$$

$$t_h = 1,732 \text{ (sqrt 3)}$$

$$1 \leq z_d \leq 2$$

$$2 \leq z_s \leq 4$$

$$2 \leq e_g \leq 3$$

$$2,25 \leq ts_{05} \leq 2,89 \text{ (lg10 152, lg10 780)}$$

$$s_m = 10 \text{ (sqrt 100)}$$

$$x_{100} = 28, \text{ bu şekildedir.}$$

Kısıtlarda parça sayısı (p_s) ve tomruk hacmi (t_h) kısıtlarını oluştururken 3 bölmecikteki toplam 472 adet ve 355 m^3 tomruğun bölmeden çıkarılmasında farklı değerlerdeki durumları optimum sürütme modeli LINDO 6.1 yazılımında koşturulmuş Tablo 13'deki değerler elde edilmiştir. Toplam sefer süresi 100 m sürütme mesafesindeki yüklü gidiş, boş dönüş, bağlama ve çözme sürelerinden oluşmaktadır. Yüklü gidiş süresi optimum modelden elde edilen değer olup boş dönüş, bağlama ve çözme süreleri ise arazi çalışmasında elde edilme mevcut değerlerin ortalama süreleridir. Toplam 28 farklı

durumun denemeleri bu sefer süresine göre yapılmıştır. Tablo 13’de toplam sefer, bölmeden çıkarılan toplam 355 m³ tomruğun seferdeki tomruk hacmine bölünmesiyle bulunmuş ve bu şekilde değerlendirilmiştir. Toplam sefer süresinin düşük çıkması yüklü gidiş zamanın optimum modelde ps ve th dışındaki değişkenlerin optimum durumu veren değerlerin alınmasından dolayıdır.

Tablo 13. Optimum sürütme modelinde farklı değerlerdeki parça sayısı ve tomruk hacmi deneme sonuçları

Değişken Durumu	Toplam Sefer	Sefer Süresi (sn)	Toplam Sefer Süresi (sn/dk)	Toplam Parça Sayısı (adet)
ps=2- th=0,5	710	93	66030/1100	1420
ps=2- th=1	355	96	34080/568	710
ps=2- th=1,5	237	98	23220/387	474
ps=2- th=2	178	100	17820/297	355
ps=2- th=2,5	142	102	14460/241	284
ps=2- th=3	118	105	12420/207	236
ps=2- th=3,5	101	107	10860/181	202
ps=3- th=0,5	710	119	84480/1408	2130
ps=3- th=1	355	122	43320/722	1065
ps=3- th=1,5	237	125	29640/494	711
ps=3- th=2	178	128	22680/378	534
ps=3- th=2,5	142	131	18600/310	426
ps=3- th=3	118	133	15720/262	354
ps=3- th=3,5	101	136	13740/229	303
ps=4- th=0,5	710	145	102960/1716	2840
ps=4- th=1	355	149	52920/882	1420
ps=4- th=1,5	237	152	36000/600	948
ps=4- th=2	178	156	27780/463	712
ps=4- th=2,5	142	159	22560/376	568
ps=4- th=3	118	162	19140/319	472
ps=4- th=3,5	101	165	16680/278	404
ps=5- th=0,5	710	172	122100/2035	3550
ps=5- th=1	355	177	62820/1047	1775
ps=5- th=1,5	237	181	42900/715	1185
ps=5- th=2	178	185	32940/549	890
ps=5- th=2,5	142	189	26820/447	710
ps=5- th=3	118	192	22680/378	590
ps=5- th=3,5	101	196	19800/330	505

Tabloya göre en iyi durumun ps karar değişkeni için 4 değeri ve th karar değişkeni için ise 3 değerini aldığı durumdur. Modelin belirtilen koşullarda LINDO 6.1 optimizasyon yazılımında çözülmesi sonucunda amaç fonksiyonu değeri (Zmin) 5,11 sn bulunmuştur. Bu değer normal dağılım göstermediği için karekök dönüşümü uygulandığından, bu değer in karesinin alınmasıyla değer 26,14 sn olarak belirlenmiştir. Model beş adımda tamamlanmıştır. Temel çözüme giren karar değişkenlerine göre; traktör gücü grubunun (tgg) 3.grup (72-82 BG), yükteki parça sayısının (ps) 4 adet, yükteki toplam tomruk hacminin (th) 3 m³, zemin durumunun (zd) 1.zemin durumu (kaygan olmayan zemin), zemin sınıfının (zs) 4.zemin sınıfı (humuslu toprak), eğim grubunun (eg) 2.grup (%12-22), ÖA'da ölçülen 0-5 cm derinlikteki toprak sıkışıklığının (ts05) 179 psi (bitki kök gelişimi için iyi olan toprak sıkışıklığı değeri) ve sürütme mesafesinin ise 100 m olması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Amaç fonksiyonu değerinin başka bir değişle traktörün yüklü gidiş süresinin düşük çıkması, zaman üzerinde etkili olan karar değişkenlerinin optimum durumda (minimum) olması nedeninden dolayıdır. Ancak eğim ve zemin sınıfı gibi konumsal değişkenlerin değiştirilmesi mümkün olmadığından ve sürütme şeritlerinin üretim alanına homojen şekilde dağılması nedeniyle bu değişkenlerin optimum değerleri almaması olasıdır. Böylece yüklü gidiş zamanının bulunan değere göre artması kaçınılmazdır. Konumsal olmayan traktör gücü, parça sayısı ve tomruk hacmi gibi verilerin optimum değerlerinin optimum sürütme modelinde olma olasılığı yüksektir.

3.4.2. Model-1-2'nin Çözümüne Ait Bulgular

Model-1-2 traktörün yüklü gidiş zamanının en kötü koşullarda gerçekleştiği yani maksimizasyonunu ifade etmektedir. Bu modele ait amaç fonksiyonu aşağıda verilmiştir. Karar değişkenleri ve kısıtlayıcı koşullar Model-1-1 ile aydır.

$$Z_{\max} = -x_{100} - 1.046tgg + 0.711ps + 2.113th + 4.138zd - 1.490zs + 1.604eg + 10.894ts05 + 0.385sm \quad (7)$$

Kısıtlayıcı koşullar:

$$1 \leq tgg \leq 3$$

$$ps = 4$$

$$th = 1,732 \text{ (sqrt 3)}$$

$$1 \leq zd \leq 2$$

$$2 \leq z_s \leq 4$$

$$2 \leq e_g \leq 3$$

$$2,25 \leq t_{s05} \leq 2,89 \text{ (lg10 152, lg10 780)}$$

$$s_m = 10 \text{ (sqrt 100)}$$

$x_{100} = 28$, bu şekildedir.

Modelin belirtilen koşullarda LINDO 6.1 optimizasyon yazılımında çözülmesi sonucunda amaç fonksiyonu değeri (Z_{max}) 22,90 sn bulunmuştur. Bu değer normal dağılım göstermediği için karekök dönüşümü uygulandığından, bu değer karesinin alınmasıyla değer 524,38 sn olarak belirlenmiştir. Model beş adımda tamamlanmıştır. Temel çözüme giren karar değişkenlerine göre; traktör gücü grubunun (t_{gg}) 1.grup (50-60 BG), yükteki parça sayısının (ps) 4 adet, yükteki toplam tomruk hacminin (th) 3 m^3 , zemin durumunun (zd) 2.zemin durumu (yarı kaygan zemin), zemin sınıfının (zs) 2.zemin sınıfı (iri taneli), eğim grubunun (eg) 3.grup (%23-33), ÖA'da ölçülen 0-5 cm derinlikteki toprak sıkışıklığının (t_{s05}) 780 psi (bitki kök gelişimi için kötü olan toprak sıkışıklığı değeri) ve sürütme mesafesinin ise 100 m olması gerektiği sonucu çıkmıştır.

Burada Model-1-2 traktörün yüklü gidiş zamanının en kötü koşullarda gerçekleştiği yani maksimizasyonunu ifade ettiğinden amaç fonksiyonu değeri Model-1-1'inkine göre yüksek çıkmıştır. Bu modelde zaman üzerinde etkili olan karar değişkenlerinin en kötü koşullardaki (maksimum) değerleri alması nedeniyle Model-1-1 amaç fonksiyonu değeri düşük çıkmıştır. Her iki modeldeki değişkenlerin değerleri incelendiğinde Model-1-1'dekiler yüklü gidiş zamanını olumlu yönde etkileyen en uygun değerleri almıştır.

3.4.3. Model-2-1'in Çözümüne Ait Bulgular

Model-2-1 traktörün boş dönüş zamanının minimizasyonunu ifade etmektedir. Bu modele ait amaç fonksiyonu aşağıda verilmiştir.

$$Z_{min} = -x_{100} - 0,077t_{gg} - 0,256z_s + 0,182e_g + 1,184t_{s05} + 0,029s_m \quad (8)$$

Kısıtlayıcı koşullar:

$$t_{gg} = \text{yüklü gidişte elde edilen optimum değer (1} \leq t_{gg} \leq 3)$$

$$2 \leq z_s \leq 4$$

$$2 \leq e_g \leq 3$$

$$2,25 \leq t_{s05} \leq 2,89 \text{ (lg10 179, lg10 780)}$$

$sm = 10$ (sqrt 100)

$x_{100} = 1,082$ bu şekildedir.

Modelin belirtilen koşullarda LINDO 6.1 optimizasyon yazılımında çözülmesi sonucunda amaç fonksiyonu değeri (Z_{min}) 0,98 sn bulunmuştur. Bu değer normal dağılım göstermediği için Log10 dönüşümü uygulandığından, bu değere 10 tabanında dönüşüm yapılmasıyla değer 9,57 sn olarak belirlenmiştir. Model dört adımda tamamlanmıştır. Temel çözüme giren karar değişkenlerine göre; traktör gücü grubunun (tgg) 3.grup (72-82 BG), zemin sınıfının (zs) 4.zemin sınıfı (humuslu toprak), eğim grubunun (eg) 2.grup (% 12-22), ÖA'da ölçülen 0-5 cm derinlikteki toprak sıkışıklığının (ts05) 179 psi (bitki kök gelişimi için iyi olan toprak sıkışıklığı değeri) ve sürütme mesafesinin ise 100 m olması gerektiği sonucu çıkmıştır.

Amaç fonksiyonu değeri olan traktörün boş dönüş süresinin düşük çıkması, zaman üzerinde etkili olan karar değişkenlerinin optimum durumda (minimum) olması nedeninden dolayıdır. Ancak konumsal olan arazi eğimi ve zemin sınıfı gibi değerlerin değiştirilmesi mümkün olmadığından ve sürütme şeritlerinin üretim alanına homojen şekilde dağılması nedeniyle konumsal değişkenlerin optimum değerleri almaması olasıdır. Böylece boş dönüş zamanının bulunan değere göre artması kaçınılmazdır. Konumsal olmayan traktör gücü gibi verilerin optimum değerlerinin optimum sürütme modelinde olma olasılığı yüksektir.

3.4.4. Model-2-2'nin Çözümüne Ait Bulgular

Model-2-2 traktörün boş dönüş zamanının en kötü koşullarını yani maksimizasyonunu ifade etmektedir. Bu modele ait amaç fonksiyonu aşağıda verilmiştir. Karar değişkenleri ve kısıtlayıcı koşullar Model-2-1 ile aynıdır.

$$Z_{max} = -x_{100} - 0,077tgg - 0,256zs + 0,182eg + 1,184ts05 + 0,029sm \quad (9)$$

Kısıtlayıcı koşullar:

$tgg =$ yüklü gidişte elde edilen optimum değer ($1 \leq tgg \leq 3$)

$2 \leq zs \leq 4$

$2 \leq eg \leq 3$

$2,25 \leq ts05 \leq 2,89$ ($\lg 10$ 179, $\lg 10$ 780)

$sm = 10$ (sqrt 100)

$x_{100} = 1,082$ bu şekildedir.

Modelin belirtilen koşullarda LINDO 6.1 optimizasyon yazılımında çözülmesi sonucunda amaç fonksiyonu değeri (Z_{max}) 2,59 sn bulunmuştur. Bu değer normal dağılım göstermediği için Log10 dönüşümü uygulandığından, bu değere 10 tabanında dönüşüm yapılmasıyla değer 386,15 sn olarak bulunmuştur. Model dört adımda tamamlanmıştır. Temel çözüme giren karar değişkenlerine göre; traktör gücü grubunun (tgg) 1.grup (50-60 BG), zemin sınıfının (zs) 2.zemin sınıfı (iri taneli), eğim grubunun (eg) 3.grup (%23-33), ÖA'da ölçülen 0-5 cm derinlikteki toprak sıkışıklığının (ts05) 780 psi (bitki kök gelişimi için kötü olan toprak sıkışıklığı değeri) ve sürütme mesafesinin ise 100 m olması gerektiği sonucu çıkmıştır.

Burada Model-2-2 traktörün boş dönüş zamanının en kötü koşullarda yani maksimizasyonunu ifade ettiğinden amaç fonksiyonu değeri yani boş dönüş zamanı Model-2-1'inkine göre yüksek çıkmıştır. Bu modelde zaman üzerinde etkili olan karar değişkenlerinin en kötü koşullardaki (maksimum) değerleri alması nedeniyle Model-2-1 amaç fonksiyonu değeri düşük çıkmıştır. Her iki modeldeki değişkenlerin değerleri incelendiğinde Model-2-1'dekiler boş dönüş zamanını olumlu yönde etkileyen en uygun değerleri almıştır.

3.4.5. Model-3-1'in Çözümüne Ait Bulgular

Model-3-1 endüstriyel odun hammaddesinin tarım traktörleriyle sürütme şeritleri üzerinde sürütülerek bölmeden çıkarılması sonucu sürütme şeritlerinde meydana gelen toprak kayıplarının minimizasyonunu ifade etmektedir. Bu modele ait amaç fonksiyonu aşağıda verilmiştir.

$$Z_{min} = -x_{100} + 0,001ts05 + 1,133sm + 0,557e + 0,223şg \quad (10)$$

Kısıtlayıcı koşullar:

$$179 \leq ts05 \leq 780$$

$$sm = 2 (\log_{10} 100)$$

$$1,08 \leq e \leq 1,52 (\log_{10} 12, \log_{10} 33)$$

$$şg = 2,5$$

$x_{100} = 2,738$ bu şekildedir.

Modelin belirtilen koşullarda LINDO 6.1 optimizasyon yazılımında çözülmesi sonucunda amaç fonksiyonu değeri (Zmin) $0,87 \text{ m}^3$ bulunmuştur. Bu değer normal dağılım göstermediği için Log10 dönüşümü uygulandığından, bu değere 10 tabanında dönüşüm yapılmasıyla değer $7,35 \text{ m}^3$ olarak belirlenmiştir. Model iki adımda tamamlanmıştır. Temel çözüme giren karar değişkenlerine göre; ÖA'da ölçülen 0-5 cm derinlikteki toprak sıkışıklığının (ts05) 179 psi (bitki kök gelişimi için iyi olan toprak sıkışıklığı değeri), sürütme mesafesinin (sm) 100 m, arazi eğiminin (e) %12 ve sürütme şeridi genişliğinin (şg) 2,5 m olması gerektiği sonucu çıkmıştır.

Bu model odun hammaddesinin tarım traktörleriyle sürütme şeritleri üzerinde sürütülerek bölmeden çıkarılması sonucu, sürütme şeritlerinde meydana gelen toprak kaybı üzerinde etkili olan karar değişkenlerinin optimum (minimum) durum değerlerinden oluşmaktadır. ÖA'da ölçülen 0-5 cm derinlikteki toprak sıkışıklığı (ts05) değerinin 179 psi olması toprak kaybının en düşük olduğu alanları göstermektedir. Ayrıca arazi eğimi karar değişkeninin en düşük seviyede olması da toprak kaybını en aza indirmektedir. Ancak konumsal olan arazi eğimi ve toprak sıkışıklığı gibi değerlerin değiştirilmesi mümkün olmadığından ve sürütme şeritlerinin üretim alanına homojen şekilde dağılması nedeniyle konumsal değişkenlerin optimum değerleri almaması olasıdır. Böylece toprak kayıplarının bulunan değere göre artması kaçınılmazdır. Diğer taraftan sürütme mesafesi (sürütme şeridi uzunluğu) ve sürütme şeridi genişliği arttıkça toprak kayıpları da doğru orantılı olarak artmaktadır.

3.4.6. Model-3-2'nin Çözümüne Ait Bulgular

Model-3-2 odun hammaddesinin tarım traktörleriyle sürütme şeritleri üzerinde sürütülerek bölmeden çıkarılması sonucu sürütme şeritlerinde meydana gelen toprak kayıplarının en kötü koşullarını yani maksimizasyonunu ifade etmektedir. Bu modele ait amaç fonksiyonu aşağıda verilmiştir. Karar değişkenleri ve kısıtlayıcı koşullar Model-3-1 ile aynıdır.

$$Z_{\max} = -x_{100} + 0,001ts05 + 1,133sm + 0,557e + 0,223şg$$

(11)

Kısıtlayıcı koşullar:

$$179 \leq ts05 \leq 780$$

$$sm = 2 (\log_{10} 100)$$

$$1,08 \leq e \leq 1,52 (\log_{10} 12, \log_{10} 33)$$

$$\text{şg} = 2,5$$

$$x_{100} = 2,738 \text{ bu şekilde dir.}$$

Modelin belirtilen koşullarda LINDO 6.1 optimizasyon yazılımında çözülmesi sonucunda amaç fonksiyonu değeri (Zmax) $1,71 \text{ m}^3$ bulunmuştur. Bu değer normal dağılım göstermediği için Log10 dönüşümü uygulandığından, bu değere 10 tabanında dönüşüm yapılmasıyla değer $51,54 \text{ m}^3$ olarak belirlenmiştir. Model iki adımda tamamlanmıştır. Temel çözüme giren karar değişkenlerine göre; ÖA'da ölçülen 0-5 cm derinlikteki toprak sıkışıklığının (ts05) 780 psi (bitki kök gelişimi için kötü olan toprak sıkışıklığı değeri), sürütme mesafesinin (sm) 100 m, arazi eğiminin (e) %33 ve sürütme şeridi genişliğinin (şg) 2,5 m olması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Burada Model-3-2, odun hammaddesinin tarım traktörleriyle sürütme şeritleri üzerinde sürütülerek bölmeden çıkarılması sonucu sürütme şeritlerinde meydana gelen toprak kayıplarının en kötü koşullarda yani maksimizasyonunu ifade ettiğinden amaç fonksiyonu değeri Model-3-1'inkine göre yüksek çıkmıştır. Bu modelde toprak kaybı üzerinde etkili olan karar değişkenlerinin en kötü koşullardaki (maksimum) değerleri alması nedeniyle Model-3-1 amaç fonksiyonu değeri düşük çıkmıştır. Her iki modeldeki değişkenlerin değerleri incelendiğinde Model-3-1'dekiler toprak kaybını olumlu yönde etkileyen en uygun değerleri almıştır. Örneğin her iki modelde toprak sıkışıklığı değerleri incelendiğinde üretim alanında toprak sıkışıklığı değeri azaldıkça toprak kaybı da azaldığı görülecektir. Toprak sıkışıklığının yüksek değerde olmaması için bu doktora tez çalışmasının en önemli amaçlarından biri olan optimum sürütme şeritlerinin üretim alanına optimum şekilde planlanmasıyla önlenabilir.

3.4.7. Model-4-1'in Çözümüne Ait Bulgular

Model-4-1 odun hammaddesinin tarım traktörleriyle sürütme şeritleri üzerinde sürütülerek bölmeden çıkarılması sonucu sürütme şeritlerinde meydana gelen 0-5 cm derinlikteki toprak sıkışıklığının minimizasyonunu ifade etmektedir. Bu modele ait amaç fonksiyonu aşağıda verilmiştir.

$$Z_{\min} = x_{100} + 0,001ts510 - 0,150e \quad (12)$$

Kısıtlayıcı koşullar:

$$213 \leq ts510 \leq 800$$

$$1,08 \leq e \leq 1,52 \text{ (log10 12, log10 33)}$$

$x_{100} = 2,229$ bu şekildedir.

Modelin belirtilen koşullarda LINDO 6.1 optimizasyon yazılımında çözülmesi sonucunda amaç fonksiyonu değeri (Zmin) 2,21 psi bulunmuştur. Bu değer normal dağılım göstermediği için Log10 dönüşümü uygulandığından, bu değere 10 tabanında dönüşüm yapılmasıyla değer 163,68 psi (bitki kök gelişimi için iyi olan toprak sıkışıklığı değeri) olarak tespit edilmiştir. Model iki adımda tamamlanmıştır. Temel çözüme giren karar değişkenlerine göre; ÖA'da ölçülen 5-10 cm derinlikteki toprak sıkışıklığının (ts510) 213 psi ve eğimin (e) %33 olması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Bu model ÖA'da ölçülen 5-10 cm derinlikteki toprak sıkışıklığı (ts510) değerinin 213 psi olması 0-5 cm derinlikteki toprak sıkışıklığının en düşük olduğu alanları göstermektedir. Ayrıca eğim karar değişkeninin en yüksek seviyede olması da toprak sıkışıklığını en aza indirmektedir. Ancak konumsal olan eğim ve 5-10 cm derinlikteki toprak sıkışıklığı gibi değerlerin değiştirilmesi mümkün olmadığından ve sürütme şeritlerinin üretim alanına homojen dağılımı nedeniyle konumsal değişkenlerin optimum değerleri almaması olasıdır.

3.4.8. Model-4-2'nin Çözümüne Ait Bulgular

Model-4-2 odun hammaddesinin tarım traktörleriyle sürütme şeritleri üzerinde sürütülerek bölmeden çıkarılması sonucu sürütme şeritlerinde meydana gelen 0-5 cm derinlikteki toprak sıkışıklığının en kötü koşullarını yani maksimizasyonunu ifade etmektedir. Bu modele ait amaç fonksiyonu aşağıda verilmiştir. Karar değişkenleri ve kısıtlayıcı koşullar Model-4-1 ile aydır.

$$Z_{\max} = x_{100} + 0,001ts510 - 0,150e \quad (13)$$

Kısıtlayıcı koşullar:

$$213 \leq ts510 \leq 800$$

$$1,08 \leq e \leq 1,52 \text{ (log10 12, log10 33)}$$

$x_{100} = 2,229$ bu şekildedir.

Modelin belirtilen koşullarda çözülmesi sonucunda amaç fonksiyonu değeri (Z_{max}) 2,87 psi bulunmuştur. Bu değer normal dağılım göstermediği için Log10 dönüşümü uygulandığında, bu değere 10 tabanında dönüşüm yapılmasıyla değer 741,31 psi (bitki kök gelişimi için en kötü olan toprak sıkışıklığı değeri) olarak bulunmuştur. Model iki adımda tamamlanmıştır. Temel çözüme giren karar değişkenlerine göre; ÖA'da ölçülen 5-10 cm derinlikteki toprak sıkışıklığının (ts_{510}) 800 psi ve eğimin (e) %12 olması gerektiği sonucu çıkmıştır.

Burada Model-4-2 odun hammaddesinin tarım traktörleriyle sürütme şeritleri üzerinde sürütülerek bölmeden çıkarılması sonucu sürütme şeritlerinde meydana gelen 0-5 cm derinlikteki toprak sıkışıklığının en kötü koşullarda yani maksimizasyonunu ifade ettiğinden amaç fonksiyonu değeri Model-4-1'inkine göre yüksek çıkmıştır. Bu modelde toprak sıkışıklığı üzerinde etkili olan karar değişkenlerinin en kötü koşullardaki (maksimum) değerleri alması nedeniyle Model-4-1 amaç fonksiyonu değeri düşük çıkmıştır. Her iki modeldeki değişkenlerin değerleri incelendiğinde Model-4-1'dekiler 0-5 cm derinlikteki toprak sıkışıklığını olumlu yönde etkileyen en uygun değerleri almıştır. Örneğin her iki modelde 5-10 cm derinlikteki toprak sıkışıklığı değerleri azaldıkça 0-5 cm derinlikteki toprak sıkışıklığı da azaldığı görülecektir. Toprak sıkışıklığının yüksek değerde olmaması için bu doktora tez çalışmasının en önemli amaçlarından biri olan optimum sürütme şeritlerinin üretim alanına optimum şekilde planlanmasıyla önlenebilir.

Optimum sürütme modeli olan Model-1-1'nin oluşturulmasında teknik, ekonomik ve çevresel yönlerden en uygun karar değişkenlerinin değerleri seçilmiştir. Bu karar değişkenleri seçilirken toprak kayıplarını da minimize eden ortak karar değişkeninin değerleri alınmıştır. Bu nedenle eğim karar değişkeni değerinin toprak kaybına minimum etki yapan değeri optimum sürütme modelinde de aynı şekilde kullanılmıştır.

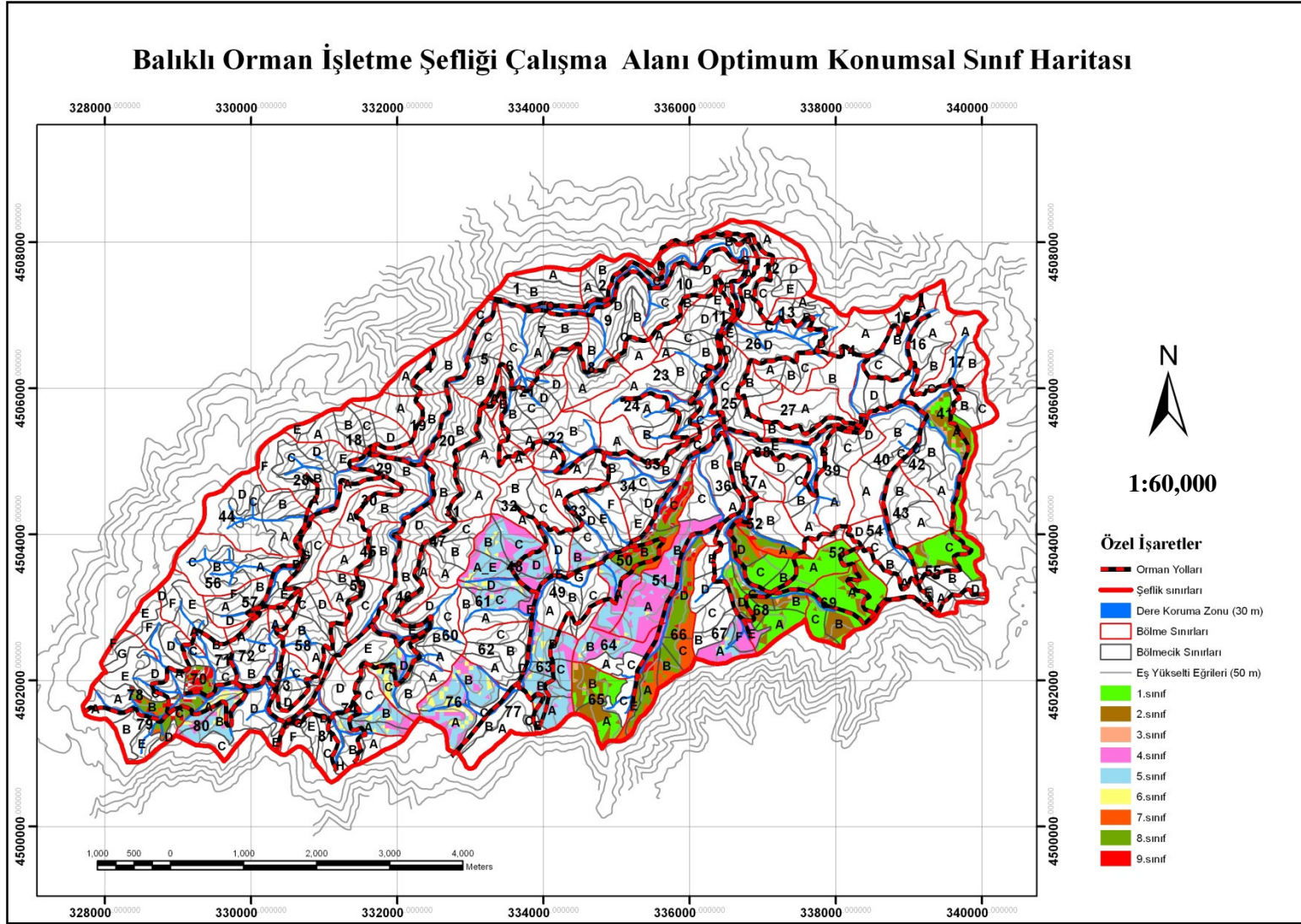
3.5. Sürütme Şeritleri Ağının Optimizasyonuna İlişkin Bulgular ve Tartışılması

Sürütme şeritleri ağının optimizasyonunu sağlamak için çalışma alanı ArcGIS 9.2 yazılımı ile dokuz optimum konumsal sınıfa ayrılmıştır. Tablo 14'te sınıflara ait konumsal bilgiler verilmiştir. Bu tabloda 1.sınıf, teknik, ekonomik ve çevresel yönden en uygun durumu temsil etmektedir. Ayrıca çalışma alanı için optimum konumsal sınıf haritası da oluşturulmuştur (Şekil 29).

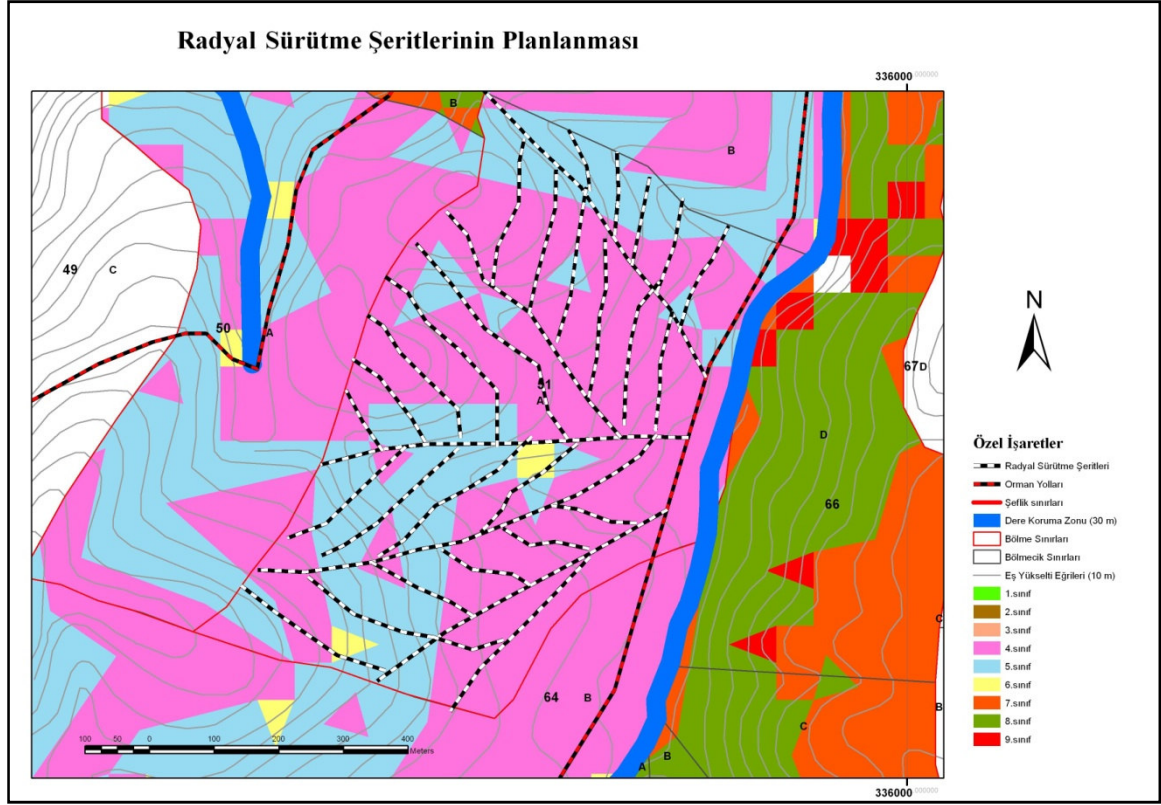
Tablo 14. Optimum konumsal sınıflara ait bulgular

Optimum Konumsal Sınıf	Zemin Durumu	Zemin Sınıfı	Eğim Grubu	Alanı (m²)
1.sınıf	Kaygan olmayan	Humuslu toprak	%0-11	2478919
2.sınıf	Kaygan olmayan	Humuslu toprak	%12-22	954239
3.sınıf	Kaygan olmayan	Humuslu toprak	%23-33	99359
4.sınıf	Kaygan olmayan	İnce taneli	%0-11	2153392
5.sınıf	Kaygan olmayan	İnce taneli	%12-22	2916771
6.sınıf	Kaygan olmayan	İnce taneli	%23-33	535900
7.sınıf	Kaygan olmayan	İri taneli	%0-11	688983
8.sınıf	Kaygan olmayan	İri taneli	%12-22	1045763
9.sınıf	Kaygan olmayan	İri taneli	%23-33	421872

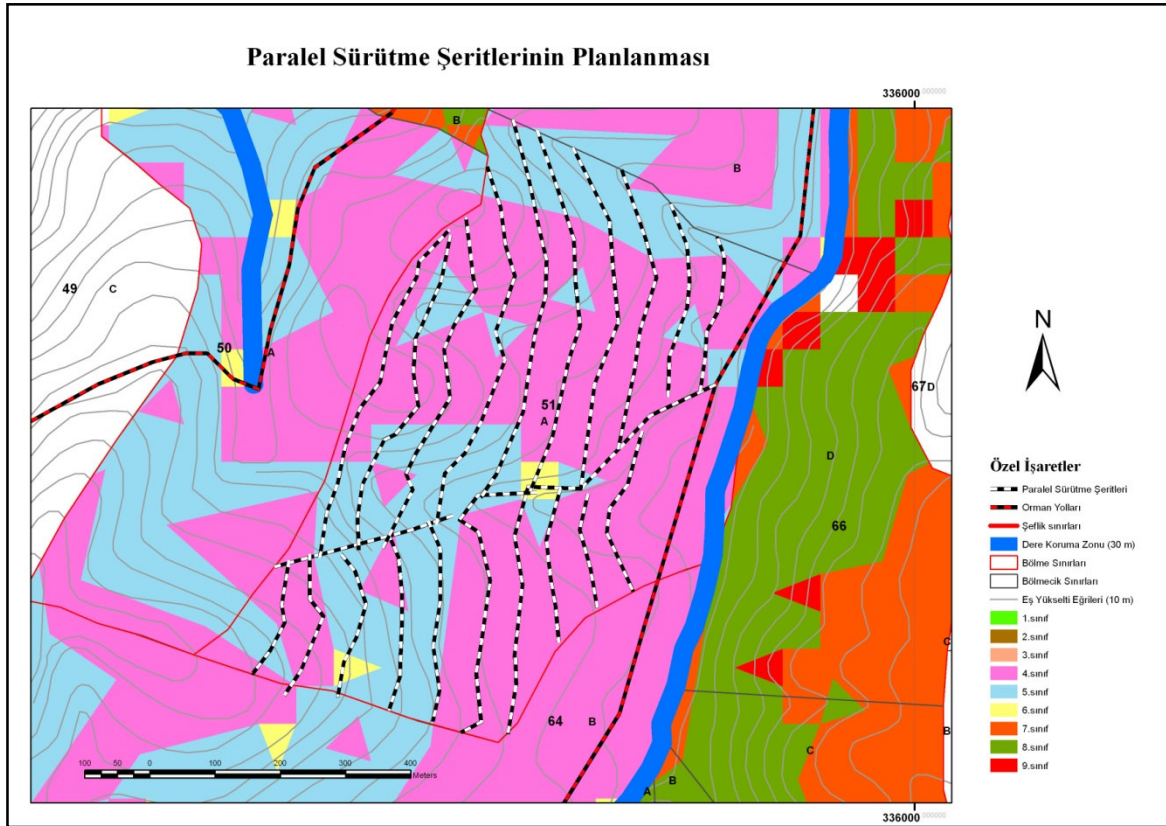
Oluşturulan optimum konumsal sınıf katmanı üzerine sürütme şeridi desenleri planlanmıştır. Çalışma alanı içerisinde optimum sürütme desenini belirlemek için çalışmanın yapıldığı bölmeler içerisinde örnek iki bölme (48 ve 51 numaralı bölmeler) seçilmiş ve bunlarda planlama yapılmıştır. Desenlerden radyal sürütme şeridi deseni eşyükselti eğrilerine radyal olarak (Şekil 30), paralel sürütme şeridi deseni eşyükselti eğrilerine paralel olarak (Şekil 31) planlanmıştır. Geliştirilen sürütme deseni ise aşağıda açıklanmış ve arazideki planı Şekil 32’de gösterilmiştir.



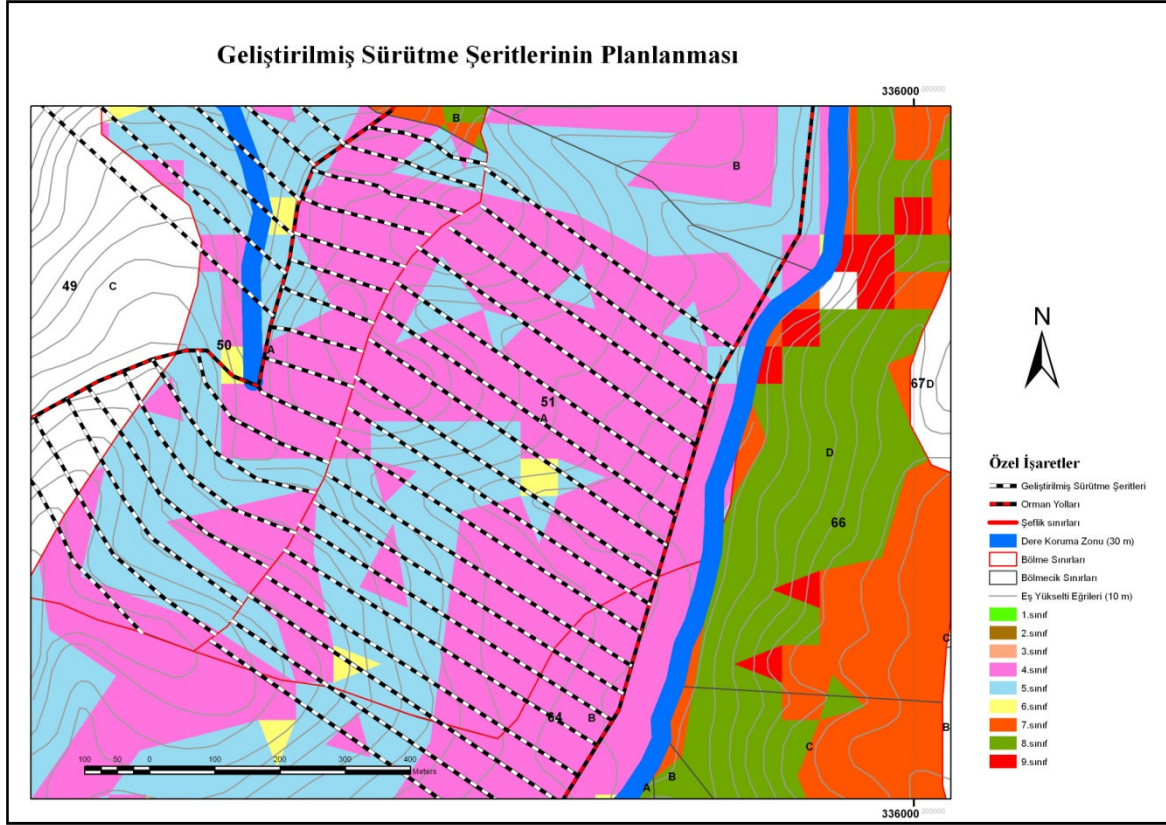
Şekil 29. Balıklı Orman İşletme Şefliği çalışma alanı optimum konumsal sınıf haritası



Şekil 30. Optimum konumsal sınıf katmanı üzerine radyal sürütme şeridinin planlanması



Şekil 31. Optimum konumsal sınıf katmanı üzerine paralel sürütme şeridinin planlanması



Şekil 32. Optimum konumsal sınıf katmanı üzerine geliştirilen sürütme şeridinin planlanması

Geliştirilen sürütme şeridi deseninin teknik özellikleri;

- Sürütme şeridi genişliği üretim araçlarından 1 m daha geniş olmaktadır (2,5-3,5 m).
- Bu çalışmada tarım traktörleri kullanıldığından dolayı sürütme şeridi eğimi yokuş yukarı %33'ü geçmeyen üretim alanlarında planlanmaktadır.

- Desen orman yoluna en kısa mesafede ve 35°-45° açıyla bağlanmıştır. Bu açı arazi şartlarına, orman yolu durumuna ve orman ürününün boyuna bağlı olarak değişebilir.

- Desen traktörün odun hammaddesini yukarıdan aşağıya doğru taşınmasını gerçekleştirecek şekilde düzenlenmiştir. Desenler arasındaki mesafe yaklaşık iki ağaç boyu (50 m) olarak alınmıştır. Diğer sürütme desenlerinde de şeritlere arasındaki mesafe geliştirilen desene benzer şekilde iki ağaç boyu (50 m) olarak alınmıştır.

- Sürütme şeridi uzunluğunun çok fazla olduğu yerlerde toprak erozyonunu sınırlandırmak için sürütme şeritleri üzerinde, sürütme şeridine 45° açıyla doğal açık kasis inşa edilmelidir.

Her desenin her sınıftaki konumsal durumuna ve optimum sürütme modelindeki zamansal analizlere göre en uygun desenin, geliştirilen desen olduğu tespit edilmiştir.

Model koşturulmadan önce konumsal karar değişkenleri dışındaki karar değişkelerinin değerleri optimum modeldeki ile aynı alınmıştır. Bu yüzden Tablo 15’de 100 m’deki saatlik verim yüksek çıkmıştır. Söz konusu tabloda sürütme desenlerine ilişkin konumsal ve zamansal analiz sonuçları yer almaktadır.

Tablo 15. Sürütme desenlerine ilişkin konumsal ve zamansal analizlere ait bulgular

Sürütme şeridi Desenlerinin Hektardaki Yoğunlukları ve Kapladıkları Alanlar				
Bölme No	Radyal Desen	Paralel Desen	Geliştirilen Desen	Mevcut şeritler
48	197 m/ha 494 m ² /ha	199 m/ha 498 m ² /ha	192 m/ha 480 m ² /ha	209 m/ha 522 m ² /ha
51	186 m/ha 465 m ² /ha	180 m/ha 450 m ² /ha	181 m/ha 454 m ² /ha	353 m/ha 883 m ² /ha
Ortalama	192 m/ha 480 m ² /ha	190 m/ha 474 m ² /ha	187 m/ha 467 m ² /ha	281 m/ha 703 m ² /ha
Optimum Modelde Sürütme şeridi Desenlerinin Saatlik Verimleri (100 m)				
48	61,02 m ³ /saat	59,67 m ³ /saat	61,71 m ³ /saat	23,10 m ³ /saat
51	64,67 m ³ /saat	65,06 m ³ /saat	65,45 m ³ /saat	34,32 m ³ /saat
Ortalama	62,85 m ³ /saat	52,37 m ³ /saat	63,58 m ³ /saat	28,71 m ³ /saat

Tablo 15 incelendiğinde sürütme desenlerinin hektardaki yoğunlukları ve kapladığı alanlar bakımından en iyi durumun geliştirilen desen olduğu belirlenmiş ancak diğer radyal ve paralel desenlerle arasında çok az fark olduğu tespit edilmiştir. Bu üç desen mevcut durumla karşılaştırıldığında işletmeye açma yüzdesi aynı olmasına rağmen sürütme için yaklaşık %40 daha az alana girildiği tespit edilmiştir. Bu da toprak sıklıklağının ve toprak kaybının daha az olmasını sağlamaktadır. Desenlerin optimum sürütme modelinde koşturulması ile aynı şartlar altında toplamda aynı miktarda odun hammaddesinin bölmeden çıkarılması sağlanmıştır. Her desenin 100 m’deki saatlik verimleri incelendiğinde geliştirilen desenin en verimli olduğu sonucuna varılmıştır. Geliştirilen desenle radyal desen arasında 0,73 m³/saat fark olduğu, paralel desenle arasında 11,21 m³/saat fark olduğu, mevcut durumla ise 34,87 m³/saat fark olduğu belirlenmiştir. Mevcut durumla geliştirilen desen arasındaki farkın yüksek olması geliştirilen desenin optimum desende yani en iyi koşullarda modelin koşturulmasından dolaydır. Üç desen teknik olarak değerlendirildiğinde geliştirilen desenin araziye yayılması ve orman yollarına

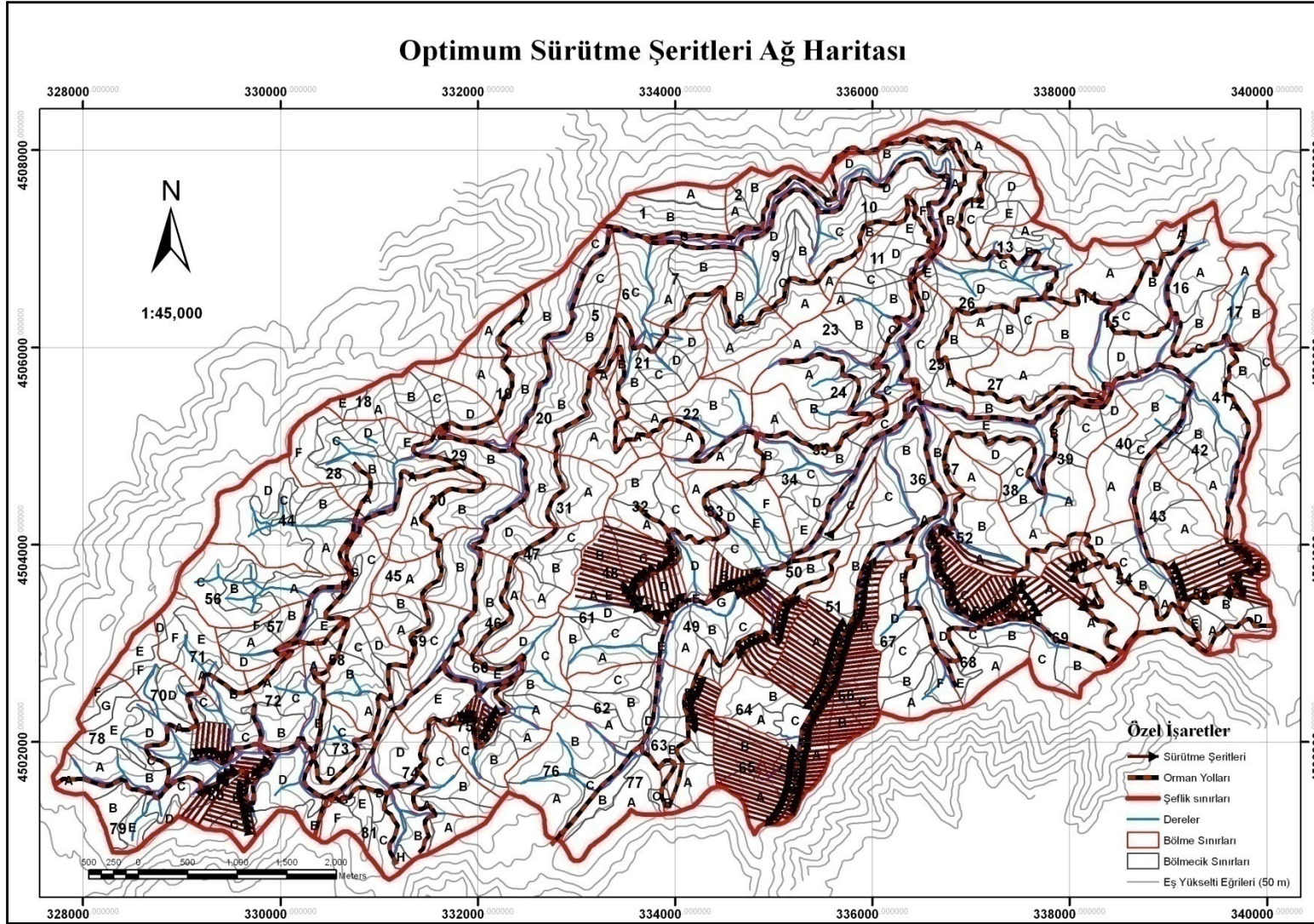
en kısa şekilde bağlanması bir sefer sonucunda harcanan zamanın düşük olmasını ve böylece kısa zamanda daha çok endüstriyel odun hammaddesinin bölmeden çıkarılmasını sağlamaktadır. Ayrıca Tablo 15 incelendiğinde geliştirilen sürütme şeridi deseninin mevcut sürütme şeritlerine göre daha az alan kapladığından dolayı hektarda 236 m^2 alanın toprak sıkışıklığına maruz kalması önlenmiştir.

3.6. Optimum Sürütme Şeridi Desenin Planlanması ve Optimum Sürütme Modelinde Test Edilmesine Ait Bulgular ve Tartışılması

Bu çalışma kapsamında belirlenen optimum sürütme şeridi deseni (geliştirilen desen) 2010 yılında üretime giren bölmeciklerde planlanarak test edilmiştir. Şekil 33'de üretime giren bölmeciklere ait optimum sürütme şeritleri ağ haritası gösterilmektedir. Planda her bir sürütme şeridi arasındaki mesafe yaklaşık olarak 50 m (iki ağaç boyu) olacak şekilde ve orman yoluna 35° - 45° açıyla bağlanacak şekilde planlanmıştır.

Planlanan sürütme şeritlerinden tarım traktörleriyle sürütülen toplam odun hammaddesinin miktarının bulunabilmesi ve verimin tespit edilebilmesi için üretime giren bölmeciklere ait 2010 yılı dikili ağaç damga tutanaklarından üretime giren ağaçların adet ve hacimleri tespit edilmiştir.

Tablo 16'da Balıklı Orman İşletme Şefliği'nin arazi çalışmaları için uygun bölmelerine ait 2010 yılı dikili ağaç damga tutanaklarından elde edilen her bölmecikteki toplam damgalanan ağaç adedi ve hacmi verilmiştir. Yöreye göre ağaçların çalışma yüzdeleri belirlenmiş ve böylece her bir bölmecikten elde edilen odun hammaddesi miktarı tespit edilmiştir.



Şekil 33. Çalışma alanı optimum sürütme şeritleri ağ haritası

Tablo 16. Balıklı Orman İşletme Şefliği 2010 yılı yıllık uygulama planı, damgalanan ağaç bilgileri ve bölmeciklerdeki konumsal dağılımları

Bölmecik No	Alan (ha)	Eğim (%)	DKGH (m ³)	Damgalan Ağaç (adet)	Bütün Ağaç Hacmi (m ³ /adet)	Ağaç Dağılımı (m ²)
33-B	12,0	23	132	15	6,66	90 x 90
41-A	41,0	18	39	5	6,30	297 x 297
48-D	12,5	20	317	37	6,47	58 x 58
50-A	35,5	25	2547	312	6,11	34 x34
52-A	18,5	27	888	106	6,29	42 x42
53-A	40,0	13	2981	300	7,45	37 x 37
55-C	42,5	15	2068	248	6,25	41 x 41
63-D	26,0	30	826	102	6,07	51 X 51
65-A	19,0	21	429	53	6,12	60 x 60
65-B	31,0	19	544	67	6,11	68 x 68
66-A	20,5	27	407	55	5,55	61 x 61
66-B	11,0	33	550	60	6,88	43 x 43
66-C	12,0	33	600	64	7,03	43 x 43
66-D	33,5	31	2859	285	7,52	34 x34
75-D	12,5	30	184	21	6,66	78 x 78
78-B	13,5	33	54	7	5,80	139 x 139
80-B	31,0	28	268	34	5,95	96 x 96

Bilgisayar ortamında optimum sürütme modelinde test edilen sürütme şeritlerine ilişkin konumsal ve zamansal veriler Tablo 17’de verilmiştir. Optimum sürütme şeritlerine ilişkin elde edilen bulgular sonucunda her bölmecikteki odun hammaddesinin bölmeden çıkarılmasıyla ilgili olarak tarım traktörlerinin saatlik ve günlük verimleri tespit edilmiştir. Ayrıca planlanan optimum sürütme şeritleri ile mevcut sürütme şeritleri çevresel ve zamansal olarak karşılaştırılmıştır.

Tablo 18’de tarım traktörleri veriminin optimum sürütme şeritlerinde ve mevcut sürütme şeritlerinde LINDO 6.1 optimizasyon yazılımı ile test edilmesi ve şeritlerin çevresel yönden karşılaştırılması yer almaktadır. Tablo 18 incelendiğinde optimum sürütme şeridi planı ile hektarda 17,86 m³/ha (44829 ton/ha) toprak kaybının olması ve hektarda 2124 adet fidanın bölmeden çıkarma sonucunda zarar görmesi gibi olumsuz faktörler önlenabilmektedir. Ayrıca bilgisayar ortamında geliştirilen desenin araziye uygulanmasıyla verim %51,44 artmıştır. Optimum sürütme modelinde tarım traktörlerinin 100 m sürütme mesafesinde sefer süresi ortalama 4,25 dakika olarak hesaplanmıştır. Çalışma alanındaki tarım traktörlerinin ortalama verimliliği ise 45,19 m³/saat bulunmuştur. Ancak kablonun yüke çekilmesi ve bağlanması ile yükün traktöre çekilmesi ve çözülmesi

zaman dilimleri, sefere eklendiğinde gerçek değer belirlenmiştir. Buna göre 100 m sürütme mesafesinde sefer süresi ortalama 11,02 dakika ve tarım traktörlerinin ortalama verimliliği ise $16,33 \text{ m}^3/\text{saat}$ bulunmuştur. Böylece verim artışı gerçek durumda %20,61 olarak belirlenmiştir.

Tablo 17. Optimum sürütme modelinde test edilen bazı sürütme şeritlerine ilişkin elde edilen konumsal ve zamansal verilere ait bulgular

Bölmeçik No	Şerit Uzunluğu (m)	Toplam Tomruk (adet)	Toplam Hacmi (m^3)	Toplam Sefer	Ortalama Sefer Süresi (sn)	Toplam Sefer Süresi (sn)
50-A	242	156	114	39	486	18954
51-A	366	48	36	12	948	11376
	423	96	72	24	1096	26304
63-D	258	172	129	43	660	28380

Tablo 18. Tarım traktörleri veriminin optimum sürütme şeritlerinde ve mevcut sürütme şeritlerinde CBS ve LINDO 6.1 optimizasyon yazılımı ile test edilmesi ve şeritlerin çevresel yönden karşılaştırılması

Durum	Optimum Sürütme Modeli Deseni (Bilgisayar Ortamında Test)	Mevcut Sürütme Şeritleri
Hektardaki Fidan Zararı	4203 adet/ha	6327 adet/ha
Hektardaki Toprak Kaybı	$35,53 \text{ m}^3/\text{ha}$ (89180 ton/ha)	$53,39 \text{ m}^3/\text{ha}$ (134009 ton/ha)
Ortalama Verim (100 m)	$45,19 \text{ m}^3/\text{saat}$ $361,52 \text{ m}^3/\text{gün}$	$29,49 \text{ m}^3/\text{saat}$ $235,92 \text{ m}^3/\text{gün}$
Ortalama Verim (250 m) istenen	$18,08 \text{ m}^3/\text{saat}$ $144,64 \text{ m}^3/\text{gün}$	$11,78 \text{ m}^3/\text{saat}$ $94,24 \text{ m}^3/\text{gün}$
Ortalama Verim (297 m) işletme	$15,22 \text{ m}^3/\text{saat}$ $121,76 \text{ m}^3/\text{gün}$	$9,93 \text{ m}^3/\text{saat}$ $79,44 \text{ m}^3/\text{gün}$
Ortalama Verim (389 m) mevcut	$11,62 \text{ m}^3/\text{saat}$ $92,96 \text{ m}^3/\text{gün}$	$7,58 \text{ m}^3/\text{saat}$ $60,64 \text{ m}^3/\text{gün}$

Yapılan çalışmalarda, üretimden önce, hasat zararlarını azaltıcı transportta, etkili orman yolları planı ve en uygun sürütme şeridi ağlarının topoğrafik haritalarda bulunması

ile sürütme şeritlerinin kesimden önce iyi bir şekilde planlanması ve araziye applike edilmesi gerektiği ifade edilmiştir (Sist,1997; Adams, 1998; Anonim, 2005).

Johns vd. (1996) planlı ve plansız olarak yapılan üretim faaliyetlerini karşılaştırdıkları çalışmada, planlanmamış üretim faaliyetleri sırasında, planlananlara göre yaklaşık 2 kat daha fazla ağacın zarar gördüğünü belirlemiştir. Froehlich vd. (1981) tarafından yapılan diğer bir araştırmada, planlanmamış sürütme çalışmalarında, meşcerede kalan ağaçların yaklaşık %25-30'unun yaralandığını, planlanmış ve sürütme şeritleri üzerinde yapılan sürütme çalışmalarında ise meşcerede kalan ağaçların sadece %9'unun zarar gördüğü ifade edilmiştir. Gullison ve Hardner (1993) ise bu zararın, ana sürütme şeritlerinin mümkün olduğunca doğru olarak tasarlanması durumunda %25 oranında azaltılabileceği ortaya koymuşlardır. Sürütme şeritlerinin optimum şekilde planlamasıyla kalan meşcerede ve toprakta meydana çevre zararları belli oranlarda iyileşmesiyle ilgili olarak bahsedilen çalışmalara benzer şekilde doktora tez çalışmasında da sürütme şeritlerinin planlanmasından dolayı toprak sıkışıklığı, toprak kaybı ve fidan zararı minimuma indirme gibi benzer avantajlar elde edilmiştir.

Mikro transport planı ile zamandan tasarruf, mevcut makinelerin verimli kullanımı, kaliteli ve fazla miktarda ürün üretimi, minimum sürütme maliyeti, en uygun transport metodu ile çalışma olanağı ortaya çıkmaktadır (Acar, 1994). Buradan da anlaşılacağı üzere mikro transport planlamasının uygulamaya aktarılmasıyla ve optimum sürütme şeritleri deseni mikro transport planına dâhil edilmesiyle bahsedilen avantajlar daha da artacaktır.

3.7. Sürütme Şeritleri Ağının Optimizasyonunun Arazide Test Edilmesi

Bilgisayar ortamında planlanan optimum sürütme şeritleri ağı araziye applike edilmiştir. Bazı bölmeciklerden (50-A, 51-A ve 63-D) elde edilen sürütme şeritlerine ilişkin konumsal ve zamansal verilere ait bulgular Tablo 19'da verilmiştir.

Tablo 19 incelendiğinde aynı şartlar altında yani toplam uzunluğu aynı olan sürütme şeritleri, toplam bölmeden çıkarılacak tomruk sayısının aynı olması ve toplam tomruk hacminin aynı olması durumunda optimum sürütme modeliyle planlanan sürütme şeritleri ile mevcut durum karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda toplam 472 adet ve 355 m³ tomruğun, arazide optimum sürütme modelinde test edilmesiyle toplam 96736 sn'de (26,87 saat) ve mevcut durumda ise 133561 sn'de (37,10 saat) bölmeden çıkarıldığı belirlenmiştir. İki durum arasında 10,23 saat farkının olduğu belirlenmiştir.

Tablo 19. Arazi ortamında optimum sürütme modelinde test edilen sürütme şeritlerine ilişkin elde edilen konumsal ve zamansal verilere ait bulgular

	Bölmecik No	Şerit Uzunluğu (m)	Toplam Tomruk (adet)	Toplam Hacim (m ³)	Toplam Sefer	Ortalama Sefer Süresi (sn)	Toplam Sefer Süresi (sn)
Arazide Test	50-A	242	156	116	39	658	25662
	51-A	366	48	37	12	981	11772
		423	96	72	24	1163	27912
	63-D	258	172	130	43	730	31390
	Genel Toplam				118	3532	96736
Mevcut Durum	50-A	242	156	116	75	479	35925
	51-A	366	48	37	23	725	16675
		423	96	72	46	838	38548
	63-D	258	172	130	83	511	42413
	Genel Toplam				227	2553	133561

Acar'ın (1994) Giresun Kümbet bölgesinde yapmış olduğu çalışmada, bölmeden çıkarmada kullanılan traktörlere ilişkin genel maliyetleri, MB Trac 800 için 15,597 \$/saat, MB Trac 900 için 16,863 \$/saat ve tarım traktörleri için (Steyr 768, Massey Ferguson 165 ve 185) 11,535 \$/saat olarak tespit etmiştir. Optimum sürütme modeliyle planlanan sürütme şeritleri ile mevcut durumun değerlendirilmesi aşamasında, Acar'ın (1994) tarım traktörleri için bulmuş olduğu genel maliyet değeri olan 11,535 \$/saat kullanılmıştır. Bu değer dikkate alındığında iki durumun arasında, üç bölmecik için üretim sonunda toplam 118,00 \$ fark olduğu tespit edilmiştir. Üretim miktarı arttıkça bu fark daha fazla olacaktır. Ayrıca optimum sürütme modeli ile mevcut durum karşılaştırıldığında 100 m de 1 m³ tomruğun sürütülmesiyle seferde 0,10 \$ tasarruf sağlandığı görülmüştür. Bulunan bu değer sürütme mesafesinin uzunluğuyla ve sefer sayısı ile doğru orantılı olarak artmaktadır.

Araştırma alanında 2010 yılında üretime giren bölmeciklerde sürütme şeritleri ağının optimizasyonu zamansal ve çevresel olarak bilgisayar ortamında test edilerek gerekli sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçların arazide nasıl bir durum göstereceğini belirlemek için arazide de sürütme şeritleri ağının optimizasyonu test edilmiştir. Sürütme şeritleri

ağının optimizasyonuna ilişkin elde edilen bulgular sonucunda her bölmecikteki odun hammaddesinin bölmeden çıkarılmasıyla ilgili olarak tarım traktörlerinin saatlik ve günlük verimleri tespit edilmiştir. Planlanan optimum sürütme şeritleri deseni ile mevcut sürütme şeritleri çevresel ve zamansal olarak karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 20’de mevcut sürütme şeritleri verileriyle birlikte verilmiştir.

Tablo 20. Arazide test edilen optimum sürütme modeli deseni ile mevcut sürütme şeritlerinin verim ve çevresel yönden karşılaştırılması

Durum	Optimum Sürütme Modeli Deseni (Arazide Test)	Mevcut Sürütme Şeritleri
Hektardaki Fidan Zararı	4203 adet/ha	6327 adet/ha
Hektardaki Toprak Kaybı	35,53 m ³ /ha (89180 ton/ha)	53,39 m ³ /ha (134009 ton/ha)
Ortalama Verim (100 m)	38,99 m ³ /saat 311,92 m ³ /gün	29,49 m ³ /saat 235,92 m ³ /gün
Ortalama Verim (250 m) istenen	15,60 m ³ /saat 124,80 m ³ /gün	11,78 m ³ /saat 94,24 m ³ /gün
Ortalama Verim (297 m) işletme	13,13 m ³ /saat 105,04 m ³ /gün	9,93 m ³ /saat 79,44 m ³ /gün
Ortalama Verim (389 m) mevcut	10,02 m ³ /saat 80,16 m ³ /gün	7,58 m ³ /saat 60,64 m ³ /gün

Tablo 20 incelendiğinde; geliştirilen desenin arazide uygulanması sonucunda mevcut duruma göre verim %32,21 artmıştır. Ayrıca tarım traktörlerinin 100 m sürütme mesafesinde sefer süresi ortalama 4,62 dakika olarak hesaplanmıştır. Çalışma alanındaki tarım traktörlerinin ortalama verimliliği ise 38,99 m³/saat bulunmuştur. Ancak kablonun yüke çekilmesi ve bağlanması ile yükün traktöre çekilmesi ve çözülmesi zaman dilimleri, sefere eklendiğinde gerçek değer belirlenmiştir. Buna göre 100 m sürütme mesafesinde sefer süresi ortalama 11,38 dakika ve tarım traktörlerinin ortalama verimliliği ise 15,82 m³/saat bulunmuştur. Böylece verim artışı gerçek durumda %16,84 olarak belirlenmiştir.

Optimum sürütme şeridi planının aynı bölmeciklerde bilgisayar ortamındaki ve arazideki testleri sonucunda verim değerleri arasında 0,51 m³/saat farklılığın olduğu görülmüştür. Bunun nedeni arazideki teste kullanılan bazı tarım traktörleri gücünün azda olsa düşük olmasından dolayıdır.

3.8. Tarım Traktörleriyle Sürüterek Bölmeden Çıkarmada Ortalama Sürütme Birim Fiyatlarına İlişkin Bulgular ve Tartışılması

OGM'ce her yıl için belirlenen 2010 yılı Balıklı Orman İşletme Şefliği ortalama sürütme birim fiyatları arazi eğimine ve sürütme mesafesine göre değişmektedir. Sürütme birim fiyatları, çalışma alanı eğim grubunun aynı olmasından (%0-33) dolayı sadece sürütme mesafesine göre değişiklik göstermiştir. Buna göre üç birim fiyat belirlenmiştir. Bunlar; istenen ortalama sürütme şeridi uzunluğu 250 m' ye göre 2010 yılı ortalama birim fiyat 10,73 \$/m³, işletmedeki ortalama sürütme şeridi uzunluğu 297 m'ye göre ortalama birim fiyat 12,74 \$/m³ ve çalışma alanında ölçülen ortalama sürütme şeridi uzunluğu 389 m'ye göre ortalama birim fiyat 16.69 \$/m³ olarak belirlenmiştir (1\$=1,53 TL). Garland (1997) genellikle sürütme şeritleri uzunluklarının 350-450 m arasında olduğunu, ancak taşıma maliyetini azaltmak için ortalama sürütme şeridi uzunluğunun 250 m olabildiğini belirtmiştir. Ortalama sürütme şeridi uzunluğu 297 m'den ortalama sürütme şeridi uzunluğu olan 250 m'ye düşürüldüğünde m³ başına 2.01 \$ birim fiyat düşecek ve üretim maliyeti azalacaktır.

4. SONUÇLAR

Bu doktora çalışmasında, endüstriyel odun hammaddesinin tarım traktörleriyle sürütme şeritleri üzerinde sürütülerek bölmeden çıkarılmasında, sürütme şeridi kavramı, optimum sürütme modeli ve sürütme şeritleri ağının optimizasyonu (tasarımı ve uygulaması) ortaya konulmuştur. Bu çalışma ile:

- Ülkemizdeki ve yurt dışındaki tanımları farklı yapılan sürütme şeritleri kavramı “Ormancılık sektöründe odun hammaddesi üretiminden önce planlanan, geçki üzerindeki ağaçların temizlenmesiyle oluşan, üretim araçlarından 1 m daha geniş (2,5-3,5 m) olan ve eğimi %0-50 arasındaki arazide planlanan bir transport tesisidir” şeklinde tek bir tanımla birleştirilmiştir.
- Doktora tezinin üretim ormanları için geliştirilen, sürütme şeritleri ağının optimizasyonu yaklaşımını sağlayan teknik, ekonomik ve çevresel açıdan en uygun olanın seçiminin gerçekleştirildiği bir optimum sürütme modeli geliştirilmiştir. Mevcut hali ile planlamanın bile söz konusu olmadığı endüstriyel odun hammaddesinin uygun arazi koşullarında geliş güzel bir şekilde yükleme yerlerine sürütülerek getirilmesi yerine olumsuz çevre etkileri minimize edilmiş, teknik ve ekonomik değerlendirilmesi yapılmış sürütme şeritleri ağının optimizasyonu sağlanmıştır.
- Sürütme şeritleri ağının optimizasyonunun arazide test edilmesi sonucunda; tarım traktörlerinin 100 m sürütme mesafesinde sefer süresi ortalama 4,62 dakika ve ortalama verimlilik ise 38,99 m³/saat bulunmuştur. Böylece çalışma verimi mevcut duruma göre %32,21 artmıştır. Ancak kablonun yüke çekilmesi ve bağlaması ile yükün traktöre çekilmesi ve çözülmesi zaman dilimleri, toplam sefer zamanına eklendiğinde gerçek değer tespit edilmiştir. Buna göre 100 m sürütme mesafesinde sefer süresi ortalama 11,38 dakika ve tarım traktörlerinin ortalama verimliliği ise 15,82 m³/saat olarak belirlenmiştir. Böylece verim artışı gerçek durumda %16,84 olarak bulunmuştur. Ayrıca 1 m³ tomruğun 100 m sürütme mesafesinde sefer süresi ortalama 3,79 dakika olarak belirlenmiştir.
- Optimum sürütme modeliyle planlanan sürütme şeritleri ile mevcut durum karşılaştırıldığında 100 m de 1 m³ tomruğun sürütülmesiyle seferde 0,10 \$ tasarruf

sağlandığı görülmüştür. Bulunan bu değer sürütme mesafesinin uzunluğuyla ve sefer sayısı ile doğru orantılı olarak artmaktadır.

- Mevcut durumda ortalama sürütme şeritleri yoğunluğu 281 m/ha iken geliştirilen planlama sayesinde aynı işletmeye açma oranıyla ortalama sürütme şeritleri yoğunluğu 187 m/ha'ya düşmüştür. Böylece gereksiz alan işgali engellenmiştir.
- Sürütme şeritleri ağının optimizasyonu yaklaşımıyla üretim alanında, hektarda 236 m² alanın toprak sıkışıklığına maruz kalması, hektarda 17,86 m³ (44829 ton) toprak kaybının olması ve hektarda 2124 adet fidanın bölmeden çıkarma sonucunda zarar görmesi gibi olumsuz faktörler önlenmiştir.
- Endüstriyel odun hammaddesinin tarım traktörleriyle sürütme şeritleri üzerinden sürütülerek bölmeden çıkarılmasında sürütmeyi etkileyen faktörlerin model katsayıları ve optimum değerleri belirlenmiştir. Modelde sürütme mesafesi, traktör gücü (3. grup=72-82 BG), yükteki parça sayısı (4 adet), tomruk hacmi (3 m³), sürütme şeridi zemin sınıfı (4. zemin sınıfı=humuslu toprak), zemin durumu (1. Zemin durumu=kaygan olmayan), 0-5 cm derinliğindeki toprak sıkışıklığı (179 psi=bitki kök gelişimi için iyi olan toprak sıkışıklığı değeri) ve arazi eğimi (2.grup=%12-22) faktörleri dikkate alınmıştır. Optimum sürütme modelini başka bir ifadeyle traktörün yüklü gidiş zamanının minimizasyonunu ifade eden model denklemi aşağıdaki şekli ile belirlenmiştir.

$$Z_{\min} = -x_{100} - 1.046ttg + 0.711ps + 2.113th + 4.138zd - 1.490zs + 1.604eg + 10.894ts05 + 0.385sm$$

- Tarım traktörlerinin sürütme şeritleri üzerinde boş dönüşünü etkileyen faktörler ve optimum değerleri belirlenmiştir. Bu faktörler; sürütme mesafesi, traktör gücü (3. grup=72-82 BG), sürütme şeridi zemin sınıfı (4. zemin sınıfı=humuslu toprak), 0-5 cm derinliğindeki toprak sıkışıklığı (179 psi=bitki kök gelişimi için iyi olan toprak sıkışıklığı değeri) ve arazi eğimidir (2.grup= %12-22).
- Oluşturulan matematiksel model, çok faktörlü ve karmaşık transport problemlerinin çözümünde başarı ile uygulanmakta olan ve en iyi çözümü ortaya koyabilen DP modeli ile optimum değişken değerlerine ulaşılmıştır.
- Optimum sürütme modeli beş adımda tamamlanmış ve hesaplama süresi kısa olmuştur. Bu anlamda model amacına uygunluk taşımaktadır. Gerek deney tasarımından elde edilen sonuçlar ve gerekse arazideki test sonuçları modelin başarılı olduğunu göstermiştir.

- Optimum sürütme şeritleri planlamasının hazırlık aşamasında konuma bağlı analizlerin yapılmasıyla CBS'nin etkin kullanımı sağlanmıştır. Çalışma alanı optimum konumsal sınıflara ayrılmış, sürütme için optimum konumlar belirlenmiştir.
- Geliştirilen optimum sürütme modelinde, teknik, ekonomik ve çevresel açıdan adım adım ilerleme ile iyileştirme stratejisi uygulanmış ve sürütme şeritleri ağının optimizasyonu sağlanmıştır. Ayrıca bölmecik bazında sürütme şeritleri planlanmıştır.
- Radyal, paralel ve geliştirilen desenin 100 m'deki saatlik verimleri incelendiğinde geliştirilen desenin en verimli olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca üç desen teknik olarak değerlendirildiğinde ise geliştirilen desenin araziye yayılması ve orman yollarına en kısa şekilde bağlanması, sefer sonucunda harcanan zamanın düşük olmasını ve böylece kısa zamanda daha çok odun hammaddesinin bölmeden çıkarılmasını sağladığı belirlenmiştir.
- Endüstriyel odun hammaddesinin bölmeden çıkarılmasında optimum sürütme şeritleri deseninin seçilmesinde kurgulanan model çalışabilmiş ve test alanında sürütme şeritleri ağının optimizasyonuna konu bölmeler optimum şekilde planlanmıştır.
- Araştırma alanındaki sürütme şeritlerinde ve doğal alanda toprak sıkışıklığını ortaya koymak için yapılan ölçümler sonucunda; araştırma alanı 0-5 cm ve 5-10 cm derinlikte incelenen toprak sıkışıklığının sürütme şeridinden ölçülen örnek alanlardaki değer, kontrol noktalarından ölçülen değere göre yaklaşık 3 kat daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca sürütme şeridinden ölçülen 0-5 cm ve 5-10 cm derinlikteki örneklerin ortalama toprak sıkışıklığı değerleri karşılaştırıldığında 5-10 cm derinliğindeki sıkışıklık değeri 0-5 cm toprak derinliğine göre yaklaşık 1,5 kat daha fazla bulunmuştur. Kontrol noktalarında ise 5-10 cm derinliğindeki sıkışıklık değeri yine benzer şekilde yaklaşık 1,5 kat daha fazla bulunmuştur. Bu sonuçlar sürütme sonrası 5-10 cm toprak derinliğinin önemli ölçüde sıkıştığını, 0-5 cm toprak derinliğinin de ise bu sıkışmanın biraz daha az olduğunu göstermektedir. Buradan da anlaşılacağı üzere, üretim alanında gereğinden fazla sürütme şeritlerinin bulunması meşcerede toprak sıkışıklığının artmasına neden olmaktadır.
- Toprak kaybı ve toprak sıkışıklığı gibi çevresel göstergeler optimum sürütme modelinde (matematiksel model) minimum durumda yer alarak, teknik ve ekonomik yönden sağlanan optimum durumla beraber çevresel durumunda optimizasyonu sağlanmıştır.

- Endüstriyel odun hammaddesinin tarım traktörleriyle sürütme şeritleri üzerinden sürütülmesi sonucunda sürütme şeritlerinde oluşan toprak kayıplarının minimuma indirilmesi için optimum toprak kaybı modeli oluşturulmuş ve toprak kaybını etkileyen faktörler belirlenmiştir. Bu faktörler; ÖA'da ölçülen 0-5 cm derinlikteki toprak sıkışıklığı (179 psi), sürütme mesafesi (sürütme şeridi uzunluğu), arazi eğimi (%12) ve sürütme şeridi genişliğidir (2,5 m).
- Oluşturulan optimum toprak sıkışıklığı modeli ile endüstriyel odun hammaddesinin tarım traktörleriyle sürütme şeritleri üzerinden sürütülmesi sonucunda, sürütme şeritlerinde oluşan toprak sıkışıklığı minimuma indirilmiş ve toprak sıkışıklığını etkileyen faktörler belirlenmiştir. Bu faktörler; ÖA'da ölçülen 5-10 cm derinlikteki toprak sıkışıklığı (213 psi) ve arazi eğimidir (%33).
- Mevcut durumda sürütme şeritlerinden alınan örnek alanlara ve kontrol noktalarına ilişkin elde edilen sonuçlara göre; ortalama sürütme şeridi genişliği 2,43 m, ortalama sürütme şeridi uzunluğu 389 m, kontrol noktası m²'deki ortalama fidan adedi 9 ve 100 m'deki ortalama toprak kaybı 19 m³ olarak tespit edilmiştir.
- Çalışmanın yürütüldüğü orman alanlarında ortalama eğim %0-33 arasında ve verimli ormanlar genelde 1300-1500 m yükseltiler arasında değişmektedir. Araştırma alanında karayolu ve köy yolu bulunmamakta, gerçek yol yoğunluğu değeri 18,31 m/ha (%0,92) olup bu değere göre hesaplanan ortalama yol aralığı değeri ise 546,15 m olarak belirlenmiştir.

5. ÖNERİLER

Ülkemizde orman yolları ile ilgili yapılan planlama yaklaşımı iyi duruma gelmiş ancak orman yollarını tamamlayan sürütme şeritleriyle ilgili bir planlama yaklaşımı oluşturulmamıştır. Ülkemiz ormanları için uygun koşullarda (yamaç eğimi %0-50) üretimden önce sürütme şeritleri planlanmasına geçilmelidir. Mevcut durumda endüstriyel odun hammaddesinin tarım traktörleriyle sürütülerek bölmeden çıkarılmasında teknik, ekonomik ve çevresel yönlerden oluşan dezavantajlar, sürütme şeritleri ağının optimizasyonu yaklaşımıyla en iyi duruma getirilmesi bu yaklaşımının avantajlarıdır.

Yapılan bu çalışmanın değerlendirilmesi sonucunda aşağıda bazı önerilerde bulunulmuştur:

- Bu çalışmada sürütme şeritlerinin kavramsal çerçevesi oluşturulmuş farklı tanımlar değerlendirilerek tek bir tanımda birleştirilmiştir. Böylece yönetmeliklerde ve yeni yapılacak çalışmalarda sürütme şeridi kavramının kullanılması ile kavram karışıklığı önlenebilecektir.
- Sürütme şeritleri ağının optimizasyonu yaklaşımının uygulamaya aktarılması halinde OGM sürütme giderlerinin önemli düzeyde azalacağı düşünülmektedir.
- Endüstriyel odun hammaddesi üretiminin yoğun olarak devam ettiği ve sürütme şeritlerinin planlanmasının da uygun olduğu bölgelerde toplam net kârı optimize eden sürütme şeritleri güzergâhlarının DP ile tespit edilmesi endüstriyel odun hammaddesi sürütme işinde önemli oranda tasarruf yapılmasını sağlayacaktır.
- Bu çalışmada tarım traktörleriyle bölmeden çıkarmada bazı çevresel zararlar (toprak sıkışıklığı, toprak kaybı, meşceredeki fidan zararları) tespit edilmiştir. Diğer çevresel zararların tespiti için daha ayrıntılı çalışmalar yapılmalıdır. Ayrıca çevresel zararlara ilişkin göstergeler belirlenmeli ve maliyeti hesaplanmalıdır.
- Mikro transport planının teknik, ekonomik ve çevresel yönlerden birçok avantajları bulunmaktadır. Mikro transport planlaması uygulamaya aktarılmalı ve optimum sürütme şeritleri ağı mikro transport planına dâhil edilmelidir.
- Ormancılıkta taşıma zamanı, ürünlerin üretildikleri yılda, ekonomik değer kaybına uğramadan ve işletmenin giderlerini karşılayacak şekilde pazarlanabilmesi için son derece önemlidir. Bu nedenle üretim işlerinde taşıma programları son derece sağlıklı ve gerçek zaman değerleri göz önüne alınarak hazırlanmalıdır. Bu çalışmada belirlenen

endüstriyel odun hammaddesinin bölmeden çıkarılmasında, seferdeki toplam sürütme süresi iş planlarında dikkate alınmalıdır.

- CBS yazılımıyla birlikte, yöneylem araştırma tekniklerinin yer aldığı programların yazılımı, donanımı ve kullanımı orman işletmelerinde uygulamaya sokulmalıdır. CBS iyi bir veri tabanı aracı olarak her zaman kullanılmalıdır.
- Yöneylem araştırma tekniklerinin üretim çalışmalarındaki önemi ilgili birimlere anlatılmalı, bu konular hakkında uzmanlaşmış personel yetiştirilmesi teşvik edilmelidir.
- Yapılacak çalışmalarda, sürütme şeritleri ağının optimizasyonu ile ilgili mevcut sezgisel ve meta-sezgisel algoritmalar ile DP yönteminin etkinliği karşılaştırılabilir.
- Bazı bölgelerde halen motor gücü düşük ve eski model tarım traktörleri kullanılmaktadır. Yüksek motor gücüne sahip tarım traktörlerinin bütün bölgelerde ormancılık üretimde kullanılması verimi artıracaktır.
- Bu çalışmada sürütülen endüstriyel odun hammaddesinde meydana gelen kayıpların optimizasyonu belirlenmemiştir. Yeni yapılacak çalışmalarda bu durum dikkate alınmalıdır.
- Silvikültür çalışmalarında, oldukça geniş alanları kaplayan genç meşcerelerde gerekli bakımların en etkin ve eksiksiz olarak zamanında yapılabilmesini sağlayan, alt yapılardan biri de bakım patikalarıdır. Bunların sürütme şeritleri ağının optimizasyonu yaklaşımı gibi modern ormancılık biliminin gerektirdiği biçimde planlaması gerçekleştirilmelidir.
- Endüstriyel odun hammaddesinin bölmeden çıkarılmasında, sürütücü operatörünün iş eğitimi alması ile üretim sonrası oluşan olumsuzlukların etkileri azaltılabilir ve iş verimi de artabilir.

6. KAYNAKLAR

- Abegg, B., 1970. Holzricken mit Mitsubishi Eidg.-Anstalt für das Fortliche Versuchswesen, Birmensdorf ZH, Bericht , 50.
- Acar, H.H., 1994. Ormancılıkta Transport Planları ve Dağlık Arazide Orman Transport Planlarının Oluşturulması, Yayınlanmamış Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, 150 s., Trabzon.
- Acar, H.H., 1995. Artvin Yöresinde MB Trac 900 Özel Orman Traktörü ile Orman Ürünlerinin Bölmeden Çıkarılması Üzerine İncelemeler. Tr. J. Of Agriculture and Forestry, 19, 45-52.
- Acar, H.H., 1997. Dağlık Arazide Orman Traktörleri ile Bölmeden Çıkarma Çalışmalarının İncelenmesi. Tr. J. Of Agriculture and Forestry, 21, 299-306.
- Acar, H.H., 2000. Dağlık Arazide Tekray (Monorail) Tekniği, K.T.Ü.Orman Fakültesi Seminerleri, Yayın No:6, 69-75s., Trabzon.
- Acar, H. H., Gül, A. U. ve Gümüş, S. 2000. Bölmeden Çıkarma Çalışmalarında Toplam Maliyetin Minimizasyonu için Doğrusal Programlama Kullanımı Bir Araştırma. TÜBİTAK Doğa Dergisi, 24, 383-391.
- Acar, H.H. ve Eker, M., 2001.Ormancılıkta Karar Verme Süreçlerinde Orman Yol ve Üretim Planlarının Değerlendirilmesi, Kafkas Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 1,1, 67-75, Artvin.
- Acar, H.H., 2004. Ormancılıkta Transport, Lisans Ders Notları, K.T.Ü. Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Ders Teksirleri, 367 s., Trabzon.
- Acar,H.H., 2004. Ormandan İnsanlığın Hizmetine; İnce Çaplı Odunların Plastik Oluklar İçinde Önce Kayarak Sonra Uçarak Orman Yoluna Doğru Hızlı Seyahatleri, Orman Mühendisliği Dergisi, 41, 10-11-12, 22-24, Ankara.
- Acar, H.H., 2005. Ormancılıkta Yol ve Transport Çalışmalarında Olumsuz Çevresel Etkilerin Azaltılması İçin İki Alternatif Çözüm. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı AB Sürecinde Çevre ve Orman, 1. Çevre ve Orman Şurası Tebliğler, 1123, Antalya.
- Acar, H. H., Ünver, S. ve Kaplan, E., 2008. Dağlık Arazide Tomrukların Plastik Oluklar İçerisinde Kontrollü Olarak Taşınması (TOKK Yöntemi), Orman Mühendisleri Odası Dergisi, 45, 13-14-15, 31-34.
- Adams, P.W., 1998. Soil Compaction on Woodland Properties. The Woodland Workbook Forest Protection, Oregon, ABD.
- Akay, A.E., Erdas, O. ve Sessions, J. 2004. Determining Productivity of Mechanized Harvesting Machines, Journal of Applied Sciences, 4, 100-105.

- Akay, A. E., Erdaş, O., Yüksel, A., Bozali, N., Gündoğan, R. ve Öztürk, T., 2007. Bilgisayar Destekli Orman Yolu Planlama Modeli, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, Ekim-Kasım, Trabzon, Bildiriler Kitabı, 1, 611-619.
- Akay, A. E., Yenilmez, N. ve Şakar, D., 2009. CBS Tabanlı Karar Destekleme Sistemi ile Yangın Sahasına En Kısa Sürede Ulaşımı Sağlayan Optimum Güzergâhın Belirlenmesi, I.Orman Yangınlarıyla Mücadele Sempozyumu 7-10 Ocak, Antalya, Bildiriler Kitabı.
- Akgül, A., 1998. Sistem Tasarımı ve Optimizasyon, Tisamat Basım Sanayi, Ankara, 240 s.
- Aktaş, R., Doğanay, M. ve Yıldız, B. 2003. Mali Başarısızlığın Öngörülmesi: İstatistiksel Yöntemler ve Yapay Sinir Ağları Karşılaştırması. Ankara Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi Dergisi, 58, 4, 105-117.
- Akın, Ö. Dinamik Programlama. <http://www.ozyazilim.com/ozgur/marmara/karar/dinamikprogramlama.htm>
- Alabaş, Ç. ve Dengiz, B. 2002. Tabu Arama ile Yapay Sinir Ağlarının Eğitimi. Yöneylem Araştırması Dergisi, 13, 14, 1-12.
- Altuğ, O. 1989. Maliyet Muhasebesi, M.Ü. Yayınları, No. 434-667, İstanbul.
- Agura, K. 2005. Tabu Search Optimization of Horizontal and Vertical Alignments of Forest Roads. J For Res, 10, 275-284.
- Anonim, 1990. Home Economics, Field Guide to Best Management Practices for Timber Harvesting in Kentucky, Cooperative Extension Service University of Kentucky College of Agriculture Agriculture.
- Anonim, 1999. A Primer for Timber Harvesting. Cooperative College of Agriculture and Home Economics, Washington State University, Pulman, Washington, ABD.
- Anonim, 2001. Bolu Orman Bölge Müdürlüğü, Gölyaka Orman İşletme Müdürlüğü, Balıklı Orman İşletme Şefliği Amenajman Planı.
- Anonim, 2002. Arkansas Forestry Best Management Practices For Water Quality Protection. Arkansas Forestry Commission, March 2002, ABD.
- Anonim, 2005. Northeast Implement Corp. Farmi Tree Harvesting Method. 6p.
- Ares, A., Terry, T.A., Miller, R.E., Anderson, H.W. ve Flaming, B.L., 2005. Ground-Based Forest Harvesting Effects on Soil Physical Properties and Douglas-Fir Growth, Soil Science Society of America Journal, 69, 1822-1832.
- Arocena, J.M., 2000. Cations in Solution from Forest Soils Subjected to Forest Floor Removal and Compaction Treatments. Forest Ecology and Management 133, 71-80.

- Aronoff, S., 1989. Geographic Information Systems, A Management Perspectives, WDL Publications, Ottawa, Ontario, Canada
- Ayktut, T., 1972. Bolu Mıntıkasında Yapılan Araştırmalara Göre Tomrukların Kamyonlara Yklenmesinde eşitli İş Safhalarına Ait Standart Sreler, İ.. Orman Fakültesi, İstanbul, Seri A, 22, 1.
- Ayktut, T., 1984. Orman rnleri Taşımacılığında Araç ve Teknikler, İ.. Orman Fakültesi, İstanbul Yayınları No. 3246/370, 100.
- Bakır, M.A. ve Altunkaynak,B., 2003. Tamsayılı Programlama Teori, Modeller ve Algoritmalar, Nobel Yayın.
- Balcı, A.N., 1996. Toprak Koruması Ders Kitabı, İ.. Orman Fakültesi Yayını, 439, 490, İstanbul.
- Balcı, N., 2000. Toprak Koruması, İ.. Orman Fakültesi Yayın No. 947/439, 490, İstanbul.
- Ballard, T.M., 2000. Impacts of Forest Management on Northern Forest Soils, Forest Ecology and Management, 133, 37-42.
- 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 yayın No: 218, Fakülte yayın No: 36, KT Matbaası. Trabzon. 38 s.
- Bayoğlu, S., 1972. Türkiye’de Orman Nakliyatı ve Geliştirilmesi İmkanları zerine Bir Etüd, İ.. Orman Fakültesi, İstanbul, 1747/185, 73.
- Bayoğlu, S., Acar, H.H. ve Őentürk, N., 1993. Dağlık Arazide Bölmeden ıkarma Araçlarında Maliyet Analizi ve Minimum alışma Sresinin Araştırılması, İ.. Orman Fakültesi Dergisi, B, 43, 1-2, 45-56 s.
- Bayoğlu, S., 1996. Orman Nakliyatının Planlanması, İ.. Yayın No:3941, İ.. Fen Bilimleri Enstitüsü Yayın No: 8, ISBN 975-404-438-4, İstanbul, 169 s.
- Bayoğlu, S., 1997. Orman Transport Tesisleri ve Taşıtları (Orman Yolları) .İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İ.. Yayın No. 3969, O.F. Yayın No. 434, İstanbul.
- Beasley, D., 1993. An Overview of Genetic Algorithms; Part 1, Fundamentals. Universty Computing 15: 58-69.
- Beasley, D., 2003. “Linear Programming-Formultion” OR-Notes, <http://www.ms.ic.ac.uk/jeb/or/lp.html> 06.06.2003

- Bengtsson, J., Lundkvist, H. Saetre, P., Sohlenius, B. ve Solbreck, B., 1998. Effects of Organic Matter Removal on the Soil Food Web: Forestry Practices Meet Ecological Theory. *Applied Soil Ecology* 9, 137-143.
- Bettinger, P. ve Kellogg, L.D., 1993. Residual Stand Damage from Cut-to-Length Thinning of Second-Growth Timber in Cascade Range of Western Oregon, *Forest Product Journal*, 43, 11, 12, 59-64.
- Blakeney, K.J., 1992. Environmentally Friendly Helicopter Logging in Papua New Guinea.
- Bozic, T., 2003. Impact of Forest Harvesting, Alberta Government, Agriculture, Food and Rural Development, November 28.
- Brais, S., 2001. Persistence of Soil Compaction and Effects on Seedling Growth in Northwestern Quebec, *Soil Science Society of America Journal*, 65, 1263-1271.
- Brumelle, S., Granot, D., Halme, M. and Vertinsky, I. 1998. A Tabu Search Algorithm for Finding Good Forest Harvest Schedules Satisfying Green-Up Constraints. *European Journal of Operational Research*, 106: 408-424.
- Buckley, D.S., Crow, T.R., Nauertz, E.A. and Schulz, K.E., 2003. Influence of Skid Trails and Haul Roads on Understory Plant Richness and Composition in Managed Forest Landscapes in Upper Michigan, USA. *Forest Ecology and Management*, 175, 509-20.
- Burger, D.H. and Jamnick, M.S., 1991. Analysisi of Wood Procurement Strategies: Supplying Multiple Mills from Multiple Sources, *Proceedings of the 1991 Symposium on Systems Analysis in Forest Resurces*, Ed. By Buford, M.A., March 3-6 Charleston, 17-23.
- 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, Aspen, Colorado.
- Chung, W., 2003. Optimization of Cable Logging Layout Using a Heuristic Algorithm for Network Programming, PhD Thesis, Oregon State University, 223pp.
- Collier, K.J., Baillie, B., Browman, E., Halliday, J., Quinn, J. ve Smith, B., 1997. Is Wood in Streams a Damned Nuisance., *Water and Atmosphere*, 5, 3, 17-21.
- Collier, K.J. ve Browman, E., 2003. Role of Wood in Pumice-Bed Streams I: Impacts of Post-Harvest Management on Water Quality, Habitat and Benthic Invertebrates, *Forest Ecology and Management*, 177, 243-259.
- Croke, J., Hairsine, P. ve Fogarty, P., 2001. Soil Recovery from Track Construction and Harvesting Changes in Surface Infiltration, Erosion and Delivery rates with Time, *Forest Ecology and management*, 143, 3-12.

- Çalışkan, E., 2008. Orman Yol Ağı Üzerinde Odun Hammaddesi Taşımalarının Tavlama Benzetimi Yöntemi ile Optimizasyonu, Yayınlanmamış Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 135 s.
- Demir, M., 2002. Bolu Mıntıkasında Orman Yol Şebeke ve Nakliyat Planlarının Bilgisayar Ortamında Düzenlemesi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Demir, M., Makineci, E. ve Yılmaz, E., 2007a. Harvesting Impacts on Herbaceous Understory, Forest Floor and Top Soil Properties on Skid Road in a Beech (*Fagus orientalis* Lipsky) Stand, Journal of Environmental Biology, 28, 2, 427-432.
- Demir, M., Makineci, E. ve Yılmaz, E., 2007b. Investigation of Timber Harvesting Impacts on Herbaceous Cover, Forest Floor and Surface Soil Properties on Skidroad in an Oak (*Quercus petrea* L.) Stand, Building and Environment, 42, 3, 1194-1199.
- Devlet Planlama Teşkilatı (DTP), 2007. Dokuzuncu Beş Yıllık Kalkınma Planı Ormancılık Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Ankara, 10 s.
- Devis, C.J., Johnson, K.N., Bettinger, P.S. and Howard, T.E., 2001. Forest Management-To Sustain Ecological, Economic and Social Values, Mc Graw Hill, 4th Edition, USA, 791 p.
- Davies, P. ve Neilson, M., 1993. The Effect of Steep Slope Logging on FineSediment Infiltration into the Beds of Ephemeral and Perennial Streams of the Dazzler Range, J. Hydrol. 150, 481-505.
- Dykstra, D.P., 1984, "Mathematical Programming for Natural ResourceMangement", McGraw Hill Book Company, New York, 318 p.
- Dykstra, D.P. ve Heinrich, R., 1996. FAO Model Code of Forest Harvesting Practice, FAO Publacitions, Rome, 85 p.
- Eglese,R.W.,1990. "Simulated Annealing: A Tool for Operational Research", European Journal of Operational Research, 34, 600-612.
- Egan, A. F., 2003. Residual Stand Damage after Shovel Logging and Conventional Ground Skidding in an Appalachian Hardwood Stand, Forest Product Journal, 49, 6, 88-92.
- 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, Istanbul, Turkey.
- Eker, M., 2004. Ormancılıkta Odun hammaddesi Üretiminde Yıllık Operasyon Planlama Modelinin Geliştirilmesi, KTU Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon, 239 s.

- Eker, M. ve Acar, H.H., 2006. Ormancılıkta Odun Hammaddesi Üretiminde Yıllık Operasyonel Planlama Modelinin Geliştirilmesi, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 10, 2, Isparta, 235-248.
- Erdaş, O.,1993. Bölmeden Çıkarma Sırasında Traktör Kullanımının Orman Toprağının Mekanik Özelliklerine Etkisi ve Bunun Biyolojik Sonuçları. TÜBİTAK Doğa Tarım ve Ormancılık Dergisi, 17, 1.
- Erdaş, O. ve Acar, H.H., 1993. Türkiye’de Odun Hammaddesi Üretimi Özellikle Kesim, Bölmeden Çıkarma ve Taşıma Sırasında Karşılaşılan Güçlükler ve Bunların Orman Ürünleri Endüstrisi Üzerine Etkileri, II. Ulusal Orman Ürünleri Endüstrisi Kongresi, Trabzon.
- Erdaş, O., 1997. “Orman Yolları – Cilt I”, KTÜ Orman Fakültesi Yayınları, 187, 25, Trabzon, 390 s.
- Erdaş O. ve Gümüş S., 2000. Orman Yol Geçkilerinin Belirlenmesinde Coğrafi Bilgi Sistemlerinden Yararlanma İmkanları Üzerine Bir Araştırma, Turk J. Agric. For. 24,611-619.
- Erdaş, O., Yılmaz, H., Akay A. E. ve Gümüş S., 2007. Ormancılıkta Üretim İşlerinin CBS Teknikleri Yardımı İle Planlanması, Proceedings of International Symposium Bottlenecks, Solutions. And Priorities in the Context of Functions of Forest Resource, October 2007, İstanbul, 322-329 p.
- Erdaş O., 2008. Transport Tekniği. K.S.Ü. Rektörlüğü Yayın, 130, Ders Kitabı, 20, Kahramanmaraş.
- Epstein, R., Morales, R., Seron, J. and Weintraub, A. 1999. Use of OR Systems in the Chilean Forest Industries, Interfaces, 1, 29, 7–29.
- Epstein, R., Weintraub, A., Sapunar, P., Nieto, E., Sessions J., Bustamante, F. and Musante, H. 2006. A Combinatorial Heuristic Approach for Solving Real-Size Machinery Location and Road Design Problems in Forestry Planning. Operations Research, 54, 6, 1017–1027.
- FAO, 1982. Basic Technology in Forest Operations, FAO Forest Paper, Rome, 33.
- FAO, 1998a. Guidelines for Implementation of Forests, 1. The Production of Wood, FAO Forestry Paper, Rome, 135.
- FAO, 1998b. Forest Harvesting Operations in Papua New Guinea the Png Logging Code of Practice, Forest Harvesting Case-Studies, 15, Rome.
- Flatten, L.B., 1991. The Use of Small Helicopter for Commercial Thinning in Step Mountainous Terrain, M.F. Paper, Oregon State University, Corvallis, 51 p.

- Froehlich, H.A., Aulerich, D.E. ve Curtis, R., 1981. Designing Skid Trail Systems to Reduce Soil Impacts from Tractive Logging Machines, Research Paper 44, Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis, Or, 15 s.
- Froehlich, H.A., Milles, D.W.R. ve Robbins, R.W., 1986. Soil Bulk Density Recovery on Compacted Skid Trails in Central Idaho, Soil Sci. Soc. Am. J., 49, 1015-1017.
- Garland, J.J., 1997. Designated Skid Trails Minimize Soil Compaction. The Woodland Workbook Logging, Oregon, ABD.
- Geray, U., 1978.Ormancılıkta Gerçek Tarife Bedeli ve Bunun İşletmenin Entansitesini Tayin Hususunda Bir Kriter Olarak Kullanılması Üzerine Araştırmalar, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları, İstanbul, 2409, 225, 157 s.
- Gilliam, F.S.,2002. Effects of Harvesting on Herbaceous Layer Diversity of a Central Appalachian Hardwood Forest in West Virginia, USA. Forest Ecology and Management, 155, 33–43.
- Görcelioğlu, E., 2004. Orman Yolları-Erozyon İlişkileri, İ.Ü. Orman Fakültesi, İstanbul, 476.
- Grammel, R. ve Fenner, P., 1997. Effects of Logging on Forest Soil Physical Properties in Eastern Amazonia, Forest Harvesting Bulletin, 7, 1.
- Greulich, F. R., Hanley D.P., McNeel J. F. and Baumgartner D., 1996. A Primer for Timber Harvesting, Cooperative Extension, College of Agriculture and Home Economics Washington State University Pullman, Washington, 14-15 p.
- Greulich, F. E. 1991. Optimal Landing Location on Flat, Uniform Terrain. Can. J. For. Res., 21, 573-584.
- Godefroid, S. ve Koedam, N., 2004. The Impact of Forest Paths upon Adjacent Vegetation: Effects of the Paths Surfacing Material on the Species Compaction and Soil Compaction. Biological Conservation, 119, 405-419.
- Gomez, A., Powers, R.F., Singer, M.J. ve Horwath, W.R., 2002. Soil Compaction Effects on Growth of Young Ponderosa Pine Following Litter Removal in California's Sierra Nevada, Soil Sci. Soc. Am.J., 66, 1334-1343.
- Guariguata, M.R. ve Pinard, M.A.,1998.Ecological Knowledge of Regeneration from seed in Neotropicl Forest Trees: Implications for Natural Forest Management, Forest Ecology and Mangement, 112, 87-99.
- Gullison, R.E. ve Hardner, J.J., 1993. The Effect of Road Design and Harvesting Intensity on Forest Damage Caused by Selective Logging, Empirical Results and A Simulation Model From The Boaque Chimenes, Bolivia, For. Ecol. Manage., 59, 1-14.

- Güden, H., Vakvak, B., Özkan, B., E., Altıparmak, F., ve Dengiz, B. 2001. Genel Amaçlı Arama Algoritmaları ile Benzetim Eniyilemesi: En İyi Kanban Sayısının Bulunması, *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 16, 1, 2-15.
- Gül, A.U., Acar, H.H. ve Topalak, Ö., 2000. Ormancılıkta Üretim Çalışmalarında Mekanizasyon İhtiyacının Doğrusal Programlama Yoluyla Belirlenmesi, *TÜBİTAK Doğa Dergisi*, 23, 375-382.
- Gümüş, S., 2003. Üretim, Milli Park ve Yangına Hassas Alanlarda Orman Yol Ağının Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Planlanması, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Trabzon, 161 s.
- Gümüş, S., 2008. Orman Ürünleri Taşımacılığında Eniyileme Yöntemleri, Artvin Çoruh Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi, 9, 1-2, 24-32.
- Gürtan, H., 1975. Dağlık ve Sarp Arazili Ormanlarda Kesim ve Bölmeden Çıkarma İşlerinde Uğranılan Kayıpların Saptanması ve Bu İşlerin Rasyonalizasyonu Üzerine Araştırmalar, TÜBİTAK Yayın No. 250, TOAG Seri NO. 38, Ankara.
- Hafner, F., 1964. *Der Holztransport Österreichische Agrarverlag, Wien, Austria.*
- Haldenbilen, S. ve Ceylan, H. 2005. Transport Demand Management in Turkey: A Genetic Algorithm Approach. *Transportation Planning and Technology*, 28, 6, 403-426.
- Heninger, R., Scott, W., Dobkowski, A., Miller, R., Anderson, H. ve Duke, S., 2002. Soil Disturbance and 10-Year Growth Response of Coast Douglas-Fir on Non-Tilled and Tilled Skid Trails in the Oregon Cascades, *Can. J. For. Res.*, 32, 233-246.
- Holota, R., 2005. Tree Damage in Harvesting and Skidding Wood in Mature Beech Stands, Ecological, Ergonomic and Economical Optization of Forest Utilization in Sustainable Forest Management International Scientific Conference, Krakow, Poland, 167-172.
- Horn, R., Vossbrink, J., Becker, S., 2004. Modern Forestry Vehicles and Their Impacts on Soil Physical Properties. *Soil & Tillage Research*, 74, 207-19.
- Huang, J., Lacey, S.T. ve Ryan, P.J., 1996. Impact of Forest Harvesting on the Hydraulic Properties of Surface Soil, *Soil Science*, 161, 79-86
- Ilstedt, U., Malmer, A., Nordgren, A., Liao, P., 2004. Soil Rehabilitation Following Tractor Logging: Early Results on Amendments and Tilling in a Second Rotation Acacia Mangium Plantation in Sabah, Malaysia. *Forest Ecology and Management*, 194, 215-22.
- Jacobson, S., Kukkola, M., Malkönen, E., Tveite, B., 2000. Impact of Whole-Tree Harvesting and Compensatory Fertilization on Growth of Coniferous Thinning Stands, *Forest Ecology and Management*, 129, 41-51.

- Johns, J.S., Barreto, P. ve Uhl, C., 1996. Logging Damage During Planned and Unplanned Logging Operations in the Eastern Amazon, *Forest Ecology and Management*, 89, 59-77.
- Johnson, N. Ve Cabarle, B., 1993. Surviving the Cut, *Natural Forest Management in the Humid Tropics*, World Resources Institute.
- Johanson, O. 1997. Optimal Road-Pricing: Simulaneous Treatment of Time Loses, Increased Fuel Consumption, and Emissions. *Trampn Rex-D*, 2, 2, 77-87.
- Johnston, F.M. ve Johnston, S.W., 2004. Impacts of Road Disturbance on Soil Properties and Exotic Plant Occurrence in Subalpine Areas of Australian Alps. *Arctic Antarctic and Alpine Research*, 36, 2, 201-7.
- Jusoff, K., 1992. Site Disturbance in Relation to Logging Season and Soil Texture, in: *Pro. Harvesting and Silviculture for Sustainable Forest in the Tropics*, *For. Sci.*, 43, 234-251.
- Kaplan, E., 2007. Dünya Orman Varlığı ve Odun Tüketimi, *Ahşap Dergisi*, 34.
- Kara, Ö. ve Bolat, İ., 2008. Bartın İli Orman ve Tarım Topraklarının Mikrobiyal Biyokütle Karbon (Cmic) ve Azot (Nmic) İçerikleri, *Ekoloji Dergisi*, 18, 69, 32-40.
- Karaca, S. 2006. Yapay Zeka. <http://www.yapay-zeka.org>.
- Karaman, A. 1997. Doğu Karadeniz Yöresinde Farklı Çalışma Koşullarında Kesim ve Sürütme İşlerinde İşgüçlüğü Kriterlerinin Araştırılması ve Verim Üzerine Etkisinin Belirlenmesi. *KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon*.
- Karaöz, O., 1989a. Laboratory analyze methods of some physical soil properties related to water holding capacity. *Review of the Faculty of Forestry, University of Istanbul*, 39, B2, 133-44.
- Karaöz, O., 1989b. Analyze Methods of Some Chemical Soil Properties (pH, carbonates, salinity, organic matter, total nitrogen, available phosphorus). *Review of the Faculty of Forestry, University of Istanbul*, 39, B3, 64-82.
- Karaöz O. Analyze Methods of Leaves/Needles and Litter. *Review of the Faculty of Forestry, University of Istanbul 1992*, 42, B1-2, 57-71.
- Keleş, S., 2003. Ormanların Su ve Odun Üretimi Fonksiyonlarının Doğrusal Programlama Tekniği ile Optimizasyonu (Karanlıkdere Planlama Birimi), *KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon*, 27-28s.
- Klassen, A.W., 1997. Impediments to the Adoption of Reduced Impact Logging in the Indonesian Corporate Sector. *Proceeding of the IUFRO/FAO Seminar on Forest Operations in Himalayan Forest with Specials Consideration of Ergonomic and Soxio-Economic Problems, Thimphu, Bhutan*, 40-58p., October 1997.

- Koç, A., 1995. Ormancılıkta Coğrafi Bilgi Sistemi, Türkiye İkinci Arc/Info ve ERDAS Kullanıcıları Grubu Toplantısı, Ankara.
- Koger, J. L., and Webster, D. S. 1986. Maximizing Profits of Ground -Based Harvesting, Forest Products Journal, 36, 25-31.
- Köse, S. 1984. Değiştirilmiş Simpleks Yöntemi ile Doğrusal Amaç Programlama Modellerinin Çözümü, KTÜ Orman Fakültesi Dergisi, 7, 2, 171-188.
- Köse, S. ve Başkent, E.Z., 1994. Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Ormancılığımızdaki Önemi, I. Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu, Trabzon, 195-203.
- Köse, S., Yavuz, H. ve Gül, A.U., 2000. Yöneylem Araştırması ve Ormancılık Uygulamaları, KTÜ Orman Fakültesi, Ders Tezsirleri Serisi, 61, 159.
- Kurt, M. and Semetay, C. 2001. Genetik Algoritma ve Uygulama Alanları. Mühendis ve Makine, 9, 5, 55-64.
- Lacey, S.T., Ryan, P.J., Huang, J. ve Weiss, D.J., 1994. Soil Physical Property Change from Forest Harvesting in New South Wales, Research, 25 p.
- Laffan, M., Jordan, G. ve Duhing, N., 2001. Impacts on Soil from Cable-Logging Steep Slopes in Northeastern Tasmania, Australia, Forest Ecology and Management, 144, 91-99.
- Lockaby, B.G. ve Vidrine, C.G., 1984. Effects of Logging Equipment on Soil Density and Growth and Survival of Young Loblolly Pine, Sth. J. Appl. For., 8, 109-112.
- McNabb, D.H. ve Boersma, L., 1993. Evaluation of the Relationship Between Compressibility and Shear Strength of Andisols, Soil Sci. Soc. Am. J., 57, 923-929.
- Makineci, E., Demir, M. ve Yılmaz, E., 2007a. Odun Üretimi ve Sürütme Çalışmalarının Orman Ekosistemine Ekolojik Etkileri. Proceedings of International Symposium Bottlenecks, Solutions. and Priorities in the Context of Functions of Forest Resource, 868-878 p., October 2007, İstanbul.
- Makineci, E., Demir M. ve Yılmaz E., 2007b. Long Term Harvesting Effects on Skid Road in a Fir (*Abies bornmulleriana* Mattf.) Plantation Forest, Building and Environment. 42, 31, 538-1543.
- Marshall, V.G., 2000. Impacts of Forest Harvesting on Biological Processes in Northern Forest Soils. Forest Ecology and Management, 133, 43-60.
- Martin, C.W. ve Hornbeck, J.W., 1994. Logging in New England Need Not Cause Sedimentation of Streams, North. J. Appl. For., 11, 17-23.

- Megahan, W.F., King, J.G. ve Sayedbagheri, K.A., 1995. Hydrologic and Erosional Responses of A Granitic Watershed to Helicopter Logging and Broadcast Burning, *For. Sci.*, 41, 4, 777-795.
- Melemez, K. ve Tunay, 2010. The Investigation of the Ergonomic Aspects of the Noise Caused by Agricultural Tractors Used in Turkish Forestry. *African Journal of Agricultural Research*, Vol. 5,4, 243-249 p.
- Menemencioğlu, K., 2006. Ilgaz - Devrez Orman İşletme Şefliği'nde Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) Yardımıyla Orman Hasat Zararlarını Azaltıcı Transport Planlaması. *A.İ.B.Ü. Ormanlık Dergisi*, 2,1, Düzce.
- Messina, M.G., Schoenholtz, S.H., Lowe, M.W., Wang, Z., Gunter, D.K., Londo A.J., 1997. Initial Responses of Woody Vegetation, Water Quality, and Soils to Harvesting Intensity in a Texas Bottomland Hardwood Ecosystem. *Forest Ecology and Management*, 90, 201-15.
- Motavalli, P., P., Anderson, S., H., Pengthamkeerati, P., and Gantzer, C., J., 2003. Use of soil cone penetrometers to detect the effects of compaction and organic amendments in claypan soils, *Soil and Tillage Research*. 74, 103-114.
- MPM, 1992. Verimlilik Yönetimi, ILO, Milli Prodüktivite Merkezi, 476, Ankara.
- Nabiyev, V., 2003. Yapay Zeka, Birinci Baskı, Seçkin Yayıncılık Sanayi ve Ticaret.A.Ş., Ankara.
- Nichols, M.T., Lemin, R.C. ve Ostrofsky, W.D., 1994. The Impact of Two Harvesting Systems on Residual Stems in Partialy Cut Stand of Northern Hardwoods, *Canadian Journal Foest Resource*, 24, 2, 350-357.
- Nugent, C., Kanali, C., Owende, P.M.O., Nieuwenhuis, M. ve Ward, S., 2003. Characteristic Site Disturbance due to Harvesting and Extraction Machinery Traffic on Sensetive Forest Sites with Peat Soils, *Forest Ecology Management*, 180, 85-98.
- Oborn, R.M.R., 1996. A Mixed-Integer Programming Model for Tactical Forest Operations Planning, *Proceeding of the Meeting on Planning and Iplementing Forest Operations to Achive Sustainabel Forests*, Ed. By C.R. Blinn, M.A. Thompson, COFE-19th Annual Meeting and IUFRO, Agust 1, USA, 201-212 p.
- OGM, 1996. Asli Orman Ürünlerinin Üretim İşlerine Ait 288 Sayılı Tebliğ, Ankara, 39 s.
- OGM, 2008. Orman Yol Ağı Planlarının Düzenlenmesi
- OGM, 2010a. "Orman Genel Müdürlüğü 2010 Yılı Döner Sermaye Bütçesi", Çevre ve Orman Bakanlığı OGM/APK Dairesi Başkanlığı, Aralık-2009, Ankara, 1 s.
- OGM, 2010b. "Orman Genel Müdürlüğü Bölmeden Çıkarma Uygulamaları", Çevre ve Orman Bakanlığı OGM/İP Dairesi Başkanlığı, Ağustos, Ankara, 1 s.

- Öncer, M., 1990. Orman Ürünleri Hasadı Sırasında Meydana Gelen Kayıplar Ve Önlenme Yolları. Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları, 414, Ankara.
- Özçamur, M., 1981. Bölmeden Çıkarmada Çeşitli Makinelerin Zaman Verim ve Masraf Yönünden Araştırılması, Trabzon, 132, 14.
- Özdönmez, M., İstanbullu, T., Akesen, A. ve Ekizoğlu, A., 1996. Ormancılık Politikası, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İstanbul, 3968, 435.
- Öztürk, A., 2001. Yöneylem Araştırması, Ekin Kitabevi Yayınları, 975-7657-53-03, 554.
- Öztürk, T., 2001. Bölmeden Çıkarma Çalışmalarında Kullanılan Özel Orman Traktörleri Üzerine Bir Araştırma. İ.Ü.Orman Fakültesi Dergisi, B51, 2, 101-110.
- Öztürk, T. and Akay, A. E., 2007. Modifying Farm Tractors for Forest Harvesting Operations. Proceedings of International Symposium Bottlenecks, Solutions. and Priorities in the Context of Functions of Forest Resource, İstanbul, 1111-1120 p.
- Öztürk, T., 2009. Kayın Tomruğunun Bölmeden Çıkarılmasında MB Trac 900 Sürütücünün Verimlilik Analizi, İÜOFD Seri A, 59, 2, 50 s.
- Olsson, L., and Lohmander, P. 2005. Optimal Forest Transportation with Respect to Road Investments. Forest Policy and Economics, 7, 369– 379.
- Paksoy, M., 2001. Tarım İşletmelerinin Doğrusal Programlama Yöntemiyle Planlanmasında Bilgisayar Paket Programlarının Kullanılması. Tarımda Bilişim Teknolojileri 4. Sempozyumu, Kahramanmaraş, 201-206.
- Pinard, M.A. ve Putz, F.E., 1996. Retaining Forest Biomass by Reducing Logging Damage, Biotropica, 28, 278-295.
- Pentek, T., Dragutin, P., Igor, P., Pavol, D and Hrvoje, N. 2005. Analysis of an Existing Forest Road Network. Croatian Journal of Forest Engineering, 26, 1, 39-47.
- Quigley, M., F., 2003. Franklin Park: 150 Years of Changing Design, Disturbance, and Impact on Tree Growth, Urban Ecosystems, Holland, 6, 223-235 p.
- Rab, M.A., 1992. Recovery of Soil Physical Properties from Compaction and Soil Profile Disturbance Caused by Logging of Native Forest in Victorian Central Highland, Australia, Forest and Management, 191, 1-3, 329-340.
- Rardin, R.L., 1998. Optimizasyon in Operation Resarch, Prentice Hill, USA, 905 p.
- Richards, E. W., Gunn, E.A. 2000. A model and Tabu Search Method to Optimize Stand Harvest and Road Construction Schedules. For Sci, 46: 188-203
- Robek, R. ve Mathies, D., 1997. Soil and Tree Disturbances due to Forest Operations-An Unresolved, Interdisciplinart Issue, Voluntary Paper Prepared for the XI. World Forestry Congress, Antalaya, Turkey.

- Rodriguez, E. O. and Fellow, A.M. 1986. Wood Extraction with Oxen and Agricultural Tractors. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 92.
- Rohand, K., Al Kalb, A., Herbauts, J., Verbrugge, J.C., 2004. Changes in Some Mechanical Properties of Loamy Soil under the Influence of Mechanized Forest Exploitation in a Beech Forest of Central Belgium. Journal of Terramechanics, 40, 235–53.
- Rönnqvist, M. 2003. Optimization in Forestry, Math. Program., 97, 267–284.
- Sancal, E., 2010. Artvin Yöresindeki Bölmeden Çıkarma Çalışmalarının Orman Toprağının Bazı Özellikleri Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, A.Ç.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Artvin, 60 s.
- Sarıaslan, H., 2000. Kaynak Dağılımında Doğrusal Programlama, Turhan Kitabevi Yayınları, Ankara, 975-6809-28-0, 310.
- Seçkin, Ö.B., 1978. Demirköy Karamanbayırı Devlet Orman İşletmesi Çakmaktepe Yol Şebekesinin Planlama Tekniği Bakımından Araştırılması, İstanbul,622/132.
- Seçkin, Ö.B., 1985. Ormancılıkta Mekanizasyon ve Verimliliği Sempozyumunun Değerlendirilmesi. İÜ Orman Fakültesi Dergisi, 35, 1.
- Seçkin, Ö.B., 1986. Orman Traktörü ile Bölmeden Çıkarmaya Dair Bazı Notlar, Orman Mühendisliği Dergisi, 23, 2, 5-10 s.
- 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 p.
- Shaffer, R.M.,1998. Farm Tractor Logging for Woodlot Owners. College of Natural Resources, Virginia Polytechnic Institute and State Univ., Blacksburg, VA, 6.
- Shetron, S.G., John, A.S., Eunice, P. ve Carl, T., 1998. Forest Soil Compaction; Effects of Multiple Passes and Loading on Wheel Track Surface Soil Bulk Density, Northern Journal of Applied Forestry, 5, 120-123.
- Sidle, R.C., Sasaki, S., Otsuki, M., Noguchi, S. ve Nik, A.R., 2004. Sediment Pathways in a Tropical Forest: Effects of Logging Roads and Skid Trails, Hydrological Processes, 18, 703–720.
- Sist, P., 1997. Effects of Logging on Forest Soil Physical Properties in Eastern Amazonia. Forest Harvesting Bulletin, 7, 1.
- Sist, P., Dykstra, D. And Fimbel, R., 1998. Reduced-Impact Logging Guidelines for Lowland and Hill Dipterocarp Forests in Indonesia, CIFOR Occasional, 15.

- Smidt, M.F. ve Kokla, R.K., 2001. Alternative Skid Trail Retirement Options for Steep Terrain Logging, Proceeding of the 24th Annual COI3 Meeting, 13-17.
- Solgi, H.C. ve Najafi, A., 2007. Investigating of Residual Tree Damage During Ground-Based Skidding, Pakistan Journal of Biology Science, 10, 10, 1755-1758.
- Soykan, B. 1978. Ormancılıkta Transport ya da Dağıtım Sorunlarının Çözümü. K.T.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, 1, 2, 93-105
- Stuart, W.B. ve Carr, J.L., 1991. Harvesting Impacts on Steep Slopes in Virginia, 8th Central Hardwood Forest Conference, 145-151.
- Stückelberger, J. A., Heinemann, H.R., and Burlet, E. C. 2006. Modeling Spatial Variability in the Life-Cycle Costs of Low-Volume Forest Roads. Eur J Forest Res., 125, 377–390.
- Sun, G., McNulty, S.G., Shepard, J.P., Amatya, D.M., Riekerk, H., Comerford, N.B., Skaggs, W. ve Swift, L.J.R., 2001. Effects of Timber Management on the Hydrology of Wetland Forest in the Southern United States, Forest Ecology and Management, 143, 227-236.
- Sümer, S.K., M. Has ve A. Sabancı, 2004. Türkiye’de Üretilen Tarım Traktörlerine Ait Teknik Özellikler. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi, 19,1, 17-26
- Stehman, J.A. ve Davis, C.J., 1997. A Practical Sampling Strategy for Estimating Residual Stand Damage, Can. J. For. Res., 27, 10, 1635-1644.
- Taha, H.A., 2000. Yöneyem Araştırması, Çev. Baray, Ş.A. ve Esnaf Ş., Literatür Yayınları, İstanbul 43, 905 s.
- Tan, X., Change X.S. ve Kabzems, R., 2005. Effects of Soil Compaction and Forest Floor Removal on Soil Microbial Properties and N Transformations in A Boreal Forest Long-Term Soil Productivity Study, Forest Ecology and Management, 217, 158-170.
- Tiernan, D., Owendw, P.M.O., kanali, C.L., Lyons, J. Ve Ward, S.M., 2001. Selection and Operation of Cable Systems on Sensitive Forest Sites. ECOWOOD Project Deliverable D2 (Work Package No. 1), Quality of Life and Management of Living Resources Contract, 100.
- Tomasic, Z., 1996. Soil Erosion on Several Longitudinal Slops of a Skid Trail over a Four-Year Period (1992-1996). Proceedings of The Seminar on Environmentally Sound Forest Roads and Wood Transport, Sinaia, Romania, 322-334p., June 1996.
- Türk, Y., 2006. Düzce’de Orman Yollarında Toprak Kaybı Sorunlarının Araştırılması, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, A.İ.B.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce, 43 s.

- Ulbricht, E. and Ulbricht, R.A., 1997. Reduced Impact Wood Harvesting in the Frame of FAO-Code; A Concept for East Kalimantan. Indonesia. Proceeding of the IUFRO/FAO Seminer on Forest Operations in Himalayan Forest with Specials Consideration of Ergonomic and Soxio-Economic Problems, 78-81p., October 1997, Thimphu, Bhutan.
- URL-1, <http://www.ekoist.net/yoneylem-arastirmasi-dogrusal-programlama/>, 19.01.2011.
- URL-2, <http://www.dickey-john.com/product/soil-compaction-tester/>, 11.01. 2011.
- Ünver, S., 2008, Endüstriyel Odun Hammaddesinin İnsan Gücüyle Sürütülmesi Sırasında Ortaya Çıkan Ürün Kayıpları ile Çevresel Zararların Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon, 100 s.
- Virdine, C.G., Dehoop, C. ve Lanford, B.L., 1999. Assessment of Site and Stand Disturbance from Cut-to-Length Harvesting, 10th Biennial Southern Silvicultural Research Conference, February 16-18 1999, Shreveport, La.
- Wang, L., 1997. Assessment of Animal Skidding and Ground Machine Skidding under Mountain Conditions. Journal of Forest Engineering, 8(2):57–64.
- Webb, E.L., 1997. Canopy Removal and Residual Stand Damage During Controlled Selective Logging in Lowland Swamp Forest of Northeast Costa Rica, Forest of Northeast Costa Rica, Forest Ecology and Management, 95, 117-129.
- Wert, S. ve Thomas, B.R., 1981. Effects of Skid Roads on Diameter, Height, and Volume Growth in Douglas-Fir, Soil Sci. Am. J., 45, 629-632.
- Whitman, A., Brokaw, N. ve Hagen, J., 1997. Forest Damage Caused by Selection Logging of Mahogany in Northern Belize, Forest Ecology and Management, 92, 87-96.
- Williamson, J.R. ve Neilsen, W.A., 2003. The Effect of Soil Compaction, Profile Disturbance and Fertilizer Application on the Growth of Eucalyptus Seedlings in Two Glasshouse Studies. Soil & Tillage Research, 71, 95–107.
- Yıldırım, M., 1989. Hasat İşlerinde Sınırlayıcı Faktörler, İ.Ü. Orman Fak. Dergisi, 39, 4.
- Yomralıoğlu, T., 2000. Coğrafi Bilgi Sistemleri Temel Kavramlar ve Uygulamalar. K.T.Ü. Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Trabzon, 480 s.
- Zecic, Z., and Marance, J., 2005. Mathematical Models for Optimization of Group work in Harvesting Operation. Croatian Journal of Forest Engineering, Zagreb, Croatia, 26-1, 33p.

7. EKLER

Ek Tablo 1. Traktörle bölmeden çıkarma işlerinde ölçüm ve gözlemlere ilişkin kayıt formu

1-Tarih		7- Üretim Miktarı		13- İşçi Sayısı	
2-Bölme No		8- Arazi Eğimi		14- Traktör ve Kablo Özellikleri	
3-Bölmeçik No		9- Zemin Durumu		15- Sürütme Şeridi Genişliği	
4- Koordinat		10-Zemin Sınıfı		16-Sürütme Mesafesi	
5- Rakım ve Bakı		11- Arazi Engeli		17-	
6-Meşçere Tipi		12- Müdahale Şekli		18-	
Diğer Notlar:					
İşlem No	1	2	3	4	5
Traktörün Boş Dönüş Yönü Traktörün Boş Dönüş Zamanı Bekleme Zamanı	Bş: Bş: Bş: Bş:	Bt: Bt: Bt: Bt:	Bş: Bş: Bş: Bş:	Bt: Bt: Bt: Bt:	Bş: Bş: Bş: Bş:
Kablonun Çekilme Zamanı Bağlanma Süresi Bekleme Süresi	Bş: Bş: Bş:	Bt: Bt: Bt:	Bş: Bş: Bş:	Bt: Bt: Bt:	Bş: Bş: Bş:
Parça Sayısı Çap-Boy- Mesafe					
Taşıma Yönü Yüklü Sürütme Zamanı Bekleme Zamanı	Bş: Bş: Bş: Bş:	Bt: Bt: Bt: Bt:	Bş: Bş: Bş: Bş:	Bt: Bt: Bt: Bt:	Bş: Bş: Bş: Bş:
Yükün Çözülmesi Bekleme Süresi	Bş: Bş:	Bt: Bt:	Bş: Bş:	Bt: Bt:	Bş: Bş:
Ürün Cinsi					
Ürün Vasfı					
Ürünlerin Şekli					
Diğer Notlar:					

Ek Tablo 2. Sürütme şeridi ve doğal alandan alınan örneklere ilişkin kayıt formu

Tarih	Bölme No		Bölmecik No		
Örnek Alan No=		Açıklama: 1/2 TIP			
Ö N	ÖA Top Sık,0-5, 5-10	KN Top Sık,0-5, 5-10	Derinlik (m)	Fidan Sayısı (ad)	Şerit Geniş. (m)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					
31					
32					
33					
34					
35					
36					
37					
38					
39					
40					
Diğer Notlar:					

Ek Tablo 3. Tarım traktörleriyle bölmeden çıkarmada zamansal değerlere ilişkin ölçüm ve gözlem sonuçları

tgg= traktör gücü grupları,
 ps= parça sayısı,
 th= tomruk hacmi
 sqrtth=karekök dönüşümü uygulanmış tomruk hacmi
 zd= zemin durumu,
 zs= zemin sınıfı,
 eg= eğim grupları,
 ts05= ÖA'da ölçülen 0-5 cm derinlikteki toprak sıkışıklığı,
 lg10ts05= ÖA'da ölçülen 0-5 cm derinlikteki torak sıkışıklığı,
 lnts05= ÖA'da ölçülen 0-5 cm derinlikteki torak sıkışıklığı,
 sm= sürütme mesafesi,
 sqrt sm= karekök dönüşümü uygulanmış sürütme mesafesi,
 lg10sm= Log10 dönüşümü uygulanmış sürütme mesafesi,
 ts510= ÖA'da ölçülen 5-10 cm derinlikteki toprak sıkışıklığı
 kth= kaybolan top hacmi,
 lg10 kth= Log10 dönüşümü uygulanmış kaybolan toprak hacmi,

e= eğim,
 lg10 e= Log10 dönüşümü uygulanmış eğimi,
 şg= şerit genişliği,
 tg= traktör gücü,
 fs= KN'daki fidan sayısı,
 knts05= KN'da 0-5 cm derinlikteki toprak sıkışıklığı
 knts510= KN'da 5-10 cm derinlikteki toprak sıkışıklığı
 ygz= yüklü gidiş zamanı,
 sqrt ygz= karekök dönüşümü uygulanmış yüklü gidiş zamanı,
 bdz= boş dönüş zamanı,
 Lg10bdz= Log10 dönüşümü uygulanmış boş dönüş zamanı,
 Ln bdz= Ln dönüşümü uygulanmış toplam boş dönüş zamanı,
 kth= kaybolan toprak hacmi
 lg10 kth= Log10 dönüşümü uygulanmış kaybolan toprak hacmi
 lnkth= Ln dönüşümü uygulanmış kaybolan toprak hacmi,
 ts05= ÖA'da ölçülen 0-5 cm derinlikteki toprak sıkışıklığı,

Lg10ts05= Log10 dönüşümü uygulanmış ÖA'da 0-5 cm toprak derinliğindeki sıkışıklık,
 Lnts05= Ln dönüşümü uygulanmış ÖA'da 0-5 cm toprak derinliğindeki sıkışıklık,
 ts510= ÖA'da ölçülen 5-10 cm derinlikteki toprak sıkışıklığı
 sqrtts510= karekök dönüşümü uygulanmış ÖA'da ölçülen 5-10 cm derinlikteki toprak sıkışıklığı
 lnts510= Ln dönüşümü uygulanmış ÖA'da ölçülen 5-10 cm derinlikteki toprak sıkışıklığı
 lg10ts510= Log10 dönüşümü uygulanmış ÖA'da ölçülen 5-10 cm derinlikteki toprak sıkışıklığı

No	tgg	ps	th	zd	zs	eg	ts05	sm	ts510	kth	e	şg	tg	fs	knts05	knts510	ygz	sqrt ygz	bdz	lg10 bdz	lnbdz
1	1	4	1,959	1	3	3	400	841	594	286	26	2,52	59	14	171	224	622	24,94	338	2,53	5,82
2	1	3	1,284	1	3	3	400	841	594	286	26	2,52	59	14	171	224	643	25,36	345	2,54	5,84
3	1	4	2,306	1	3	3	418	480	647	168	26	2,6	59	13	161	227	623	24,96	299	2,48	5,70
4	1	5	2,379	1	3	3	418	480	647	168	26	2,6	59	13	161	227	500	22,36	292	2,47	5,68
5	1	3	1,602	1	3	3	418	480	647	168	26	2,6	59	13	161	227	391	19,77	330	2,52	5,80

Ek Tablo 3'ün devamı

6	1	3	1,558	1	3	3	418	480	647	168	26	2,6	59	13	161	227	467	21,61	305	2,48	5,72
7	1	3	1,080	2	3	3	439	464	673	188	26	2,53	59	15	161	223	430	20,74	360	2,56	5,89
8	1	7	1,267	2	3	3	439	464	673	188	26	2,53	59	15	161	223	440	20,98	350	2,54	5,86
9	1	2	1,291	1	3	3	447	500	656	164	26	2,52	59	9	108	159	298	17,26	390	2,59	5,97
10	1	3	3,061	1	3	3	447	500	656	164	26	2,52	59	9	108	159	294	17,15	360	2,56	5,89
11	1	3	1,899	1	3	3	447	500	656	164	26	2,52	59	9	108	159	288	16,97	311	2,49	5,74
12	3	3	1,771	1	2	2	283	507	409	48	14	2,39	82	8	100	155	296	17,20	272	2,43	5,61
13	3	4	4,380	1	2	2	283	507	409	48	14	2,39	82	8	100	155	288	16,97	280	2,45	5,63
14	1	5	3,284	2	3	3	408	367	570	99	31	2,35	55	6	76	112	444	21,07	345	2,54	5,84
15	1	4	3,121	2	3	3	408	367	570	99	31	2,35	55	6	76	112	467	21,61	391	2,59	5,97
16	1	4	3,009	2	3	3	408	367	570	99	31	2,35	55	6	76	112	475	21,79	355	2,55	5,87
17	1	4	2,999	2	3	3	408	367	570	99	31	2,35	55	6	76	112	478	21,86	412	2,61	6,02
18	1	4	2,907	2	3	3	408	367	570	99	31	2,35	55	6	76	112	474	21,77	340	2,53	5,83
19	1	3	2,831	2	3	3	408	367	570	99	31	2,35	55	6	76	112	483	21,98	330	2,52	5,80
20	1	3	2,711	2	3	3	408	367	570	99	31	2,35	55	6	76	112	479	21,89	325	2,51	5,78
21	1	3	2,662	2	3	3	408	367	570	99	31	2,35	55	6	76	112	539	23,22	343	2,54	5,84
22	1	3	1,732	2	3	3	408	367	570	99	31	2,35	55	6	76	112	477	21,84	351	2,55	5,86
23	1	2	1,871	1	3	3	324	1418	534	439	29	2,38	55	6	96	147	687	26,21	475	2,68	6,16
24	1	2	2,480	1	3	3	324	1418	534	439	29	2,38	55	6	96	147	650	25,50	460	2,66	6,13
25	1	1	0,456	1	3	3	245	122	338	21	30	2,43	55	9	117	188	80	8,94	33	1,52	3,50
26	1	1	0,277	1	3	3	245	122	338	21	30	2,43	55	9	117	188	70	8,37	42	1,62	3,74
27	1	1	0,498	1	3	3	245	122	338	21	30	2,43	55	9	117	188	85	9,22	30	1,48	3,40
28	1	1	0,377	1	3	3	245	122	338	21	30	2,43	55	9	117	188	65	8,06	27	1,43	3,30
29	1	2	1,026	1	4	3	265	472	410	104	30	2	55	1	92	132	140	11,83	100	2,00	4,61

Ek Tablo 3'ün devamı

30	1	1	0,981	1	4	3	265	472	410	104	30	2	55	1	92	132	134	11,58	70	1,85	4,25
31	1	1	0,935	1	4	3	265	472	410	104	30	2	55	1	92	132	125	11,18	68	1,83	4,22
32	1	1	0,935	1	4	3	265	472	410	104	30	2	55	1	92	132	135	11,62	65	1,81	4,17
33	1	1	0,878	1	4	3	265	472	410	104	30	2	55	1	92	132	151	12,29	85	1,93	4,44
34	1	1	0,876	1	4	3	265	472	410	104	30	2	55	1	92	132	143	11,96	71	1,85	4,26
35	1	1	0,792	1	4	3	265	472	410	104	30	2	55	1	92	132	149	12,21	77	1,89	4,34
36	1	3	1,465	1	3	2	692	685	800	96	21	2,34	53	7	93	124	500	22,36	413	2,62	6,02
37	1	1	1,301	1	3	2	692	685	800	96	21	2,34	53	7	93	124	365	19,10	356	2,55	5,87
38	1	1	1,188	1	3	2	692	685	800	96	21	2,34	53	7	93	124	371	19,26	323	2,51	5,78
39	1	1	1,158	1	3	2	692	685	800	96	21	2,34	53	7	93	124	460	21,45	426	2,63	6,05
40	1	1	0,864	1	3	2	692	685	800	96	21	2,34	53	7	93	124	389	19,72	530	2,72	6,27
41	1	1	1,699	1	3	2	290	259	375	25	18	2,13	53	12	125	169	125	11,18	81	1,91	4,39
42	1	2	0,855	1	3	2	363	537	488	113	18	2,64	53	7	150	194	162	12,73	69	1,84	4,23
43	1	1	0,598	1	3	2	280	1080	410	133	25	2,46	53	4	103	136	157	12,53	122	2,09	4,80
44	1	2	2,028	1	3	2	413	1418	525	174	18	2,23	55	4	164	201	235	15,33	160	2,20	5,08
45	1	2	1,732	1	3	2	413	1418	525	174	18	2,23	55	4	164	201	180	13,42	173	2,24	5,15
46	1	1	1,009	1	3	2	413	1418	525	174	18	2,23	55	4	164	201	222	14,90	158	2,20	5,06
47	1	1	1,419	1	3	2	354	460	564	34	18	2,13	55	11	193	236	484	22,00	267	2,43	5,59
48	1	2	6,455	1	3	2	536	277	727	46	18	2,37	55	5	233	283	250	15,81	181	2,26	5,20
49	1	2	5,091	1	3	2	536	277	727	46	18	2,37	55	5	233	283	186	13,64	171	2,23	5,14
50	1	2	4,952	1	3	2	536	277	727	46	18	2,37	55	5	233	283	258	16,06	156	2,19	5,05
51	1	2	3,748	1	3	2	536	277	727	46	18	2,37	55	5	233	283	225	15,00	153	2,18	5,03
52	1	2	3,149	1	3	2	536	277	727	46	18	2,37	55	5	233	283	210	14,49	188	2,27	5,24
53	1	2	2,047	1	3	2	536	277	727	46	18	2,37	55	5	233	283	176	13,27	164	2,21	5,10

Ek Tablo 3'ün devamı

54	1	2	1,380	1	3	2	536	277	727	46	18	2,37	55	5	233	283	194	13,93	171	2,23	5,14
55	1	2	3,149	1	3	2	408	293	608	45	18	2,82	55	8	174	215	150	12,25	96	1,98	4,56
56	1	2	2,873	1	3	2	408	293	608	45	18	2,82	55	8	174	215	107	10,34	116	2,06	4,75
57	1	2	2,047	1	3	2	408	293	608	45	18	2,82	55	8	174	215	145	12,04	96	1,98	4,56
58	1	1	1,910	1	3	2	408	293	608	45	18	2,82	55	8	174	215	158	12,57	105	2,02	4,65
59	1	1	1,815	1	4	2	334	277	488	39	17	2,36	53	8	137	172	154	12,41	75	1,88	4,32
60	1	2	1,122	1	4	2	380	43	550	4	17	2,4	53	9	173	210	30	5,48	26	1,41	3,26
61	1	1	0,886	1	4	2	380	43	550	4	17	2,4	53	9	173	210	24	4,90	27	1,43	3,30
62	1	1	0,817	1	4	2	380	43	550	4	17	2,4	53	9	173	210	31	5,57	24	1,38	3,18
63	1	1	0,327	1	4	2	380	43	550	4	17	2,4	53	9	173	210	23	4,80	25	1,40	3,22
64	1	1	0,274	1	4	2	380	43	550	4	17	2,4	53	9	173	210	30	5,48	26	1,41	3,26
65	1	2	1,869	1	4	2	333	39	417	7	17	2,36	53	9	123	160	49	7,00	29	1,46	3,37
66	1	2	1,360	1	4	2	333	39	417	7	17	2,36	53	9	123	160	41	6,40	26	1,41	3,26
67	1	1	1,189	1	4	2	333	39	417	7	17	2,36	53	9	123	160	48	6,93	33	1,52	3,50
68	1	1	0,907	1	4	2	333	39	417	7	17	2,36	53	9	123	160	47	6,86	35	1,54	3,56
69	1	1	0,904	1	4	2	333	39	417	7	17	2,36	53	9	123	160	72	8,49	38	1,58	3,64
70	1	1	0,855	1	4	2	333	39	417	7	17	2,36	53	9	123	160	49	7,00	31	1,49	3,43
71	1	1	0,724	1	4	2	333	39	417	7	17	2,36	53	9	123	160	44	6,63	28	1,45	3,33
72	1	1	0,572	1	4	2	275	68	325	8	17	2,29	53	9	120	157	34	5,83	27	1,43	3,30
73	1	1	2,031	1	4	3	333	110	600	8	30	2,47	53	9	110	140	39	6,24	18	1,26	2,89
74	1	1	1,532	1	4	3	333	110	600	8	30	2,47	53	9	110	140	28	5,29	24	1,38	3,18
75	1	1	0,725	1	4	3	333	110	600	8	30	2,47	53	9	110	140	52	7,21	20	1,30	3,00
76	1	1	1,583	1	4	2	350	74	550	18	17	2,26	53	4	157	193	21	4,58	18	1,26	2,89
77	1	1	1,434	1	4	2	350	74	550	18	17	2,26	53	4	157	193	22	4,69	22	1,34	3,09
78	1	1	0,764	1	4	2	350	74	550	18	17	2,26	53	4	157	193	20	4,47	19	1,28	2,94

Ek Tablo 3'ün devamı

79	2	1	1,433	1	4	3	220	327	330	48	30	2,25	65	1	167	208	70	8,37	55	1,74	4,01
80	2	1	1,396	1	4	3	220	327	330	48	30	2,25	65	1	167	208	69	8,31	55	1,74	4,01
81	2	1	1,396	1	4	3	220	327	330	48	30	2,25	65	1	167	208	77	8,77	50	1,70	3,91
82	2	1	1,290	1	4	3	220	327	330	48	30	2,25	65	1	167	208	61	7,81	51	1,71	3,93
83	2	1	1,396	1	3	3	190	232	245	57	25	2,14	65	2	102	144	129	11,36	125	2,10	4,83
84	2	1	1,584	1	3	3	179	276	233	35	24	2,3	65	4	50	74	140	11,83	118	2,07	4,77
85	2	1	1,255	1	3	3	179	276	233	35	24	2,3	65	4	50	74	69	8,31	74	1,87	4,30
86	2	1	2,170	1	3	2	550	133	800	22	17	2,31	64	6	175	225	391	19,77	229	2,36	5,43
87	2	1	1,121	1	3	2	550	133	800	22	17	2,31	64	6	175	225	256	16,00	194	2,29	5,27
88	2	2	3,521	1	3	2	510	419	550	89	17	2,66	68	10	140	174	333	18,25	231	2,36	5,44
89	2	2	2,758	1	3	2	510	419	550	89	17	2,66	68	10	140	174	371	19,26	221	2,34	5,40
90	1	5	0,938	1	3	2	500	364	800	61	17	2,41	55	9	250	325	294	17,15	320	2,51	5,77
91	1	2	1,760	1	3	2	400	302	575	70	20	2,44	55	9	200	250	162	12,73	82	1,91	4,41
92	1	2	1,760	1	3	2	400	421	800	68	13	2,47	55	5	150	200	242	15,56	193	2,29	5,26
93	3	1	1,327	1	4	3	375	269	425	41	25	2,79	80	10	153	197	95	9,75	70	1,85	4,25
94	3	1	1,290	1	4	3	375	269	425	41	25	2,79	80	10	153	197	73	8,54	52	1,72	3,95
95	3	1	1,089	1	4	3	375	269	425	41	25	2,79	80	10	153	197	98	9,90	57	1,76	4,04
96	3	1	1,057	1	4	3	375	269	425	41	25	2,79	80	10	153	197	105	10,25	66	1,82	4,19
97	3	1	0,848	1	4	3	375	269	425	41	25	2,79	80	10	153	197	89	9,43	62	1,79	4,13
98	3	1	1,762	1	3	3	275	109	338	11	25	2,55	80	4	163	219	38	6,16	25	1,40	3,22
99	3	1	1,509	1	3	3	275	109	338	11	25	2,55	80	4	163	219	42	6,48	27	1,43	3,30
100	3	1	1,460	1	3	3	275	109	338	11	25	2,55	80	4	163	219	39	6,24	29	1,46	3,37
101	3	1	1,327	1	3	3	275	109	338	11	25	2,55	80	4	163	219	35	5,92	28	1,45	3,33
102	3	1	1,154	1	3	3	275	109	338	11	25	2,55	80	4	163	219	34	5,83	28	1,45	3,33
103	1	4	1,932	1	3	2	567	259	650	51	22	2,44	55	14	110	167	183	13,53	130	2,11	4,87
104	1	3	1,697	1	3	2	567	259	650	51	22	2,44	55	14	110	167	218	14,76	124	2,09	4,82
105	1	2	1,457	1	3	2	567	259	650	51	22	2,44	55	14	110	167	217	14,73	118	2,07	4,77
106	1	2	0,598	1	3	2	567	259	650	51	22	2,44	55	14	110	167	229	15,13	134	2,13	4,90
107	1	4	1,110	1	3	2	733	189	800	74	20	2,45	50	10	90	127	95	9,75	59	1,77	4,08

Ek Tablo 3'ün devamı

108	1	1	0,196	1	3	2	733	189	800	74	20	2,45	50	10	90	127	52	7,21	58	1,76	4,06
109	1	2	0,445	1	3	2	625	251	800	27	20	2,42	50	13	2,38	338	113	10,63	62	1,79	4,13
110	2	1	1,221	1	3	2	780	281	800	171	17	2,44	64	11	92	118	198	14,07	188	2,27	5,24
111	2	1	1,154	1	3	2	780	281	800	171	17	2,44	64	11	92	118	239	15,46	172	2,24	5,15
112	1	2	0,752	1	3	2	433	190	733	20	17	2,38	50	9	90	118	64	8,00	70	1,85	4,25
113	1	4	1,419	1	3	2	567	232	650	40	17	2,44	50	13	150	217	205	14,32	160	2,20	5,08
114	1	3	0,662	1	3	2	567	232	650	40	17	2,44	50	13	150	217	200	14,14	130	2,11	4,87
115	3	3	3,525	1	3	3	388	230	500	31	25	2,42	80	9	95	125	46	6,78	34	1,53	3,53
116	3	2	2,677	1	3	3	388	230	500	31	25	2,42	80	9	95	125	51	7,14	41	1,61	3,71
117	3	2	1,221	1	3	3	388	230	500	31	25	2,42	80	9	95	125	49	7,00	38	1,58	3,64
118	1	2	2,032	1	3	3	320	385	470	23	25	2,03	50	7	174	226	82	9,06	52	1,72	3,95
119	1	2	1,130	1	3	3	320	385	470	23	25	2,03	50	7	174	226	69	8,31	45	1,65	3,81
120	1	1	0,745	1	3	3	320	385	470	23	25	2,03	50	7	174	226	55	7,42	55	1,74	4,01
121	1	2	1,056	1	3	2	200	99	283	2	16	2,03	50	11	100	142	41	6,40	26	1,41	3,26
122	1	1	0,785	1	3	2	200	99	283	2	16	2,03	50	11	100	142	38	6,16	33	1,52	3,50
123	1	1	0,664	1	3	2	200	99	283	2	16	2,03	50	11	100	142	45	6,71	27	1,43	3,30
124	1	3	1,917	1	3	2	360	322	550	66	13	2,29	50	9	102	139	321	17,92	221	2,34	5,40
125	1	2	0,792	1	3	2	320	318	410	36	13	2,08	60	5	156	210	57	7,55	49	1,69	3,89
126	1	1	0,637	1	3	2	320	318	410	36	13	2,08	60	5	156	210	56	7,48	51	1,71	3,93
127	1	1	0,543	1	3	2	320	318	410	36	13	2,08	60	5	156	210	55	7,42	52	1,72	3,95
128	1	1	2,170	1	3	2	350	418	440	60	13	2,21	60	6	134	166	125	11,18	78	1,89	4,36
129	1	1	1,824	1	3	2	350	418	440	60	13	2,21	60	6	134	166	114	10,68	83	1,92	4,42
130	1	1	1,701	1	3	2	350	418	440	60	13	2,21	60	6	134	166	110	10,49	71	1,85	4,26

Ek Tablo 4. Sürütme şeritleri üzerinde meydana gelen ortalama toprak kaybına, toprak sıkışıklığına (0-5 cm ve 5-10 cm) ve kontrol noktalarına ilişkin ölçüm ve gözlem sonuçları

No	zs	ts05	sm	ts510	kth	e	şg	fs	knts05	knts510	kth	lg10 kth	ts05	lg10 ts05	ts510	sqrt ts510	lnkth	lnts05	lnts510	lg10 ts510
1	3	400	841	594	286	25	2,52	14	171	224	286	2,46	400	2,60	594	24,37	5,66	5,99	6,39	2,77
2	3	418	480	647	168	28	2,6	13	161	227	168	2,23	418	2,62	647	25,44	5,12	6,04	6,47	2,81
3	3	439	464	673	188	28	2,53	15	161	223	188	2,27	439	2,64	673	25,94	5,24	6,08	6,51	2,83
4	3	412	500	744	108	25	2,53	11	115	165	108	2,03	412	2,61	744	27,28	4,68	6,02	6,61	2,87
5	3	582	507	777	281	22	2,64	11	120	181	281	2,45	582	2,76	777	27,87	5,64	6,37	6,66	2,89
6	3	429	367	642	177	21	2,54	10	131	192	177	2,25	429	2,63	642	25,34	5,18	6,06	6,46	2,81
7	3	518	81	713	15	28	2,07	11	118	169	15	1,18	518	2,71	713	26,70	2,71	6,25	6,57	2,85
8	3	474	1288	721	530	22	2,57	11	122	179	530	2,72	474	2,68	721	26,85	6,27	6,16	6,58	2,86
9	3	447	500	656	164	27	2,52	9	108	159	164	2,21	447	2,65	656	25,61	5,10	6,10	6,49	2,82
10	3	588	685	770	55	33	1,62	12	127	179	55	1,74	588	2,77	770	27,75	4,01	6,38	6,65	2,89
11	2	518	259	713	48	25	2,07	11	118	169	48	1,68	518	2,71	713	26,70	3,87	6,25	6,57	2,85
12	2	283	507	409	48	14	2,39	8	100	155	48	1,68	283	2,45	409	20,22	3,87	5,65	6,01	2,61
13	3	408	367	570	99	31	2,35	6	76	112	99	2,00	408	2,61	570	23,87	4,60	6,01	6,35	2,76
14	3	324	81	534	25	30	2,38	6	96	147	25	1,40	324	2,51	534	23,11	3,22	5,78	6,28	2,73
15	3	245	1288	338	219	30	2,43	9	117	188	219	2,34	245	2,39	338	18,38	5,39	5,50	5,82	2,53
16	3	343	1288	515	218	30	2,26	5	166	229	218	2,34	343	2,54	515	22,69	5,38	5,84	6,24	2,71
17	4	265	472	410	104	30	2	1	92	132	104	2,02	265	2,42	410	20,25	4,64	5,58	6,02	2,61
18	4	274	277	471	33	20	2	5	77	117	33	1,52	274	2,44	471	21,70	3,50	5,61	6,15	2,67
19	4	262	426	349	64	17	2,3	7	79	118	64	1,81	262	2,42	349	18,68	4,16	5,57	5,86	2,54
20	4	152	403	213	28	20	2,77	8	93	131	28	1,45	152	2,18	213	14,59	3,33	5,02	5,36	2,33
21	4	217	287	336	30	20	2,35	6	77	102	30	1,48	217	2,34	336	18,33	3,40	5,38	5,82	2,53
22	4	277	364	405	119	19	2,51	4	81	109	119	2,08	277	2,44	405	20,12	4,78	5,62	6,00	2,61
23	4	323	231	459	48	20	2,33	10	65	98	48	1,68	323	2,51	459	21,42	3,87	5,78	6,13	2,66
24	4	526	327	679	84	17	2,46	14	74	97	84	1,92	526	2,72	679	26,06	4,43	6,27	6,52	2,83
25	4	317	232	506	66	18	2,6	11	73	99	66	1,82	317	2,50	506	22,49	4,19	5,76	6,23	2,70

Ek Tablo 4'ün devamı

26	4	305	276	509	39	19	2,6	13	75	106	39	1,59	305	2,48	509	22,56	3,66	5,72	6,23	2,71
27	4	329	133	500	10	16	2,55	9	86	130	10	1,00	329	2,52	500	22,36	2,30	5,80	6,21	2,70
28	4	318	419	434	52	19	2,46	14	138	178	52	1,72	318	2,50	434	20,83	3,95	5,76	6,07	2,64
29	4	289	364	369	37	20	2,25	17	61	95	37	1,57	289	2,46	369	19,21	3,61	5,67	5,91	2,57
30	4	419	302	662	45	25	2,68	11	63	83	45	1,65	419	2,62	662	25,73	3,81	6,04	6,50	2,82
31	4	330	421	455	46	18	2,72	16	95	133	46	1,66	330	2,52	455	21,33	3,83	5,80	6,12	2,66
32	4	307	269	473	20	20	3,03	8	140	207	20	1,30	307	2,49	473	21,75	3,00	5,73	6,16	2,67
33	4	228	109	283	6	13	2,76	13	94	162	6	,78	228	2,36	283	16,82	1,79	5,43	5,65	2,45
34	4	365	259	570	27	16	2,64	10	107	171	27	1,43	365	2,56	570	23,87	3,30	5,90	6,35	2,76
35	3	270	189	440	24	13	2,78	10	180	230	24	1,38	270	2,43	440	20,98	3,18	5,60	6,09	2,64
36	3	337	251	478	43	15	2,83	12	140	194	43	1,63	337	2,53	478	21,86	3,76	5,82	6,17	2,68
37	3	298	281	444	34	23	3,03	15	141	176	34	1,53	298	2,47	444	21,07	3,53	5,70	6,10	2,65
38	3	573	281	688	110	27	2,62	17	181	244	110	2,04	573	2,76	688	26,23	4,70	6,35	6,53	2,84
39	4	277	232	408	61	26	2,76	9	140	188	61	1,79	277	2,44	408	20,20	4,11	5,62	6,01	2,61
40	4	379	230	521	31	26	3,01	13	138	175	31	1,49	379	2,58	521	22,83	3,43	5,94	6,26	2,72
41	3	692	685	800	96	20	2,34	7	93	124	96	1,98	692	2,84	800	28,28	4,56	6,54	6,68	2,90
42	3	290	259	375	25	18	2,13	12	125	169	25	1,40	290	2,46	375	19,36	3,22	5,67	5,93	2,57
43	3	363	537	488	113	18	2,64	7	150	194	113	2,05	363	2,56	488	22,09	4,73	5,89	6,19	2,69
44	3	280	1080	410	133	25	2,46	4	103	136	133	2,12	280	2,45	410	20,25	4,89	5,63	6,02	2,61
45	3	413	1418	525	174	18	2,23	4	164	201	174	2,24	413	2,62	525	22,91	5,16	6,02	6,26	2,72
46	3	354	122	564	9	17	2,13	11	193	236	9	,95	354	2,55	564	23,75	2,20	5,87	6,34	2,75
47	3	536	277	727	46	18	2,37	5	233	283	46	1,66	536	2,73	727	26,96	3,83	6,28	6,59	2,86
48	3	408	293	608	45	18	2,82	8	174	215	45	1,65	408	2,61	608	24,66	3,81	6,01	6,41	2,78
49	4	334	277	488	39	17	2,36	8	137	172	39	1,59	334	2,52	488	22,09	3,66	5,81	6,19	2,69
50	4	380	426	550	41	17	2,4	9	173	210	41	1,61	380	2,58	550	23,45	3,71	5,94	6,31	2,74

Ek Tablo 4'ün devamı

51	4	333	403	417	71	17	2,36	9	123	160	71	1,85	333	2,52	417	20,42	4,26	5,81	6,03	2,62
52	4	275	287	325	33	17	2,29	9	120	157	33	1,52	275	2,44	325	18,03	3,50	5,62	5,78	2,51
53	4	333	364	600	27	30	2,47	9	110	140	27	1,43	333	2,52	600	24,49	3,30	5,81	6,40	2,78
54	4	350	231	550	57	17	2,26	4	157	193	57	1,76	350	2,54	550	23,45	4,04	5,86	6,31	2,74
55	4	220	327	330	48	25	2,25	1	167	208	48	1,68	220	2,34	330	18,17	3,87	5,39	5,80	2,52
56	3	190	232	245	57	25	2,14	2	102	144	57	1,76	190	2,28	245	15,65	4,04	5,25	5,50	2,39
57	3	179	276	233	35	25	2,3	4	50	74	35	1,54	179	2,25	233	15,26	3,56	5,19	5,45	2,37
58	3	550	133	800	22	16	2,31	6	175	225	22	1,34	550	2,74	800	28,28	3,09	6,31	6,68	2,90
59	3	510	419	550	89	17	2,66	10	140	174	89	1,95	510	2,71	550	23,45	4,49	6,23	6,31	2,74
60	3	500	364	800	61	16	2,41	9	250	325	61	1,79	500	2,70	800	28,28	4,11	6,21	6,68	2,90
61	3	400	302	575	70	20	2,44	9	200	250	70	1,85	400	2,60	575	23,98	4,25	5,99	6,35	2,76
62	3	400	421	800	68	25	2,47	5	150	200	68	1,83	400	2,60	800	28,28	4,22	5,99	6,68	2,90
63	4	375	269	425	41	13	2,79	10	153	197	41	1,61	375	2,57	425	20,62	3,71	5,93	6,05	2,63
64	3	275	109	338	11	25	2,55	4	163	219	11	1,04	275	2,44	338	18,38	2,40	5,62	5,82	2,53
65	3	567	259	650	51	20	2,44	14	110	167	51	1,71	567	2,75	650	25,50	3,93	6,34	6,48	2,81
66	3	733	189	800	74	20	2,45	10	90	127	74	1,87	733	2,87	800	28,28	4,30	6,60	6,68	2,90
67	3	625	251	800	27	20	2,42	13	2,38	338	27	1,43	625	2,80	800	28,28	3,30	6,44	6,68	2,90
68	3	780	281	800	171	18	2,44	11	92	118	171	2,23	780	2,89	800	28,28	5,14	6,66	6,68	2,90
69	3	433	190	733	20	16	2,38	9	90	118	20	1,30	433	2,64	733	27,07	3,00	6,07	6,60	2,87
70	3	567	232	650	40	17	2,44	13	150	217	40	1,60	567	2,75	650	25,50	3,69	6,34	6,48	2,81
71	3	388	230	500	31	25	2,42	9	95	125	31	1,49	388	2,59	500	22,36	3,43	5,96	6,21	2,70
72	3	320	1006	470	61	20	2,03	7	174	226	61	1,79	320	2,51	470	21,68	4,11	5,77	6,15	2,67
73	3	200	99	283	2	20	2,03	11	100	142	2	,30	200	2,30	283	16,82	,69	5,30	5,65	2,45
74	3	360	322	550	66	13	2,29	9	102	139	66	1,82	360	2,56	550	23,45	4,19	5,89	6,31	2,74
75	3	320	318	410	36	13	2,08	5	156	210	36	1,56	320	2,51	410	20,25	3,58	5,77	6,02	2,61
76	3	350	418	440	60	13	2,21	6	134	166	60	1,78	350	2,54	440	20,98	4,09	5,86	6,09	2,64
77	3	550	272	600	44	16	2,31	11	162	199	44	1,64	550	2,74	600	24,49	3,78	6,31	6,40	2,78
78	3	486	220	614	33	16	2,33	5	225	300	33	1,52	486	2,69	614	24,78	3,50	6,19	6,42	2,79

Ek Tablo 5. Tarım traktörleriyle bölmeden çıkarmada optimum sürütme şeridi planının arazide test edilmesine ilişkin zamansal ölçüm ve gözlem sonuçları

tgg = traktör gücü grupları,
ps= parça sayısı,
th= tomruk hacmi
zd= zemin durumu,
zs= zemin sınıfı,
eg= arazi eğim grupları,
ts05= ÖA'da ölçülen 0-5 cm
derinlikteki toprak sıkışıklığı,

sm= sürütme mesafesi,
ts510= ÖA'da ölçülen 5-10 cm derinlikteki toprak
sıkışıklığı
e= eğim,
tg= traktör gücü,
ygz= yüklü gidiş zamanı,
bdz= boş dönüş zamanı,

No	tgg	ps	th	zd	zs	eg	ts05	sm	ts510	e	tg	knts510	ygz	bdz
1	1	4	2,896	1	3	3	131	242	191	25	55	191	230	99
2	1	4	2,906	1	3	3	131	242	191	25	55	191	189	92
3	1	4	2,658	1	3	3	131	242	191	25	55	191	244	106
4	1	4	2,976	1	3	3	131	242	191	25	55	191	215	94
5	1	4	3,008	1	3	3	131	242	191	25	55	191	252	106
6	1	4	3,102	1	3	3	131	242	191	25	55	191	247	104
7	1	4	2,598	1	3	3	131	242	191	25	55	191	237	106
8	1	4	2,867	1	3	3	131	242	191	25	55	191	249	119
9	1	4	2,902	1	3	3	131	242	191	25	55	191	232	109
10	2	4	3,002	1	3	3	131	242	191	25	64	191	184	80
11	2	4	3,020	1	3	3	131	242	191	25	64	191	198	102
12	2	4	2,976	1	3	3	131	242	191	25	64	191	247	97
13	2	4	2,779	1	3	3	131	242	191	25	64	191	189	104
14	2	4	3,302	1	3	3	131	242	191	25	64	191	244	102
15	2	4	3,407	1	3	3	131	242	191	25	64	191	266	94
16	2	4	2,906	1	3	3	131	242	191	25	64	191	215	94
17	1	4	2,800	1	3	3	131	242	191	25	55	191	254	92
18	1	4	2,789	1	3	3	131	242	191	25	55	191	237	90
19	1	4	2,907	1	3	3	131	242	191	25	55	191	247	94
20	1	4	2,997	1	3	3	131	242	191	25	55	191	235	92
21	1	4	3,001	1	3	3	131	242	191	25	55	191	264	97
22	1	4	3,106	1	3	3	131	242	191	25	55	191	266	87
23	1	4	3,201	1	3	3	131	242	191	25	50	191	254	94
24	1	4	2,897	1	3	3	131	242	191	25	50	191	244	99
25	1	4	2,798	1	3	3	131	242	191	25	50	191	271	94
26	1	4	2,699	1	3	3	131	242	191	25	50	191	288	82
27	1	4	3,109	1	3	3	131	242	191	25	50	191	290	104
28	1	4	2,879	1	3	3	131	242	191	25	50	191	271	94
29	1	4	2,898	1	3	3	131	242	191	25	50	191	264	106
30	1	4	2,907	1	3	3	131	242	191	25	50	191	247	90
31	2	4	3,105	1	3	3	131	242	191	25	65	191	196	85
32	2	4	3,405	1	3	3	131	242	191	25	65	191	237	90

Ek Tablo 5'in devamı

33	2	4	3,201	1	3	3	131	242	191	25	65	191	215	92
34	2	4	3,306	1	3	3	131	242	191	25	65	191	244	106
35	2	4	2,908	1	3	3	131	242	191	25	65	191	225	85
36	2	4	3,117	1	3	3	131	242	191	25	65	191	198	102
37	2	4	3,224	1	3	3	131	242	191	25	65	191	211	104
38	2	4	3,009	1	3	3	131	242	191	25	65	191	201	82
39	2	4	2,679	1	3	3	131	242	191	25	65	191	211	90
40	3	4	3,118	1	3	2	322	366	678	17	82	678	326	128
41	3	4	2,997	1	3	2	322	366	678	17	82	678	333	135
42	3	4	3,256	1	3	2	322	366	678	17	82	678	355	124
43	3	4	3,123	1	3	2	322	366	678	17	82	678	381	157
44	3	4	2,998	1	3	2	322	366	678	17	82	678	410	146
45	3	4	2,867	1	3	2	322	366	678	17	82	678	344	139
46	3	4	3,278	1	3	2	322	366	678	17	82	678	318	135
47	3	4	3,507	1	3	2	322	366	678	17	82	678	326	124
48	3	4	3,009	1	3	2	322	366	678	17	82	678	370	128
49	3	4	2,897	1	3	2	322	366	678	17	82	678	337	190
50	3	4	3,121	1	3	2	322	366	678	17	82	678	333	132
51	3	4	2,865	1	3	2	322	366	678	17	82	678	329	143
52	3	4	3,235	1	3	2	322	423	678	17	82	678	376	148
53	3	4	3,016	1	3	2	322	423	678	17	82	678	389	152
54	3	4	2,673	1	3	2	322	423	678	17	82	678	376	157
55	3	4	2,867	1	3	2	322	423	678	17	82	678	461	152
56	3	4	2,589	1	3	2	322	423	678	17	82	678	474	178
57	3	4	3,342	1	3	2	322	423	678	17	82	678	440	148
58	3	4	3,234	1	3	2	322	423	678	17	82	678	368	161
59	3	4	2,879	1	3	2	322	423	678	17	82	678	427	152
60	3	4	2,989	1	3	2	322	423	678	17	82	678	474	165
61	3	4	2,795	1	3	2	322	423	678	17	82	678	512	161
62	3	4	3,300	1	3	2	322	423	678	17	82	678	491	157
63	3	4	3,345	1	3	2	322	423	678	17	82	678	558	178
64	3	4	2,876	1	3	2	322	423	678	17	82	678	376	190
65	3	4	2,987	1	3	2	322	423	678	17	82	678	389	161
66	3	4	2,901	1	3	2	322	423	678	17	82	678	415	182
67	3	4	3,009	1	3	2	322	423	678	17	82	678	427	152
68	3	4	3,021	1	3	2	322	423	678	17	82	678	465	161
69	3	4	3,212	1	3	2	322	423	678	17	82	678	423	152
70	3	4	3,323	1	3	2	322	423	678	17	82	678	508	157
71	3	4	2,876	1	3	2	322	423	678	17	82	678	415	161
72	3	4	2,567	1	3	2	322	423	678	17	82	678	368	169
73	3	4	2,987	1	3	2	322	423	678	17	82	678	393	148
74	3	4	2,786	1	3	2	322	423	678	17	82	678	415	140
75	3	4	3,003	1	3	2	322	423	678	17	82	678	376	216

Ek Tablo 5'in devamı

76	3	4	3,301	1	4	3	325	258	692	30	80	692	235	77
77	3	4	2,833	1	4	3	325	258	692	30	80	692	217	129
78	3	4	3,302	1	4	3	325	258	692	30	80	692	289	116
79	3	4	3,201	1	4	3	325	258	692	30	80	692	304	124
80	3	4	3,201	1	4	3	325	258	692	30	80	692	253	106
81	3	4	3,009	1	4	3	325	258	692	30	80	692	240	95
82	3	4	3,021	1	4	3	325	258	692	30	80	692	263	119
83	3	4	3,034	1	4	3	325	258	692	30	80	692	253	93
84	3	4	3,102	1	4	3	325	258	692	30	80	692	237	111
85	3	4	3,291	1	4	3	325	258	692	30	80	692	302	83
86	3	4	2,897	1	4	3	325	258	692	30	80	692	250	101
87	3	4	3,000	1	4	3	325	258	692	30	80	692	258	111
88	3	4	3,280	1	4	3	325	258	692	30	80	692	279	121
89	3	4	3,026	1	4	3	325	258	692	30	80	692	263	124
90	2	4	2,784	1	4	3	325	258	692	30	66	692	289	90
91	2	4	2,879	1	4	3	325	258	692	30	66	692	312	98
92	2	4	3,001	1	4	3	325	258	692	30	66	692	304	88
93	2	4	3,102	1	4	3	325	258	692	30	66	692	255	126
94	2	4	2,647	1	4	3	325	258	692	30	66	692	279	103
95	2	4	2,898	1	4	3	325	258	692	30	66	692	263	98
96	2	4	2,567	1	4	3	325	258	692	30	66	692	310	111
97	2	4	2,789	1	4	3	325	258	692	30	66	692	263	93
98	2	4	2,567	1	4	3	325	258	692	30	66	692	284	98
99	2	4	3,002	1	4	3	325	258	692	30	80	692	263	90
100	2	4	2,987	1	4	3	325	258	692	30	80	692	253	93
101	2	4	3,021	1	4	3	325	258	692	30	80	692	258	108
102	2	4	3,278	1	4	3	325	258	692	30	80	692	304	101
103	2	4	3,300	1	4	3	325	258	692	30	80	692	289	106
104	2	4	3,201	1	4	3	325	258	692	30	80	692	292	108
105	2	4	2,987	1	4	3	325	258	692	30	80	692	299	129
106	2	4	2,897	1	4	3	325	258	692	30	80	692	250	111
107	2	4	2,901	1	4	3	325	258	692	30	80	692	312	101
108	2	4	3,002	1	4	3	325	258	692	30	80	692	304	132
109	2	4	3,200	1	4	3	325	258	692	30	80	692	263	90
110	2	4	3,564	1	4	3	325	258	692	30	80	692	279	98
111	2	4	2,891	1	4	3	325	258	692	30	80	692	281	101
112	2	4	3,002	1	4	3	325	258	692	30	80	692	289	114
113	2	4	3,300	1	4	3	325	258	692	30	80	692	304	111
114	2	4	3,453	1	4	3	325	258	692	30	80	692	312	111
115	2	4	2,792	1	4	3	325	258	692	30	80	692	302	95
116	2	4	3,042	1	4	3	325	258	692	30	80	692	289	101
117	2	4	3,009	1	4	3	325	258	692	30	80	692	297	111
118	2	4	2,678	1	4	3	325	258	692	30	80	692	307	90


```

LINDO - [D:\YILMAZ\DOKTORA TEZİ\Etüt_Formları\2009_Etüt_Formları\LINDO_ÇIKTILAR\yuklu_optimum.ltx]
File Edit Solve Reports Window Help
MIN -X100 - 1.046X1 + 0.711X2 + 2.113X3 + 4.138X4 - 1.490X5 + 1.604X6 + 10.894X7 + 0.385X8
ST
X1 =< 3
X1 => 1
X2 = 4
X3 = 1.732
X4 =< 2
x4 => 1
X5 =< 4
X5 => 2
X6 =< 3
X6 => 2
X7 =< 2.89
X7 => 2.25
X8 = 10
X100 = 28

```

LP OPTIMUM FOUND AT STEP 5

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 5.113216


VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X100	28.000000	0.000000
X1	3.000000	0.000000
X2	4.000000	0.000000
X3	1.732000	0.000000
X4	1.000000	0.000000
X5	4.000000	0.000000
X6	2.000000	0.000000
X7	2.250000	0.000000
X8	10.000000	0.000000

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
2)	0.000000	1.046000
3)	2.000000	0.000000
4)	0.000000	-0.711000
5)	0.000000	-2.113000
6)	1.000000	0.000000
7)	0.000000	-4.138000
8)	0.000000	1.490000
9)	2.000000	0.000000
10)	1.000000	0.000000
11)	0.000000	-1.604000
12)	0.640000	0.000000
13)	0.000000	-10.894000
14)	0.000000	-0.385000
15)	0.000000	1.000000

NO. ITERATIONS= 5

Ek Şekil 1. Model-1-1'in LINDO 6.1 optimizasyon yazılımındaki çözüm sonuçları

Not: x1=tgg, x2=ps, x3=th, x4=zd, x5=zs, x6=eg, x7=ts05, x8=sm, x9=ts510, x10=kth, x11=e, x12=şg



LINDO - [D:\WILMAZ\DOKTORA TEZİ\Etüt_Formları\2009_Etüt_Formları\LINDO_ÇIKTILARI\BOS_SON_optimum.ltx]
 File Edit Solve Reports Window Help

MAX -X100 - 0.077X1 - 0.256X5 + 0.182X6 + 1.184X7 + 0.029X8
 ST
 X1 =< 3
 X1 => 1
 X5 =< 4
 X5 => 2
 X6 =< 3
 X6 => 2
 X7 =< 2.89
 X7 => 2.25
 X8 = 10
 X100 = 1.082

LP OPTIMUM FOUND AT STEP 5

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 22.89938

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X100	28.000000	0.000000
X1	1.000000	0.000000
X2	4.000000	0.000000
X3	1.732000	0.000000
X4	2.000000	0.000000
X5	2.000000	0.000000
X6	3.000000	0.000000
X7	2.890000	0.000000
X8	10.000000	0.000000

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
2)	2.000000	0.000000
3)	0.000000	-1.046000
4)	0.000000	0.711000
5)	0.000000	2.113000
6)	0.000000	4.138000
7)	1.000000	0.000000
8)	2.000000	0.000000
9)	0.000000	-1.490000
10)	0.000000	1.604000
11)	1.000000	0.000000
12)	0.000000	10.894000
13)	0.640000	0.000000
14)	0.000000	0.385000
15)	0.000000	-1.000000

NO. ITERATIONS= 5

Ek Şekil 2. Model-1-2'nin LINDO 6.1 optimizasyon yazılımındaki çözüm sonuçları



MIN -X100 - 0.077X1 - 0.256X5 + 0.182X6 + 1.184X7 + 0.029X8

ST

X1 =< 3

X1 => 1

X5 =< 4

X5 => 2

X6 =< 3

X6 => 2

X7 =< 2.89

X7 => 2.25

X8 = 10

X100 = 1.082

LP OPTIMUM FOUND AT STEP 4

OBJECTIVE FUNCTION VALUE


1) 0.9809999

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X100	1.082000	0.000000
X1	3.000000	0.000000
X5	4.000000	0.000000
X6	2.000000	0.000000
X7	2.250000	0.000000
X8	10.000000	0.000000

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
2)	0.000000	0.077000
3)	2.000000	0.000000
4)	0.000000	0.256000
5)	2.000000	0.000000
6)	1.000000	0.000000
7)	0.000000	-0.182000
8)	0.640000	0.000000
9)	0.000000	-1.184000
10)	0.000000	-0.029000
11)	0.000000	1.000000

NO. ITERATIONS= 4

Ek Şekil 3. Model-2-1'in LINDO 6.1 optimizasyon yazılımdaki çözüm sonuçları



```

LINDO - [D:\WILMAZ\DOKTORA TEZİ\Etüt_Formları\2009_Etüt_Formları\LINDO_ÇIKTILAR\BOS_SON_optimum.ltx]
File Edit Solve Reports Window Help
MAX -X100 - 0.077X1 - 0.256X5 + 0.182X6 + 1.184X7 + 0.029X8
ST
X1 =< 3
X1 => 1
X5 =< 4
X5 => 2
X6 =< 3
X6 => 2
X7 =< 2.89
X7 => 2.25
X8 = 10
X100 = 1.082

LP OPTIMUM FOUND AT STEP 4

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 2.586760


VARIABLE VALUE REDUCED COST
X100 1.082000 0.000000
X1 1.000000 0.000000
X5 2.000000 0.000000
X6 3.000000 0.000000
X7 2.890000 0.000000
X8 10.000000 0.000000

ROW SLACK OR SURPLUS DUAL PRICES
2) 2.000000 0.000000
3) 0.000000 -0.077000
4) 2.000000 0.000000
5) 0.000000 -0.256000
6) 0.000000 0.182000
7) 1.000000 0.000000
8) 0.000000 1.184000
9) 0.640000 0.000000
10) 0.000000 0.029000
11) 0.000000 -1.000000

NO. ITERATIONS= 4

```

Ek Şekil 4. Model-2-2'nin LINDO 6.1 optimizasyon yazılımındaki çözüm sonuçları



```

LINDO - [D:\WILMAZ\DOKTORA TEZİ\Etüt_Formları\2009_Etüt_Formları\LINDO_ÇIKTILAR\Top_kaybi_optimum.ltx]
File Edit Solve Reports Window Help
MIN -X100 + 0.001X7 + 1.133X8 + 0.557X11 + 0.223X12
ST
X7 =<= 780
X7 >= 179
X11 => 1.08
X11 =<= 1.52
X8 = 2
X12 = 2.5
X100 = 2.738

LP OPTIMUM FOUND AT STEP 2

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 0.8660601

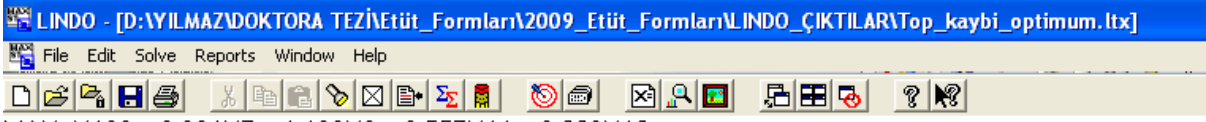
VARIABLE VALUE REDUCED COST
X100 2.738000 0.000000
X7 179.000000 0.000000
X8 2.000000 0.000000
X11 1.080000 0.000000
X12 2.500000 0.000000

ROW SLACK OR SURPLUS DUAL PRICES
2) 601.000000 0.000000
3) 0.000000 -0.001000
4) 0.000000 -0.557000
5) 0.440000 0.000000
6) 0.000000 -1.133000
7) 0.000000 -0.223000
8) 0.000000 1.000000

NO. ITERATIONS= 2

```

Ek Şekil 5. Model-3-1'in LINDO 6.1 optimizasyon yazılımındaki çözüm sonuçları



```

LINDO - [D:\WILMAZ\DOKTORA TEZİ\Etüt_Formları\2009_Etüt_Formları\LINDO_ÇIKTILAR\Top_kaybi_optimum.ltx]
File Edit Solve Reports Window Help
MAX -X100 + 0.001X7 + 1.133X8 + 0.557X11 + 0.223X12
ST
X7 =<= 780
X7 >= 179
X11 => 1.08
X11 =<= 1.52
X8 = 2
X12 = 2.5
X100 = 2.738

LP OPTIMUM FOUND AT STEP 2

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 1.712140


VARIABLE VALUE REDUCED COST
X100 2.738000 0.000000
X7 780.000000 0.000000
X8 2.000000 0.000000
X11 1.520000 0.000000
X12 2.500000 0.000000

ROW SLACK OR SURPLUS DUAL PRICES
2) 0.000000 0.001000
3) 601.000000 0.000000
4) 0.440000 0.000000
5) 0.000000 0.557000
6) 0.000000 1.133000
7) 0.000000 0.223000
8) 0.000000 -1.000000

NO. ITERATIONS= 2

```

Ek Şekil 6. Model-3-2'nin LINDO 6.1 optimizasyon yazılımındaki çözüm sonuçları



LINDO - [D:\WILMAZ\DOKTORA TEZİ\Etüt_Formları\2009_Etüt_Formları\LINDO_ÇIKTILAR\Top_SIKISIKLIGI_optimum.ltx]

File Edit Solve Reports Window Help

MIN $X_{100} + 0.001X_9 - 0.15X_{11}$
 ST
 $X_9 \leq 800$
 $X_9 \geq 213$
 $X_{11} \geq 1.08$
 $X_{11} \leq 1.52$
 $X_{100} = 2.229$

LP OPTIMUM FOUND AT STEP 2

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 2.214000

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X100	2.229000	0.000000
X9	213.000000	0.000000
X11	1.520000	0.000000

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
2)	587.000000	0.000000
3)	0.000000	-0.001000
4)	0.440000	0.000000
5)	0.000000	0.150000
6)	0.000000	-1.000000

NO. ITERATIONS= 2

Ek Şekil 7. Model-4-1'in LINDO 6.1 optimizasyon yazılımındaki çözüm sonuçları

```

LINDO - [D:\WILMAZ\DOKTORA TEZİ\Etüt_Formları\2009_Etüt_Formları\LINDO_ÇIKTILAR\Top_SIKISIKLIGI_optimum.ltx]
File Edit Solve Reports Window Help
MAX X100 + 0.001X9 - 0.150X11
ST
X9 =< 800
X9 >= 213
X11 => 1.08
X11 =< 1.52
X100 = 2.229

LP OPTIMUM FOUND AT STEP 2

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 2.867000

VARIABLE VALUE REDUCED COST
X100 2.229000 0.000000
X9 800.000000 0.000000
X11 1.080000 0.000000

ROW SLACK OR SURPLUS DUAL PRICES
2) 0.000000 0.001000
3) 587.000000 0.000000
4) 0.000000 -0.150000
5) 0.440000 0.000000
6) 0.000000 1.000000

NO. ITERATIONS= 2

```

Ek Şekil 8. Model-4-2'nin LINDO 6.1 optimizasyon yazılımındaki çözüm sonuçları

ÖZGEÇMİŞ

Yılmaz TÜRK, 1978 yılında Ankara' da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini burada tamamladı. 1997 yılında A.İ.B.Ü Düzce Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü'nde lisans öğrenimine başladı. 2001 yılında, "Orman Mühendisi" olarak mezun oldu. 2002 yılında askerliğini tamamladı. 2003 yılında A.İ.B.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans eğitimine başladı. Aynı yılda A.İ.B.Ü. Düzce Orman Fakültesi Orman İnşaatı, Jeodezi ve Fotogrametri Anabilim Dalında Araştırma Görevlisi olarak başladı. 2006 yılında "Orman Yüksek Mühendisi" olarak mezun oldu. 2006 yılında YÖK kanununun 35. maddesi hükmünce KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı'nda doktora yapmak üzere, KTÜ Orman Fakültesi'ne görevlendirildi.

İtalya'daki FORMEC 2010 adlı bilimsel toplantıda sözlü bildiri sundu.

Türk, ulusal ve uluslararası bildirilere ve makalelere sahiptir. Halen doktora öğrenimini sürdürmektedir (2011). Evli ve bir çocuk babası olup, İngilizce bilmektedir.